

**MINISTÉRIO DA DEFESA
EXÉRCITO BRASILEIRO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA NUCLEAR**

JOÃO DOMINGOS TALON

**ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO k_{eff} EM RELAÇÃO A VAZIOS
DE UM REATOR REGENERADOR**

**Rio de Janeiro
2019**

JOÃO DOMINGOS TALON

**ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO k_{eff} EM RELAÇÃO A VAZIOS
DE UM REATOR REGENERADOR**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Nuclear do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência em Engenharia Nuclear.

Orientador: Sergio de Oliveira Vellozo - D.Sc.

Coorientador: Ronaldo Glicério Cabral - Ph.D.

Coorientador: João Cláudio Batista Fiel - D.Sc.

Rio de Janeiro

2019

©2019

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha

Rio de Janeiro – RJ CEP: 22290-270

Este exemplar é de propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmar ou adotar qualquer forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do autor e dos orientadores.

Talon, João Domingos

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO k_{eff} EM RELAÇÃO A VAZIOS DE UM REATOR REGENERADOR / João Domingos Talon. – Rio de Janeiro, 2019.

115 f.

Orientador: Sergio de Oliveira Vellozo.

Coorientador: Ronaldo Glicério Cabral.

Coorientador: João Cláudio Batista Fiel.

Dissertação de Mestrado (mestrado) – Instituto Militar de Engenharia, Engenharia Nuclear, 2019.

1. FBR. Difusão. Vazio. Fator de multiplicação. Coeficiente de reatividade. I. Vellozo, Sergio de Oliveira, orient. II. Cabral, Ronaldo Glicério, coorient. III. Fiel, João Cláudio Batista, coorient. IV. Título

JOÃO DOMINGOS TALON

**ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO k_{eff} EM RELAÇÃO
A VAZIOS DE UM REATOR REGENERADOR**

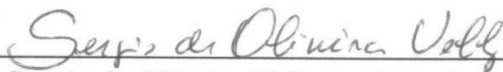
Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Nuclear do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência de Engenharia Nuclear.

Orientador: Sergio de Oliveira Vellozo

Coorientador: Ronaldo Glicério Cabral

Coorientador: João Cláudio Batista Fiel

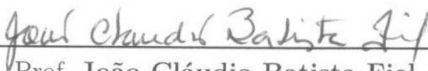
Aprovado em Rio de Janeiro, 27 de dezembro de 2019, pela seguinte banca examinadora:



Prof. Sergio de Oliveira Vellozo - D.Sc. do IME - Presidente



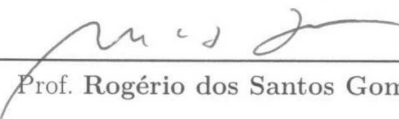
Prof. Ronaldo Glicério Cabral - Ph.D. do IME



Prof. João Cláudio Batista Fiel - D.Sc. do IME



Prof. Gladson da Silva Fontes - D.Sc. do IME



Prof. Rogério dos Santos Gomes - D.Sc. da CNEN

Rio de Janeiro

2019

Dedico este trabalho aos meus Mestres, especialmente aos meus queridos pais, Luis Talon e Maria Poppi Talon, que me ensinaram os primeiros rabiscos e a todos aqueles presentes até nos momentos atuais, pois sempre foram o estímulo ao meu aprimoramento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, inicialmente, ao Instituto Militar de Engenharia, essa nobre instituição, que mais uma vez me recebe e me apoia em um curso de elevado nível acadêmico, ao Chefe da SE-7 TenCel Fiel, ao Coordenador do curso de Mestrado Maj Fontes e a todos os componentes da SE-7 por todo apoio e contribuição recebidos e, especialmente, aos professores que me propiciaram adquirir importantes conhecimentos na área da engenharia nuclear.

Aos alunos, colegas e amigos do curso de mestrado, Alberto, Caio, Cloves, Gabriela, Jean, João Vitor, Marcio e Thomaz gostaria de externar meu agradecimento pelo apoio, auxílio e companheirismo sempre presentes no decorrer do curso.

Aos professores Sergio de Oliveira Velloso, Ronaldo Glicério Cabral e João Claudio Batista Fiel, orientador e co-orientadores, respectivamente, quero render minha gratidão e apreço pela participação constante, dedicação e desprendimento ao longo de todo o desenvolvimento do presente trabalho. Com a presença e estímulo dos Senhores a jornada se tornou desafiadora, objetiva e prazerosa.

À minha querida esposa Lucy vai todo o meu respeito, consideração e amor pelo entendimento, pela paciência, pelo desprendimento e pelo carinho dispendidos a mim, pois foram fundamentais para que eu pudesse manter a tranquilidade e dedicação necessárias ao bom prosseguimento de meus estudos. Aos meus filhos queridos Ivan Luis, Walter Henrique e Giesela Maria o meu muito obrigado por entenderem e me apoiarem em mais esta jornada.

E ao Arquiteto do Universo agradeço eternamente por toda a luz e energia, sem o que seria impossível cumprir mais esta tarefa.

*"A ciência incha, mas o amor edifica.
(Paulo - I Coríntios, 8:1)"*

RESUMO

Este trabalho, aplicando coordenadas esféricas, apresenta a modelagem do núcleo do FBR considerando a equação da aproximação da difusão a um e dois grupos de energia para as condições sem vazio e com a inserção de 5,87% de vazio no refrigerante. Tendo por referência a abordagem analítica desenvolvida, foram elaborados programas na linguagem FORTRAN que permitiram o cálculo da distribuição do fluxo, da absorção, da fuga, do k_{eff} e do coeficiente de reatividade. Os resultados detalhados permitiram mostrar o comportamento do FBR e a sensibilidade do k_{eff} e do coeficiente de reatividade com a presença de vazio, os quais apresentaram a mesma tendência dos resultados obtidos por meio do *software* SCALE. Portanto, a modelagem exposta mostrou ser uma ferramenta poderosa nas fases iniciais do projeto do núcleo de um reator nuclear.

Palavras-chave: *FBR. Difusão. Vazio. Fator de multiplicação. Coeficiente de reatividade.*

ABSTRACT

This work, applying spherical coordinates, presents the modeling of the FBR core considering the approximation of diffusion equation to one and two energy groups for conditions without void and with the insertion of 5.87% of void in the coolant. Taking as reference the analytical approach developed, programs were elaborated in FORTRAN language that allowed the calculation of the flow distribution, the absorption, the leakage, the k_{eff} and the reactivity coefficient. The detailed results allowed showing the behavior of FBR and the sensitivity of the k_{eff} and the reactivity coefficient with the presence of void, which presented the same trend of the results obtained through the SCALE software. Therefore, the exposed modeling proved to be a powerful tool in the initial phases of the nuclear reactor core design.

Palavras-chave: FBR. Diffusion. Void. Multiplication factor. Reactivity coefficient.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Vista Lateral do Núcleo do Reator FBR.	17
Figura 2 – Vista Superior do Núcleo do Reator FBR.	18
Figura 3 – Vista em Corte das Esferas Concêntricas Equivalentes em Volume às Regiões do Núcleo do Reator.	18
Figura 4 – Fator de Multiplicação Efetivo - k_{eff}	39
Figura 5 – Coeficiente de Reatividade.	40
Figura 6 – Distribuição do Fluxo Radial de Nêutrons do Núcleo do FBR para a Condição Sem Vazio.	41
Figura 7 – Fator de Multiplicação - k_{eff}	52
Figura 8 – Coeficiente de Reatividade.	53
Figura 9 – Distribuição do Fluxo Radial de Nêutrons do Núcleo do FBR para a Condição Sem Vazio.	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Constantes de Grupo para um Grupo de Energia sem Vazio.	33
Tabela 2 – Constantes de Grupo para um Grupo de Energia com 5,87% de Vazio.	34
Tabela 3 – Resultados para a Condição Sem Vazio e Vazio na Região A.	34
Tabela 4 – Resultados para a Condição Sem Vazio e Vazio na Região B.	35
Tabela 5 – Resultados para a Condição Sem Vazio e Vazio na Região C.	36
Tabela 6 – Resultados para a Condição Sem Vazio e Vazio na Região D.	36
Tabela 7 – Resultados para o Núcleo do FBR a Um Grupo de Energia de Nêutrons Sem Vazio e com 5,87% de Vazio nas Regiões A, B, C e D.	37
Tabela 8 – Resultados Obtidos com o Software SCALE para o Núcleo do FBR Sem Vazio e com 5,87% de Vazio nas Regiões A, B, C e D.	38
Tabela 9 – Resultados do Coeficiente de Reatividade Obtidos com o Programa FBR1 para o Núcleo do FBR nas Regiões A, B, C e D.	39
Tabela 10 – Resultados do Coeficiente de Reatividade Obtidos com o <i>Software</i> SCALE para o Núcleo do FBR nas Regiões A, B, C e D.	40
Tabela 11 – Constantes de Grupo para dois Grupos de Energia sem Vazio.	42
Tabela 12 – Constantes de Grupo para dois Grupos de Energia com 5,87% de Vazio.	43
Tabela 13 – Resultados para a Condição Sem Vazio e Vazio na Região A.	44
Tabela 14 – Resultados para a Condição Sem Vazio e Vazio na Região B.	46
Tabela 15 – Resultados para a Condição Sem Vazio e Vazio na Região C.	47
Tabela 16 – Resultados para a Condição Sem Vazio e Vazio na Região D.	48
Tabela 17 – Resultados para o Núcleo do FBR a Dois Grupos de Energia de Nêutrons Sem Vazio e com 5,87% de Vazio nas Regiões A, B, C e D.	50
Tabela 18 – Resultados Obtidos com o <i>Software</i> SCALE para o Núcleo do FBR Sem Vazio e com 5,87% de Vazio nas Regiões A, B, C e D.	51
Tabela 19 – Resultados do Coeficiente de Reatividade Obtidos com o Programa FBR1 para o Núcleo do FBR nas Regiões A, B, C e D.	52
Tabela 20 – Resultados Obtidos com o <i>Software</i> SCALE para o Núcleo do FBR Sem Vazio e com 5,87% de Vazio nas Regiões A, B, C e D.	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FBR	Fast Breeder Reactor
MWe	Mega Watt Elétrico
FORTTRAN	FORmula TRANslation
SCALE	Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation
MOX	Mixed Oxide

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Coefficiente de reatividade.
D	Coefficiente de difusão.
G1	Grupo um de energia.
G2	Grupo dois de energia.
\vec{J}	Corrente de nêutrons.
k_{eff}	Fator de multiplicação.
n	Nêutron.
ν	Letra grega minúscula nu (ni) - representa o número médio de nêutrons liberados em cada fissão.
O	Símbolo representativo do oxigênio.
Pu	Símbolo representativo do plutônio.
\vec{r}	Vetor posição.
s	Segundos.
Σ	Seção de choque macroscópica.
U	Símbolo representativo do urânio.
v	Velocidade.
V	Volume.
ϕ	Letra grega minúscula phi (fi) - representa o fluxo de nêutrons.
χ	Letra grega minúscula chi (ki) - representa o espectro de fissão de nêutrons.
$\vec{\nabla}$	Operador nabla.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Justificativa	15
1.2	Objetivo	16
1.3	Apresentação do Trabalho	16
2	METODOLOGIA	17
2.1	INTRODUÇÃO	17
2.2	O FBR	17
2.3	MODELO BASEADO NA APROXIMAÇÃO DA DIFUSÃO	19
2.4	FBR - UM GRUPO DE ENERGIA	19
2.4.1	Equações que Governam o Reator	19
2.4.2	Condições de Contorno	21
2.4.3	Cálculos	22
2.4.3.1	Equação Transcendental	22
2.4.3.2	Cálculo do k_{eff}	22
2.4.3.3	Cálculo do Coeficiente de Reatividade (α)	23
2.4.4	Representação do Vazio	24
2.5	FBR - DOIS GRUPOS DE ENERGIA	24
2.5.1	Equações que Governam o Reator	24
2.5.2	Condições de Contorno	28
2.5.3	Cálculos	30
2.5.3.1	Equação Transcendental	30
2.5.3.2	Cálculo do k_{eff}	31
2.5.3.3	Cálculo do Coeficiente de Reatividade (α)	32
2.5.4	Representação do Vazio	32
3	RESULTADOS	33
3.1	APROXIMAÇÃO DA DIFUSÃO - UM GRUPO DE ENERGIA	33
3.1.1	Temperatura de 423K	33
3.1.2	Análise dos Resultados Obtidos pelo Programa FBR1	34
3.1.2.1	Condição Sem Vazio e Vazio na Região A.	34
3.1.2.2	Condição Sem Vazio e Vazio na Região B.	35
3.1.2.3	Condição Sem Vazio e Vazio na Região C.	35
3.1.2.4	Condição Sem Vazio e Vazio na Região D.	36
3.1.2.5	Análise Global dos Resultados para Um Grupo de Energia	37

3.2	APROXIMAÇÃO DA DIFUSÃO - DOIS GRUPOS DE ENERGIA . .	42
3.2.1	Temperatura de 623K	42
3.2.2	Análise dos Resultados Obtidos pelo Programa FBR2	44
3.2.2.1	Condição Sem Vazio e Vazio na Região A.	44
3.2.2.2	Condição Sem Vazio e Vazio na Região B.	45
3.2.2.3	Condição Sem Vazio e Vazio na Região C.	47
3.2.2.4	Condição Sem Vazio e Vazio na Região D.	48
3.2.2.5	Análise Global dos Resultados para Dois Grupos de Energia	49
4	CONCLUSÃO	55
4.1	PARA OS RESULTADOS OBTIDOS	55
4.2	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	56
4.2.1	Analisar o comportamento do FBR considerando uma única região de MOX e alterando o percentual de PuO_2 no elemento combustível.	56
4.2.2	Análise dos resultados obtidos para o FBR decorrentes da aplicação da geometria cilíndrica.	56
4.2.3	Analisar o comportamento do FBR em função da utilização da geometria esférica no <i>software</i> SCALE.	56
4.2.4	Análise temporal termofluida do FBR.	56
	REFERÊNCIAS	57
	APÊNDICE A – PROGRAMA FORTRAN PARA UM GRUPO DE ENERGIA	58
	APÊNDICE B – PROGRAMA FORTRAN PARA DOIS GRUPOS DE ENERGIA	70
	APÊNDICE C – RESULTADOS - UM GRUPO DE ENERGIA . . .	96
	APÊNDICE D – RESULTADOS - DOIS GRUPOS DE ENERGIA .	106

1 INTRODUÇÃO

A atual produção energética no mundo, decorrente dos conceitos relativos à fissão de núclídeos físséis, a energia nuclear, é da ordem de 397.650 MWe produzidos pelas 449 plantas nucleares em operação e mais 54.364 MWe a serem fornecidos por outras 54 em processo de construção no planeta(1), dados que demonstram o crescimento da capacidade instalada e em instalação da energia elétrica proveniente da fissão nuclear. Dessa forma, nos dias atuais, é notória a projeção do aumento da participação da energia nuclear na produção e fornecimento energético, havendo a necessidade da disponibilidade anual de cerca de 62,825 mil toneladas de recursos minerais de seu item fundamental, o urânio natural, para o qual há estimativa de, aproximadamente, 7,988 milhões de toneladas de reservas mundiais(2). Assim, verifica-se um horizonte em torno de 127 anos de funcionamento dessas instalações nucleares que devem ser abastecidas por urânio enriquecido. Logo, a busca de alternativa que estenda esse horizonte é um aspecto de extrema relevância no campo da produção energética.

Está em desenvolvimento a tecnologia de reator regenerador que utiliza urânio natural e enriquecido e plutônio como elementos essenciais para fabricação do combustível que o abastece. No funcionamento desse reator, enquanto material físsil é consumido, simultaneamente é produzido mais material físsil, o plutônio ($^{239}_{94}\text{Pu}$), a partir da transmutação do isótopo fértil ($^{238}_{92}\text{U}$) do urânio natural (U_{nat}) que está em seu núcleo. Esse material físsil produzido, ao ser efetuada a troca dos elementos combustíveis do núcleo do reator, poderá ser retirado desse núcleo, reprocessado e utilizado como combustível em outros reatores nucleares. Esse processo possibilita que as reservas de urânio natural existentes e estimadas possam ser multiplicadas por cerca de trinta vezes, podendo assim ampliar o horizonte da produção de energia elétrica por meio da fissão nuclear por, aproximadamente, trinta e oito séculos, o que propiciaria o estabelecimento de um novo marco no equacionamento da produção energética no planeta.

Nesse contexto, em que uma importante oportunidade se oferece, o estudo do desenvolvimento de um projeto de reator de espectro rápido (FBR) no Brasil é uma vertente a ser enfatizada e explorada visando estabelecer parâmetros que permitam a sua efetiva concretização.

1.1 Justificativa

O Instituto Militar de engenharia, nos últimos anos, vem desenvolvendo um projeto de reator regenerador que deu origem a dissertações de mestrado e publicação de projetos

conceituais sobre o FBR Trabalhos orientados pelo pesquisador Sergio de Oliveira Vellozo abordaram a viabilidade da implementação desse reator no parque nuclear brasileiro(3), o desenvolvimento de um projeto básico de reator regenerador independente de Urânio enriquecido(4), a realização de cálculos precisos para a determinação do coeficiente de reatividade de vazios para o reator de espectro rápido FBR-IME(5) e a análise termo hidráulica do Sódio(6).

Assim, acrescentar mais uma parcela no projeto de desenvolvimento do FBR do IME, iniciado desde 2013, é a motivação principal para a realização deste trabalho. Logo, esta proposta, em continuidade aos trabalhos desenvolvidos, até o momento, busca analisar a sensibilidade do fator de multiplicação efetivo (k_{eff}) em relação a vazios de um reator regenerador.

1.2 Objetivo

Por meio de uma abordagem analítica e geometria esférica, comparar os resultados decorrentes da aplicação do *software* SCALE/KENO VI com aqueles da equação da aproximação da difusão, a um e dois grupos de energia, calculados por meio da programação computacional utilizando a linguagem FORTRAN(7) e, também, com aqueles obtidos pelo *software* MAPLE(8).

1.3 Apresentação do Trabalho

O capítulo 2, metodologia, apresenta o desenvolvimento analítico da aproximação da difusão aplicada a um e dois grupos de energia de forma a propiciar e detalhar os elementos necessários e suficientes à programação baseada na linguagem FORTRAN permitindo, assim, a obtenção de valores detalhados para as grandezas e parâmetros estabelecidos, quais sejam: absorções e fugas parciais e totais, parcelas do k_{eff} , o k_{eff} e o coeficiente de reatividade.

No capítulo 3 são apresentados os resultados obtidos decorrentes da simulação feita por meio dos programas computacionais elaborados para aplicação aos casos específicos a um e dois grupos de energia, com e sem a inserção de vazio nas regiões do núcleo do FBR, assim como a análise desses resultados. Quanto às conclusões e sugestões para trabalhos futuros, essas são apresentadas no capítulo 4.

Os programas desenvolvidos na linguagem FORTRAN, FBR1 (um grupo de energia) e FBR2 (dois grupos de energia), estão nos Apêndices A e B, respectivamente, e os resultados completos obtidos por meio da aplicação desses programas estão nos Apêndices C (um grupo de energia) e D (dois grupos de energia).

2 METODOLOGIA

2.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo abordará a metodologia aplicada no desenvolvimento analítico utilizando a aproximação da difusão no contexto do FBR. Inicialmente, será apresentado o FBR cujas características referentes à geometria e composição de suas regiões e constantes, para um e dois grupos de energia, serão a base de dados da análise elaborada.

2.2 O FBR

O FBR possui a forma cilíndrica, altura e diâmetro com 180cm, núcleo heterogêneo composto por cinco regiões e é refrigerado a sódio metálico líquido (Na). É abastecido com U_{nat} , nas regiões central (A) e externa (E), e nas demais regiões (B, C e D) com uma mistura de óxidos de plutônio (PuO_2) e de urânio (UO_2). Sua principal característica é usar o plutônio como combustível, sendo assim o seu funcionamento é independente de urânio enriquecido.

A Figura 1, vista lateral do núcleo do FBR, mostra a disposição e a comunicação existente entre as regiões do FBR, sendo que as regiões A, B, C e D possuem 90cm de altura(3),(4),(5).

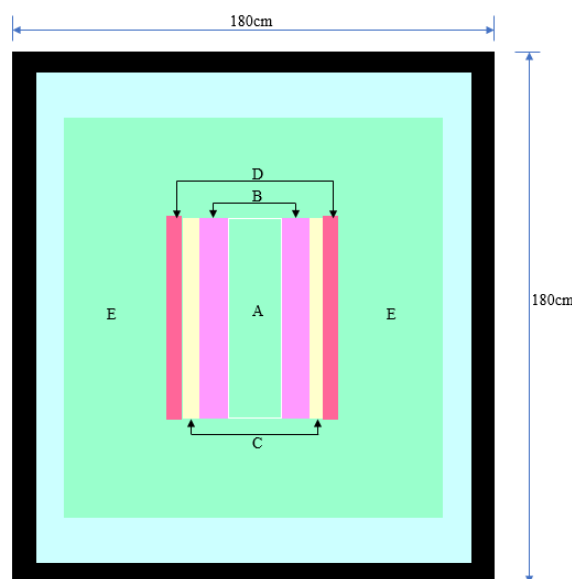


Figura 1 – Vista Lateral do Núcleo do Reator FBR.

A Figura 2, vista superior do núcleo do FBR, mostra os elementos combustíveis e as regiões em forma de prismas hexagonais.

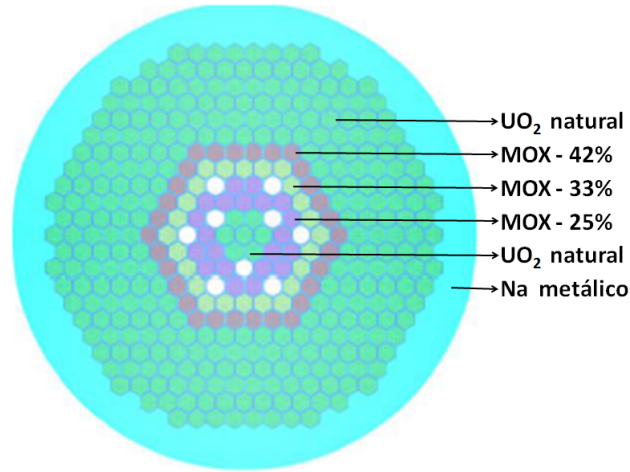


Figura 2 – Vista Superior do Núcleo do Reator FBR.

A composição da mistura de óxidos (MOX) PuO_2 e UO_2 é definida conforme as seguintes proporções:

- região B - PuO_2 - 25% - UO_2 - 75%;
- região C - PuO_2 - 33% - UO_2 - 67%; e
- região D - PuO_2 - 42% - UO_2 - 58%.

A Figura 3 apresenta cinco esferas concêntricas cujos raios foram calculados de forma a que essas esferas possuam um volume equivalente à respectiva região em forma de prisma hexagonal do núcleo do reator, conforme mostrado na Figura 2.

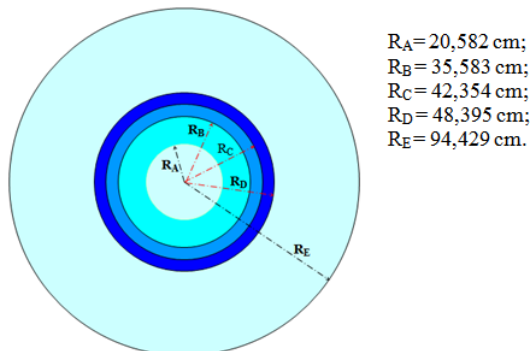


Figura 3 – Vista em Corte das Esferas Concêntricas Equivalentes em Volume às Regiões do Núcleo do Reator.

O presente estudo do FBR foi desenvolvido na forma analítica empregando o método da aproximação da difusão a um e dois grupos de energia, conforme detalhado nos

itens 2.4 e 2.5.

2.3 MODELO BASEADO NA APROXIMAÇÃO DA DIFUSÃO

É definido como uma aproximação da equação de transporte de nêutrons que permite o cálculo do balanço de nêutrons do reator(9),(10),(11),(12). Este método descreve as interações dos nêutrons em um intervalo específico de energia e determina a distribuição espacial desses nêutrons(9),(10),(11),(12). Neste trabalho, a aproximação da difusão foi desenvolvida analiticamente para um e dois grupos de energia visando calcular os fluxos, as absorções, as fugas, o k_{eff} e o coeficiente de reatividade, assim como suas variações de acordo com a inserção de vazios nas regiões A, B, C e D. O vazio não foi inserido na região E por ser a região onde ocorre baixo fluxo de nêutrons e baixa potência, logo não há sentido em considerar a inserção de vazio nessa região do núcleo do reator; e, também, é nessa região do FBR onde ocorre o *breeding*¹. Os resultados obtidos foram analisados e comparados com aqueles obtidos por meio dos *softwares* SCALE e MAPLE.

Para o desenvolvimento analítico foi considerado um reator esférico com cinco regiões concêntricas, conforme a Figura 3, representando o reator cilíndrico com cinco regiões conforme já apresentado.

2.4 FBR - UM GRUPO DE ENERGIA

2.4.1 Equações que Governam o Reator

Seja i a indicação para uma região específica, então temos a equação da aproximação da difusão(9),(10),(11),(12):

$$-D_i \nabla^2 \Phi_i + \Sigma a_i \Phi_i = \frac{\nu_i \Sigma f_i}{k_{eff}} \Phi_i; \quad i = A, B, C, D \text{ e } E \quad (2.1)$$

onde para cada região i temos:

D_i - coeficiente de difusão;

∇^2 - operador laplaciano;

Φ_i - fluxo radial de nêutrons;

¹ breeding: é o processo de transmutação do U_{nat} em $^{239}_{94}Pu$

Σ_{a_i} - seção de choque macroscópica de absorção;

ν_i - número médio de nêutrons liberados em cada fissão;

Σ_{f_i} - seção de choque macroscópica de fissão; e

k_{eff} - fator de multiplicação efetivo.

Fazendo o arranjo da Eq. 2.1, temos então:

$$\nabla^2 \Phi_i + \frac{1}{D_i} \left[\frac{\nu_i \Sigma_{f_i}}{k_{eff}} - \Sigma_{a_i} \right] \Phi_i = 0 \quad (2.2)$$

Podendo ser colocada na seguinte forma:

$$\nabla^2 \Phi_i + K_i^2 \Phi_i = 0 \quad (2.3)$$

onde temos:

$$K_i^2 = \frac{1}{D_i} \left[\frac{\nu_i \Sigma_{f_i}}{k_{eff}} - \Sigma_{a_i} \right].$$

Fazendo a análise das constantes de grupo obtidas pelo software SCALE para o FBR temos para as regiões A e E, $K_i^2 < 0$, que fornece duas raízes reais e a solução para a equação da difusão será da forma *senh* e *cosh*; e para as regiões B, C e D, $K_i^2 > 0$, que fornece duas raízes imaginárias e a solução para a equação da difusão será da forma *sen* e *cos*(13).

Para obter a solução da equação diferencial representativa do fluxo de nêutrons nas cinco regiões do núcleo do reator foram aplicadas coordenadas esféricas, as quais possuem uma única variável dependente, o seu raio, $\nabla^2 \Phi_i = \frac{1}{r} \frac{d^2(r\Phi_i)}{dr^2}$. Logo, para cada região, a Eq. 2.3 pode ser escrita da seguinte forma:

$$\frac{1}{r} \frac{d^2(r\Phi_i)}{dr^2} + K_i^2 \Phi_i = 0 \quad (2.4)$$

Assim, após a aplicação das coordenadas esféricas na Eq. 2.3, a solução da Eq. 2.4 para as regiões A, B, C, D e E do núcleo do reator é conforme apresentado a seguir:

$$\text{Região A : } \Phi_A = C_1 \frac{\sinh(K_1 r)}{r} + C_2 \frac{\cosh(K_1 r)}{r} \quad (2.5)$$

$$\text{Região } B : \Phi_B = C_3 \frac{\sin(K_2 r)}{r} + C_4 \frac{\cos(K_2 r)}{r} \quad (2.6)$$

$$\text{Região } C : \Phi_C = C_5 \frac{\sin(K_3 r)}{r} + C_6 \frac{\cos(K_3 r)}{r} \quad (2.7)$$

$$\text{Região } D : \Phi_D = C_7 \frac{\sin(K_4 r)}{r} + C_8 \frac{\cos(K_4 r)}{r} \quad (2.8)$$

$$\text{Região } E : \Phi_E = C_9 \frac{\sinh(K_5 r)}{r} + C_{10} \frac{\cosh(K_5 r)}{r} \quad (2.9)$$

onde $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_8, C_9$ e C_{10} são constantes a serem determinadas.

Para o cálculo dessas constantes e, também, do k_{eff} são necessárias onze condições de contorno, que serão apresentadas no próximo item.

2.4.2 Condições de Contorno

Primeira condição (i): considerando o fluxo de nêutrons Φ_A finito em $r = 0$ (9), então temos que $C_2 = 0$; logo:

$$\Phi_A = C_1 \frac{\sinh(K_1 r)}{r} \quad (2.10)$$

Fazendo-se a igualdade do fluxo de nêutrons e da densidade de corrente nas fronteiras das regiões(9), são definidas outras nove condições de contorno, conforme a seguir:

$$r = R_A, (ii) \Phi_A = \Phi_B \text{ e } (iii) D_A \frac{d\Phi_A}{dr} = D_B \frac{d\Phi_B}{dr};$$

$$r = R_B, (iv) \Phi_B = \Phi_C \text{ e } (v) D_B \frac{d\Phi_B}{dr} = D_C \frac{d\Phi_C}{dr};$$

$$r = R_C, (vi) \Phi_C = \Phi_D \text{ e } (vii) D_C \frac{d\Phi_C}{dr} = D_D \frac{d\Phi_D}{dr}; \text{ e}$$

$$r = R_D, (viii) \Phi_D = \Phi_E \text{ e } (ix) D_D \frac{d\Phi_D}{dr} = D_E \frac{d\Phi_E}{dr}.$$

Para $r = R_E$, a corrente reentrante parcial de nêutrons é zero(9) e, então, a décima condição de contorno pode ser escrita como:

$$(x) J_{-E} = 0 = \frac{\Phi_E}{4} + \frac{D_E}{2} \frac{d\Phi_E}{dr}.$$

Fazendo-se a normalização da absorção e da fuga de nêutrons, foi obtida a décima primeira condição de contorno, que é a seguinte:

$$(xi) \int_{r=0}^{r_A} (-D_A \nabla^2 \Phi_A + \Sigma a_A \Phi_A) dv + \int_{r_A}^{r_B} (-D_B \nabla^2 \Phi_B + \Sigma a_B \Phi_B) dv + \\ \int_{r_B}^{r_C} (-D_C \nabla^2 \Phi_C + \Sigma a_C \Phi_C) dv + \int_{r_C}^{r_D} (-D_D \nabla^2 \Phi_D + \Sigma a_D \Phi_D) dv + \\ \int_{r_D}^{r_E} (-D_E \nabla^2 \Phi_E + \Sigma a_E \Phi_E) dv = \frac{1}{s}$$

onde, $dv = 4\pi r^2 dr$.

2.4.3 Cálculos

Das soluções para os fluxos e das condições de contorno, são obtidos sistemas para cada região de forma a serem obtidas variáveis em função das constantes C_1 , C_3 , C_4 , C_5 , C_6 , C_7 , C_8 , C_9 e C_{10} .

Após os sistemas terem sido resolvidos e aplicando a décima primeira condição de contorno, obtida da normalização, foi possível calcular o valor da constante C_1 e de forma recorrente calculou-se as demais constantes.

2.4.3.1 Equação Transcendental

Da condição de contorno (x) obteve-se a equação transcendental:

$$0 = \frac{\Phi_E}{4} + \frac{D_E}{2} \frac{d\Phi_E}{dr} \quad (2.11)$$

Com esta equação, inserida no programa FBR1, foi possível determinar o valor do k_{eff} empregando o método das aproximações sucessivas.

2.4.3.2 Cálculo do k_{eff}

O calculo do k_{eff} é feito a partir da integração da Eq. 2.1 em todo o volume do núcleo do reator, considerando as cinco regiões:

$$-D_i \nabla^2 \Phi_i + \Sigma a_i \Phi_i = \frac{\nu_i \Sigma_{f_i}}{k_{eff}} \Phi_i; \quad i = A, B, C, D \text{ e } E.$$

Fazendo-se a manipulação algébrica e o somatório das integrais da Eq. 2.1, tem-se:

$$k_{eff} = \frac{\int_{r=0}^{r_A} (\nu_A \Sigma_{f_A} \Phi_A) dv + \dots + \int_{r_D}^{r_E} (\nu_E \Sigma_{f_E} \Phi_E) dv}{\int_{r=0}^{r_A} (-D_A \nabla^2 \Phi_A + \Sigma a_A \Phi_A) dv + \dots + \int_{r_D}^{r_E} (-D_E \nabla^2 \Phi_E + \Sigma a_E \Phi_E) dv} \quad (2.12)$$

Considerando a Fuga + Absorção de nêutrons igual a $\frac{1}{s}$ e multiplicando e dividindo o numerador da Eq. 2.12 por Σ_{a_i} , obtem-se:

$$k_{eff} = A_A \frac{\nu_A \Sigma_{fA}}{\Sigma_{aA}} + A_B \frac{\nu_B \Sigma_{fB}}{\Sigma_{aB}} + A_C \frac{\nu_C \Sigma_{fC}}{\Sigma_{aC}} + A_D \frac{\nu_D \Sigma_{fD}}{\Sigma_{aD}} + A_E \frac{\nu_E \Sigma_{fE}}{\Sigma_{aE}} \quad (2.13)$$

onde temos:

$$A_A = \int_{r=0}^{r_A} \Sigma_{aA} \Phi_A dv;$$

$$A_B = \int_{r_A}^{r_B} \Sigma_{aB} \Phi_B dv;$$

$$A_C = \int_{r_B}^{r_C} \Sigma_{aC} \Phi_C dv;$$

$$A_D = \int_{r_C}^{r_D} \Sigma_{aD} \Phi_D dv; \text{ e}$$

$$A_E = \int_{r_D}^{r_E} \Sigma_{aE} \Phi_E dv.$$

Cada parcela da Eq. 2.13 representa a contribuição de cada região do núcleo do FBR para o k_{eff} .

2.4.3.3 Cálculo do Coeficiente de Reatividade (α)

O coeficiente de reatividade, α , é calculado por meio da relação entre a diferença da reatividade com vazio (ρ_{Vz}) e a reatividade sem vazio (ρ_{SVz}) e o percentual de vazio no meio refrigerante do reator ($\frac{V_{Vz}}{V_{Refri}}$), conforme expressado na Eq. 2.14(5):

$$\alpha = \frac{\rho_{Vz} - \rho_{SVz}}{\frac{V_{Vz}}{V_{Refri}}} \quad (2.14)$$

onde temos:

$$\rho_{Vz} = \frac{k_{effVz} - 1}{k_{effVz}};$$

$$\rho_{SVz} = \frac{k_{effSVz} - 1}{k_{effSVz}};$$

V_{Vz} - volume vazio; e

V_{Refri} - volume do refrigerante do reator.

Assim, o coeficiente de reatividade pode ser calculado por meio do k_{eff} da seguinte forma:

$$\alpha = \frac{\frac{k_{effVz} - k_{effSVz}}{k_{effSVz} \times k_{effVz}}}{\frac{V_{Vz}}{V_{Refri}}} \quad (2.15)$$

2.4.4 Representação do Vazio

O volume vazio foi inserido em cada região do FBR, exceto na região E, conforme já mencionado. Para representar o volume vazio, foi diminuída a densidade do Na refrigerante, mas preservando a massa, conforme representado a seguir:

$$\rho'_{Na} = \rho_{Na} \left(1 - \frac{\delta_V}{V}\right) \quad (2.16)$$

onde temos:

ρ'_{Na} - densidade reduzida do Na refrigerante;

ρ_{Na} - densidade real do Na refrigerante;

δ_V - volume do vazio no Na refrigerante; e

V - volume do Na refrigerante.

2.5 FBR - DOIS GRUPOS DE ENERGIA

2.5.1 Equações que Governam o Reator

Para os grupos “um” e “dois” de energia temos, respectivamente, as seguintes equações de aproximação da difusão(9),(10),(11),(12):

$$-D_{i1}\nabla^2\Phi_{i1} + \Sigma_{R_{i1}}\Phi_{i1} = \frac{\chi_{i1}}{k_{eff}} [\nu_{i1}\Sigma_{f_{i1}}\Phi_{i1} + \nu_{i2}\Sigma_{f_{i2}}\Phi_{i2}] \quad (2.17)$$

$$-D_{i2}\nabla^2\Phi_{i2} + \Sigma_{a_{i2}}\Phi_{i2} = \Sigma_{iS_{12}}\Phi_{i1} + \frac{\chi_{i2}}{k_{eff}} [\nu_{i1}\Sigma_{f_{i1}}\Phi_{i1} + \nu_{i2}\Sigma_{f_{i2}}\Phi_{i2}] \quad (2.18)$$

Seja i a região e j o grupo de energia,

sendo $i = A, B, C, D$ e E ; $j = 1$ e 2 ; e

$$\Sigma_{R_{ij}} = \Sigma_{a_{ij}} + \Sigma_{iS_{12}} \quad (2.19)$$

onde para cada região i temos:

D_{i1} - coeficiente de difusão do G1;

Φ_{i1} - fluxo radial de nêutrons do G1;

Σ_{Ri1} - seção de choque macroscópica de remoção do G1;

χ_{i1} - espectro de fissão do G1;

ν_{i1} - número médio de nêutrons liberados em cada fissão do G1;

Σ_{fi1} - seção de choque macroscópica de fissão do G1;

D_{i2} - coeficiente de difusão do G2;

Φ_{i2} - fluxo radial de nêutrons do G2;

Σ_{ai2} - seção de choque macroscópica de absorção do G2;

Σ_{iS12} - seção de choque macroscópica de espalhamento do G1 para o G2;

χ_{i2} - espectro de fissão do G2;

ν_{i2} - número médio de nêutrons liberados em cada fissão do G2;

Σ_{fi2} - seção de choque macroscópica de fissão do G2;

∇^2 - operador laplaciano; e

k_{eff} - fator de multiplicação efetivo.

As Eq. 2.17 e 2.18 podem ser reescritas na forma de sistema de equações:

$$\nabla^2 \Phi_{i1} + \frac{1}{D_{i1}} \left[\frac{\chi_{i1} \nu_{i1} \Sigma_{f_{i1}}}{k_{eff}} - \Sigma_{R_{i1}} \right] \Phi_{i1} + \frac{1}{D_{i1}} \left[\frac{\chi_{i1} \nu_{i2} \Sigma_{f_{i2}}}{k_{eff}} \right] \Phi_{i2} = 0 \quad (2.20)$$

$$\frac{1}{D_{i2}} \left[\Sigma_{iS_{12}} + \frac{\chi_{i2} \nu_{i1} \Sigma_{f_{i1}}}{k_{eff}} \right] \Phi_{i1} + \nabla^2 \Phi_{i2} + \frac{1}{D_{i2}} \left[\frac{\chi_{i2} \nu_{i2} \Sigma_{f_{i2}}}{k_{eff}} - \Sigma_{a_{i2}} \right] \Phi_{i2} = 0 \quad (2.21)$$

Fazendo a representação matricial do sistema de equações acima, temos:

$$\begin{pmatrix} S^2 + iA_{11} & iA_{12} \\ iA_{21} & S^2 + iA_{22} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \Phi_{i1} \\ \Phi_{i2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

onde temos:

$$S^2 = \frac{d^2}{dr^2};$$

$$iA_{11} = \frac{1}{D_{i1}} \left[\frac{\chi_{i1} \nu_{i1} \Sigma_{f_{i1}}}{k_{eff}} - \Sigma_{R_{i1}} \right];$$

$$iA_{12} = \frac{1}{D_{i1}} \left[\frac{\chi_{i1} \nu_{i2} \Sigma_{f_{i2}}}{k_{eff}} \right];$$

$$iA_{21} = \frac{1}{D_{i2}} \left[\Sigma_{iS_{12}} + \frac{\chi_{i2} \nu_{i1} \Sigma_{f_{i1}}}{k_{eff}} \right]; \text{ e}$$

$$iA_{22} = \frac{1}{D_{i2}} \left[\frac{\chi_{i2} \nu_{i2} \Sigma_{f_{i2}}}{k_{eff}} - \Sigma_{a_{i2}} \right].$$

Buscando a solução da representação matricial do sistema de equações da difusão foi obtida a equação biquadrada a seguir:

$$S^4 + (A_{11} + A_{22})S^2 + (A_{22}A_{11} - A_{12}A_{21}) = 0$$

da qual se depreende do termo S^4 a existência de quatro equações linearmente independentes.

Devido à geometria do FBR e suas constantes de grupo temos para as regiões A e E quatro raízes reais, logo a solução do sistema de equações da difusão será da forma $senh$ e $cosh$; e para as regiões B, C e D duas raízes reais e duas raízes imaginárias, logo a solução do sistema de equações da difusão será da forma sen , cos e $senh$, $cosh$ (13).

Assim como foi feito para a condição de um grupo de energia, para obter a solução das equações diferenciais representativas do fluxo de nêutrons para dois grupos de energia nas cinco regiões do núcleo do FBR foram aplicadas coordenadas esféricas, as quais possuem uma única variável dependente, o seu raio.

Para cada região A, B, C, D e E do núcleo do reator a solução das equações diferenciais é conforme apresentado a seguir:

Região A: $0 \leq r \leq r_A$

$${}_A\Phi_1 = C_1 \frac{\sinh(K_1 r)}{r} + C_2 \frac{\cosh(K_1 r)}{r} + C_3 \frac{\sinh(K_2 r)}{r} + C_4 \frac{\cosh(K_2 r)}{r} \quad (2.22)$$

$${}_A\Phi_2 = C_5 \frac{\sinh(K_1 r)}{r} + C_6 \frac{\cosh(K_1 r)}{r} + C_7 \frac{\sinh(K_2 r)}{r} + C_8 \frac{\cosh(K_2 r)}{r} \quad (2.23)$$

Região B: $r_A \leq r \leq r_B$

$${}_B\Phi_1 = C_9 \frac{\sin(\mu_1 r)}{r} + C_{10} \frac{\cos(\mu_1 r)}{r} + C_{11} \frac{\sinh(K_3 r)}{r} + C_{12} \frac{\cosh(K_3 r)}{r} \quad (2.24)$$

$${}_B\Phi_2 = C_{13} \frac{\sin(\mu_1 r)}{r} + C_{14} \frac{\cos(\mu_1 r)}{r} + C_{15} \frac{\sinh(K_3 r)}{r} + C_{16} \frac{\cosh(K_3 r)}{r} \quad (2.25)$$

Região C: $r_B \leq r \leq r_C$

$${}_C\Phi_1 = C_{17} \frac{\sin(\mu_2 r)}{r} + C_{18} \frac{\cos(\mu_2 r)}{r} + C_{19} \frac{\sinh(K_4 r)}{r} + C_{20} \frac{\cosh(K_4 r)}{r} \quad (2.26)$$

$${}_C\Phi_2 = C_{21} \frac{\sin(\mu_2 r)}{r} + C_{22} \frac{\cos(\mu_2 r)}{r} + C_{23} \frac{\sinh(K_4 r)}{r} + C_{24} \frac{\cosh(K_4 r)}{r} \quad (2.27)$$

Região D: $r_C \leq r \leq r_D$

$${}_D\Phi_1 = C_{25} \frac{\sin(\mu_3 r)}{r} + C_{26} \frac{\cos(\mu_3 r)}{r} + C_{27} \frac{\sinh(K_4 r)}{r} + C_{28} \frac{\cosh(K_4 r)}{r} \quad (2.28)$$

$${}_D\Phi_2 = C_{29} \frac{\sin(\mu_3 r)}{r} + C_{30} \frac{\cos(\mu_3 r)}{r} + C_{31} \frac{\sinh(K_5 r)}{r} + C_{32} \frac{\cosh(K_5 r)}{r} \quad (2.29)$$

Região E: $r_D \leq r \leq r_E$

$${}_E\Phi_1 = C_{33} \frac{\sinh(K_6 r)}{r} + C_{34} \frac{\cosh(K_6 r)}{r} + C_{35} \frac{\sinh(K_7 r)}{r} + C_{36} \frac{\cosh(K_7 r)}{r} \quad (2.30)$$

$${}_E\Phi_2 = C_{37} \frac{\sinh(K_6 r)}{r} + C_{38} \frac{\cosh(K_6 r)}{r} + C_{39} \frac{\sinh(K_7 r)}{r} + C_{40} \frac{\cosh(K_7 r)}{r} \quad (2.31)$$

onde $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_8, C_9, C_{10}, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15}, C_{16}, C_{17}, C_{18}, C_{19}, C_{20}, C_{21}, C_{22}, C_{23}, C_{24}, C_{25}, C_{26}, C_{27}, C_{28}, C_{29}, C_{30}, C_{31}, C_{32}, C_{33}, C_{34}, C_{35}, C_{36}, C_{37}, C_{38}, C_{39}$ e C_{40} são constantes a serem determinadas.

As constantes calculadas no sistema obtido para a região A do FBR são substituídas no sistema da região B e assim sucessivamente até a região E; logo, quatro constantes em um sistema de oito são linearmente independentes. Portanto, para o cálculo dessas constantes e, também, do k_{eff} são necessárias vinte e uma condições de contorno, que serão apresentadas no próximo item.

2.5.2 Condições de Contorno

Considerando o fluxo de nêutrons (i) ${}_A\Phi_1$ e (ii) ${}_A\Phi_2$ finitos em $r = 0(9)$, então temos que $C_2 = C_4 = 0$ e $C_6 = C_8 = 0$; logo:

$${}_A\Phi_1 = C_1 \frac{\sinh(K_1 r)}{r} + C_3 \frac{\sinh(K_2 r)}{r} \quad (2.32)$$

$${}_A\Phi_2 = C_5 \frac{\sinh(K_1 r)}{r} + C_7 \frac{\sinh(K_2 r)}{r} \quad (2.33)$$

Fazendo-se a igualdade do fluxo de nêutrons e da densidade de corrente nas fronteiras das regiões(9), são definidas outras dezesseis condições de contorno, conforme a seguir:

$$r = R_A, \text{ (iii) } {}_A\Phi_1 = {}_B\Phi_1 \text{ e (iv) } {}_AD_1 \frac{d{}_A\Phi_1}{dr} = {}_BD_1 \frac{d{}_B\Phi_1}{dr};$$

$$\text{(v) } {}_A\Phi_2 = {}_B\Phi_2 \text{ e (vi) } {}_AD_2 \frac{d{}_A\Phi_2}{dr} = {}_BD_2 \frac{d{}_B\Phi_2}{dr};$$

$$r = R_B, \text{ (vii) } {}_B\Phi_1 = {}_C\Phi_1 \text{ e (viii) } {}_BD_1 \frac{d{}_B\Phi_1}{dr} = {}_CD_1 \frac{d{}_C\Phi_1}{dr};$$

$$\text{(ix) } {}_B\Phi_2 = {}_C\Phi_2 \text{ e (x) } {}_BD_2 \frac{d{}_B\Phi_2}{dr} = {}_CD_2 \frac{d{}_C\Phi_2}{dr};$$

$$r = R_C, \text{ (xi) } {}_C\Phi_1 = {}_D\Phi_1 \text{ e (xii) } {}_CD_1 \frac{d{}_C\Phi_1}{dr} = {}_DD_1 \frac{d{}_D\Phi_1}{dr};$$

$$\text{(xiii) } {}_C\Phi_2 = {}_D\Phi_2 \text{ e (xiv) } {}_CD_2 \frac{d{}_C\Phi_2}{dr} = {}_DD_2 \frac{d{}_D\Phi_2}{dr};$$

$$r = R_D, \text{ (xv) } {}_D\Phi_1 = {}_E\Phi_1 \text{ e (xvi) } {}_DD_1 \frac{d{}_D\Phi_1}{dr} = {}_ED_1 \frac{d{}_E\Phi_1}{dr}; \text{ e}$$

$$\text{(xvii) } {}_D\Phi_2 = {}_E\Phi_2 \text{ e (xviii) } {}_DD_2 \frac{d{}_D\Phi_2}{dr} = {}_ED_2 \frac{d{}_E\Phi_2}{dr}.$$

Para $r = R_E$, a corrente reentrante parcial de nêutrons do G1 e G2 é zero(9), obtendo-se outras duas condições de contorno, quais sejam:

$$\text{(xix) } {}_EJ_{-(1)} = 0 = \frac{{}_E\Phi_1}{4} + \frac{{}_ED_1}{2} \frac{d{}_E\Phi_1}{dr}; \text{ e}$$

$$\text{(xx) } {}_EJ_{-(2)} = 0 = \frac{{}_E\Phi_2}{4} + \frac{{}_ED_2}{2} \frac{d{}_E\Phi_2}{dr}.$$

Fazendo-se a normalização da absorção e da fuga, obteve-se a vigésima primeira condição de contorno, qual seja:

$$\begin{aligned}
& (xxi) \int_{r=0}^{r_A} (-{}_A D_1 \nabla^2 {}_A \Phi_1 + \Sigma a_{A1} {}_A \Phi_1 - {}_A D_2 \nabla^2 {}_A \Phi_2 + \Sigma a_{A2} {}_A \Phi_2) dv + \\
& \int_{r_A}^{r_B} (-{}_B D_1 \nabla^2 {}_B \Phi_1 + \Sigma a_{B1} {}_B \Phi_1 - {}_B D_2 \nabla^2 {}_B \Phi_2 + \Sigma a_{B2} {}_B \Phi_2) dv + \\
& \int_{r_B}^{r_C} (-{}_C D_1 \nabla^2 {}_C \Phi_1 + \Sigma a_{C1} {}_C \Phi_1 - {}_C D_2 \nabla^2 {}_C \Phi_2 + \Sigma a_{C2} {}_C \Phi_2) dv + \\
& \int_{r_C}^{r_D} (-{}_D D_1 \nabla^2 {}_D \Phi_1 + \Sigma a_{D1} {}_D \Phi_1 - {}_D D_2 \nabla^2 {}_D \Phi_2 + \Sigma a_{D2} {}_D \Phi_2) dv + \\
& \int_{r_D}^{r_E} (-{}_E D_1 \nabla^2 {}_E \Phi_1 + \Sigma a_{E1} {}_E \Phi_1 - {}_E D_2 \nabla^2 {}_E \Phi_2 + \Sigma a_{E2} {}_E \Phi_2) dv = \frac{1}{s}
\end{aligned}$$

onde, $dv = 4\pi r^2 dr$.

2.5.3 Cálculos

Das soluções para os fluxos e das condições de contorno, são obtidos sistemas para cada região de forma a serem obtidas variáveis em função das constantes $C_1, C_3, C_5, C_7, C_9, C_{10}, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15}, C_{16}, C_{17}, C_{18}, C_{19}, C_{20}, C_{21}, C_{22}, C_{23}, C_{24}, C_{25}, C_{26}, C_{27}, C_{28}, C_{29}, C_{30}, C_{31}, C_{32}, C_{33}, C_{34}, C_{35}, C_{36}, C_{37}, C_{38}, C_{39}$ e C_{40} .

Após os sistemas terem sido resolvidos e aplicando a condição de contorno proveniente da normalização, foi possível calcular o valor da constante C_1 e, de forma recorrente, calculou-se todas as demais constantes.

2.5.3.1 Equação Transcendental

Das condições de contorno (xix e xx) foram obtidas as equações:

$$0 = \frac{{}_E \Phi_1}{4} + \frac{{}_E D_1}{2} \frac{d{}_E \Phi_1}{dr} \quad (2.34)$$

$$0 = \frac{{}_E \Phi_2}{4} + \frac{{}_E D_2}{2} \frac{d{}_E \Phi_2}{dr} \quad (2.35)$$

Dessas equações optou-se pela Eq. 2.35 como sendo a transcendental e da qual foi calculado C_1 . Com a Eq. 2.34, inserida no programa FBR-2, foi possível direcionar o cálculo do k_{eff} empregando o método de aproximações sucessivas.

2.5.3.2 Cálculo do k_{eff}

O k_{eff} é calculado pela manipulação algébrica das Eq. 2.17 e 2.18, semelhante ao procedimento elaborado para um grupo de energia, conforme a seguir:

$$-D_{i1}\nabla^2\Phi_{i1} + \Sigma_{R_{i1}}\Phi_{i1} = \frac{\chi_{i1}}{k_{eff}} [\nu_{i1}\Sigma_{f_{i1}}\Phi_{i1} + \nu_{i2}\Sigma_{f_{i2}}\Phi_{i2}];$$

$$-D_{i2}\nabla^2\Phi_{i2} + \Sigma_{a_{i2}}\Phi_{i2} = \Sigma_{iS_{i2}}\Phi_{i1} + \frac{\chi_{i2}}{k_{eff}} [\nu_{i1}\Sigma_{f_{i1}}\Phi_{i1} + \nu_{i2}\Sigma_{f_{i2}}\Phi_{i2}].$$

Seja i a região e j o grupo de energia,

onde $i = A, B, C, D$ e E ; $j = 1$ e 2 .

$$k_{eff} = \frac{\int_{r=0}^{r_A} (A\nu_1 A\Sigma_{f_1} A\Phi_1 + A\nu_2 A\Sigma_{f_2} A\Phi_2)dv + \dots}{\int_{r=0}^{r_A} (-AD_1 \nabla^2 A\Phi_1 + A\Sigma_{a_1} A\Phi_1 - AD_2 \nabla^2 A\Phi_2 + A\Sigma_{a_2} A\Phi_2)dv + \dots}$$

$$\frac{\dots + \int_{r_D}^{r_E} (E\nu_1 E\Sigma_{f_1} E\Phi_1 + E\nu_2 E\Sigma_{f_2} E\Phi_2)dv}{\dots + \int_{r_D}^{r_E} (-ED_1 \nabla^2 E\Phi_1 + E\Sigma_{a_1} E\Phi_1 - ED_2 \nabla^2 E\Phi_2 + E\Sigma_{a_2} E\Phi_2)dv} \quad (2.36)$$

Considerando a Fuga + Absorção de nêutrons igual a $\frac{1}{s}$ e multiplicando e dividindo o numerador da Eq. 2.36 por $A\Sigma_{a_1}$, $A\Sigma_{a_2}$, $B\Sigma_{a_1}$, $B\Sigma_{a_2}$, $C\Sigma_{a_1}$, $C\Sigma_{a_2}$, $D\Sigma_{a_1}$, $D\Sigma_{a_2}$, $E\Sigma_{a_1}$ e $E\Sigma_{a_2}$, obtem-se, então:

$$k_{eff} = A_1 \frac{A\nu_1 A\Sigma_{f_1}}{A\Sigma_{a_1}} + A_2 \frac{A\nu_2 A\Sigma_{f_2}}{A\Sigma_{a_2}} + B_1 \frac{B\nu_1 B\Sigma_{f_1}}{B\Sigma_{a_1}} + B_2 \frac{B\nu_2 B\Sigma_{f_2}}{B\Sigma_{a_2}} +$$

$$C_1 \frac{C\nu_1 C\Sigma_{f_1}}{C\Sigma_{a_1}} + C_2 \frac{C\nu_2 C\Sigma_{f_2}}{C\Sigma_{a_2}} + D_1 \frac{D\nu_1 D\Sigma_{f_1}}{D\Sigma_{a_1}} + D_2 \frac{D\nu_2 D\Sigma_{f_2}}{D\Sigma_{a_2}} + \quad (2.37)$$

$$E_1 \frac{E\nu_1 E\Sigma_{f_1}}{E\Sigma_{a_1}} + E_2 \frac{E\nu_2 E\Sigma_{f_2}}{E\Sigma_{a_2}}$$

onde,

$${}_AA_1 = \int_{r=0}^{r_A} {}_A\Sigma_{a_1} {}_A\Phi_1 dv;$$

$${}_AA_2 = \int_{r=0}^{r_A} {}_A\Sigma_{a_2} {}_A\Phi_2 dv;$$

$${}_BA_1 = \int_{r_A}^{r_B} {}_B\Sigma_{a_1} {}_B\Phi_1 dv;$$

$${}_BA_2 = \int_{r_A}^{r_B} {}_B\Sigma_{a_2} {}_B\Phi_2 dv;$$

$${}_CA_1 = \int_{r_B}^{r_C} {}_C\Sigma_{a_1} {}_C\Phi_1 dv;$$

$${}_CA_2 = \int_{r_B}^{r_C} {}_C\Sigma_{a_2} {}_C\Phi_2 dv;$$

$${}_DA_1 = \int_{r_C}^{r_D} {}_D\Sigma_{a_1} {}_D\Phi_1 dv;$$

$${}_DA_2 = \int_{r_C}^{r_D} {}_D\Sigma_{a_2} {}_D\Phi_2 dv;$$

$${}_EA_1 = \int_{r_D}^{r_E} {}_E\Sigma_{a_1} {}_E\Phi_1 dv; \text{ e}$$

$${}_EA_2 = \int_{r_D}^{r_E} {}_E\Sigma_{a_2} {}_E\Phi_2 dv.$$

Cada parcela da Eq. 2.37 representa a contribuição de cada região do núcleo do FBR, tanto para o G1 como para o G2, para o k_{eff} .

2.5.3.3 Cálculo do Coeficiente de Reatividade (α)

O coeficiente de reatividade, α , para dois grupos de energia foi calculado por meio do mesmo procedimento esplanado no item 2.4.3.3 e conforme as Eq. 2.14 e 2.15.

2.5.4 Representação do Vazio

O vazio foi inserido em cada região do reator seguindo o mesmo procedimento exposto no item 2.4.4 e de acordo com a Eq. 2.16.

3 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentadas as constantes de grupo calculadas pelo *software* SCALE, os resultados obtidos por meio dos programas FBR1 e FBR2, as comparações desses resultados com aqueles obtidos pelo SCALE e a análise desses resultados. Esses programas constam de forma detalhada nos Apêndices A e B, respectivamente, e foram elaborados em linguagem FORTRAN tendo por referência o desenvolvimento analítico baseado na equação da aproximação da difusão para um e dois grupos de energia.

Por meio desses programas foram realizadas simulações nas condições sem vazio e com a inserção de vazio nas regiões A, B, C e D. Para a simulação com vazio na região A foi mantida a condição sem vazio nas demais regiões B, C, D e E e de forma semelhante para a simulação com vazio nas regiões B, C e D, ou seja, quando foi inserido vazio em uma determinada região foi mantida a condição sem vazio para as demais regiões. Conforme já mencionado, não foi considerada a condição de inserção de vazio na região E.

3.1 APROXIMAÇÃO DA DIFUSÃO - UM GRUPO DE ENERGIA

Para um grupo de energia foram feitas simulações utilizando o programa FBR1 para a temperatura de 423K e, decorrentes dessas simulações, resultados foram obtidos para as absorções parciais e totais, a fuga, as parcelas do k_{eff} assim como o k_{eff} , o coeficiente de reatividade, os fluxos e correntes de nêutrons, os quais estão detalhados no Apêndice C e apresentados de forma resumida nas Tabelas 3, 4, 5 e 6.

3.1.1 Temperatura de 423K

As tabelas a seguir apresentam as constantes de grupo, sendo que na Tabela 1 estão as constantes para a condição sem vazio nas regiões A, B, C, D e E e na Tabela 2 estão as constantes para a condição de vazio do volume equivalente de 5,87% do *Na* refrigerante do núcleo do reator inserido nas regiões A, B, C e D. Estes dados foram obtidos por meio do *software* SCALE e são dados de entrada do FBR1.

Tabela 1 – Constantes de Grupo para um Grupo de Energia sem Vazio.

	Região A	Região B	Região C	Região D	Região E
^(a) Σ_{tr}	0,21325	0,19206	0,18725	0,18241	0,21325
^(b) Σ_a	0,00393	0,00691	0,00789	0,00902	0,00393
^(c) $\nu\Sigma_f$	0,00138	0,01235	0,01574	0,01961	0,00138

Tabela 2 – Constantes de Grupo para um Grupo de Energia com 5,87% de Vazio.

	Região A	Região B	Região C	Região D
$^{(a)}\Sigma_{tr}$	0,15899	0,17853	0,17320	0,17138
$^{(b)}\Sigma_a$	0,00336	0,00678	0,00776	0,00893
$^{(c)}\nu\Sigma_f$	0,00129	0,01230	0,01571	0,01961

Legenda:

- (a) Σ_{tr} - seção de choque de transporte - (cm^{-1});
- (b) Σ_a - seção de choque de absorção - (cm^{-1}); e
- (c) $\nu\Sigma_f$ - produto da quantidade média de nêutrons produzidos por fissão pela seção de choque de fissão - (cm^{-1}).

3.1.2 Análise dos Resultados Obtidos pelo Programa FBR1

A seguir serão apresentados, comparados e analisados os resultados para os casos na condição sem vazio e com a inserção de vazio em cada uma das regiões A, B, C e D.

3.1.2.1 Condição Sem Vazio e Vazio na Região A.

Tabela 3 – Resultados para a Condição Sem Vazio e Vazio na Região A.

	Sem Vazio	Vazio A
$^{(a)}A_A$	0,02549	0,02259
A_B	0,19398	0,19559
A_C	0,16453	0,16504
A_D	0,18547	0,18580
A_E	0,31548	0,31584
$^{(b)}A_{To}$	0,88495	0,88488
$^{(c)}F$	0,11505	0,11512
$^{(d)}k_{effA}$	0,00892	0,00869
k_{effB}	0,34653	0,34943
k_{effC}	0,32813	0,32915
k_{effD}	0,40302	0,40373
k_{effE}	0,11039	0,11052
$^{(e)}k_{effCa}$	1,19698	1,20153

Legenda:

- (a) Parcelas da absorção de nêutrons nas regiões A, B, C, D e E;
- (b) Absorção total de nêutrons;
- (c) Fuga de nêutrons;
- (d) Parcelas do k_{eff} referentes à regiões A, B, C, D e E; e

(e) k_{eff} calculado pelo programa FBR1.

1. Comparando-se as parcelas de absorção, verifica-se que as parcelas com vazio são maiores do que suas correspondentes para a condição sem vazio, exceto para a parcela da região A, e a absorção na região E é preponderante em relação às absorções nas demais regiões. A absorção total com vazio é menor do que para a condição sem vazio; e, no entanto, a fuga com vazio é maior do que para a condição sem vazio.

2. As parcelas do k_{eff} com vazio são maiores do que suas correspondentes para a condição sem vazio, exceto para a parcela do k_{eff} da região A, e o k_{effCa} com vazio é superior da ordem de 0,38% (0,00455) em relação ao sem vazio; logo, o α é positivo.

3.1.2.2 Condição Sem Vazio e Vazio na Região B.

Tabela 4 – Resultados para a Condição Sem Vazio e Vazio na Região B.

	Sem Vazio	Vazio B
A_A	0,02549	0,02558
A_B	0,19398	0,19070
A_C	0,16453	0,16539
A_D	0,18547	0,18625
A_E	0,31548	0,31665
A_{To}	0,88495	0,88458
F	0,11505	0,11542
k_{effA}	0,00892	0,00895
k_{effB}	0,34653	0,34621
k_{effC}	0,32813	0,32984
k_{effD}	0,40302	0,40471
k_{effE}	0,11039	0,11079
k_{effCa}	1,19698	1,20051

1. Para as absorções ocorre o mesmo comportamento mencionado no item 3.1.2.1, ou seja, as parcelas com vazio são maiores do que suas correspondentes para a condição sem vazio, exceto para a parcela da região B, e a absorção na região E é preponderante. A absorção total com vazio na região B é menor do que para a condição sem vazio; e, no entanto, a fuga total com vazio na região B é maior do que para a condição sem vazio.

2. O k_{eff} tem o mesmo comportamento explanado no item 3.1.2.1, ou seja, as parcelas com vazio são maiores do que suas correspondentes para a condição sem vazio, exceto para a parcela do k_{eff} da região B, e o k_{effCa} com vazio é superior da ordem de 0,29% (0,00353) em relação ao sem vazio; logo, o α é positivo.

3.1.2.3 Condição Sem Vazio e Vazio na Região C.

1. Observa-se para esta condição que somente as parcelas de absorção com vazio das regiões D e E são maiores do que suas correspondentes para a condição sem vazio e

Tabela 5 – Resultados para a Condição Sem Vazio e Vazio na Região C.

	Sem Vazio	Vazio C
A_A	0,02549	0,02535
A_B	0,19398	0,19292
A_C	0,16453	0,16178
A_D	0,18547	0,18668
A_E	0,31548	0,31751
A_{To}	0,88495	0,88424
F	0,11505	0,11576
k_{effA}	0,00892	0,00887
k_{effB}	0,34653	0,34465
k_{effC}	0,32813	0,32761
k_{effD}	0,40302	0,40564
k_{effE}	0,11039	0,11109
k_{effCa}	1,19698	1,19786

continua a preponderância da absorção na região E. A absorção total com vazio na região C é menor do que para a condição sem vazio e a fuga total com vazio na região C é maior do que para a condição sem vazio.

2. Nesta condição de vazio somente as parcelas do k_{eff} para as regiões D e E são maiores do que suas correspondentes para a condição sem vazio, e o k_{effCa} com vazio é superior da ordem de 0,07% (0,00088) em relação ao sem vazio; logo, o α é positivo.

3.1.2.4 Condição Sem Vazio e Vazio na Região D.

Tabela 6 – Resultados para a Condição Sem Vazio e Vazio na Região D.

	Sem Vazio	Vazio D
A_A	0,02549	0,02539
A_B	0,19398	0,19311
A_C	0,16453	0,16362
A_D	0,18547	0,18359
A_E	0,31548	0,31823
A_{To}	0,88495	0,88395
F	0,11505	0,11605
k_{effA}	0,00892	0,00888
k_{effB}	0,34653	0,34499
k_{effC}	0,32813	0,32631
k_{effD}	0,40302	0,40322
k_{effE}	0,11039	0,11135
k_{effCa}	1,19698	1,19476

1. Constata-se que nesta condição de vazio a absorção na região E é a maior parcela de absorção e as demais parcelas são menores do que suas correspondentes para a condição

sem vazio. Por outro lado se observa que a absorção total com vazio na região D tem o seu menor valor; e, no entanto, a fuga total com vazio nessa região atinge seu maior valor.

2. Também nesta condição de vazio somente as parcelas do k_{eff} para as regiões D e E são maiores do que suas correspondentes para a condição sem vazio. No entanto, o k_{effCa} com vazio na região D é inferior da ordem de 0,19% (0,00222) em relação ao k_{effCa} para a condição sem vazio; logo, o α é negativo.

3.1.2.5 Análise Global dos Resultados para Um Grupo de Energia

Tabela 7 – Resultados para o Núcleo do FBR a Um Grupo de Energia de Nêutrons Sem Vazio e com 5,87% de Vazio nas Regiões A, B, C e D.

	Sem Vazio	Vazio A	Vazio B	Vazio C	Vazio D
A_A	0,02549	0,02259	0,02558	0,02535	0,02539
A_B	0,19398	0,19559	0,19070	0,19292	0,19311
A_C	0,16453	0,16504	0,16539	0,16178	0,16362
A_D	0,18547	0,18580	0,18625	0,18668	0,18359
A_E	0,31548	0,31584	0,31665	0,31751	0,31823
A_{To}	0,88495	0,88488	0,88458	0,88424	0,88395
F	0,11505	0,11512	0,11542	0,11576	0,11605
k_{effA}	0,00892	0,00869	0,00895	0,00887	0,00888
k_{effB}	0,34653	0,34943	0,34621	0,34465	0,34499
k_{effC}	0,32813	0,32915	0,32984	0,32761	0,32631
k_{effD}	0,40302	0,40373	0,40471	0,40564	0,40322
k_{effE}	0,11039	0,11052	0,11079	0,11109	0,11135
k_{effCa}	1,19698	1,20153	1,20051	1,19786	1,19476

Analisando globalmente os resultados obtidos por meio do programa FBR1, os quais estão apresentados na Tabela 7, foram observados os aspectos a seguir.

1. Comparando os valores de uma mesma parcela de absorção, tem-se que na condição de vazio na mesma região, ou seja, vazio na região A (0,02259), região B (0,19070), região C (0,16178) e região D (0,18359) ocorrem os menores valores da parcela de absorção da região. Isto é coerente, pois a inserção de vazio em cada região diminui a densidade de núcleos do meio e assim a seção de choque macroscópica de absorção diminui, logo a parcela de absorção para a região com vazio é o menor valor daquela parcela.

2. Como já mencionado, as parcelas de absorção predominantes ocorrem na região E (A_E), sendo o seu menor valor para a condição sem vazio (0,31548) e conforme o vazio é inserido, da região A para a D, a absorção é crescente nessa região atingindo o seu maior valor (0,31823) para a condição de vazio inserido na região D. Esses valores estão coerentes com os valores da seção de choque macroscópica de absorção, que aumentam conforme se afasta da região A até a região D devido a presença em percentual crescente do PuO_2 , isso tanto para a condição sem como com vazio.

3. Quanto à absorção total, também mencionado anteriormente, o maior valor é observado para a condição sem vazio (0,88495) e o menor para a condição com vazio na região D (0,88395), a região mais externa com vazio. Isto é esperado e está coerente, haja vista a influência da inserção de vazio na diminuição da seção de choque macroscópica de absorção em relação às suas correspondentes para a condição sem vazio e, conseqüentemente, na absorção total que apresenta uma diminuição da ordem de 0,11% (0,001) da condição sem vazio para a de vazio na região D.

4. Conforme já exposto, a fuga de nêutrons aumenta conforme é inserido o vazio, sendo o menor valor (0,11505), na condição sem vazio, até o valor máximo (0,11605) para a condição de vazio na região D. Isto é decorrente da diminuição da absorção conforme o vazio é inserido do centro do núcleo do reator (região A) para a sua borda externa (região D), logo na região mais externa haverá maior quantidade de nêutrons para escaparem do núcleo do FBR. Este é um comportamento esperado de forma a compensar a absorção total que diminui de acordo com a inserção de vazio da região central (A) para a região externa (D) do reator.

Verifica-se que a fuga de nêutrons apresenta um aumento da ordem de 0,86% (0,001) da condição sem vazio para a de vazio na região D e, assim, constata-se que o percentual do aumento da fuga de nêutrons é maior do que o percentual da diminuição da absorção total de nêutrons compensando a presença de maior população de nêutrons, o que é esperado para o FBR.

5. Quanto ao k_{eff} o valor máximo calculado (1,20153) é para a condição de vazio na região A e conforme o vazio é inserido nas demais regiões (B, C e D) o seu valor diminui em conformidade com a diminuição do fluxo de nêutrons. Entretanto, é importante observar que todos esses valores são maiores do que o k_{eff} calculado para a condição sem vazio (1,19698), exceto o valor do k_{eff} calculado para a condição de vazio na região D (1,19476). Verifica-se que o aumento percentual do k_{eff} com a inserção de vazio na região A é da ordem de 0,38% (0,00455), na região B de 0,29% (0,00353), na região C de 0,7% (0,00088) e na região D houve uma diminuição da ordem de 0,19% (0,00222).

6. Os gráficos da Figura 4 representam os k_{eff} decorrentes dos resultados obtidos pelo programa FBR1 (1GE-T-423K), Tabela 7, e *software* SCALE (SCALE-T-423K), Tabela 8(5).

Tabela 8 – Resultados Obtidos com o Software SCALE para o Núcleo do FBR Sem Vazio e com 5,87% de Vazio nas Regiões A, B, C e D.

	Sem Vazio	Vazio A	Vazio B	Vazio C	Vazio D
k_{effSc}	1,1465	1,1467	1,1457	1,1455	1,1448

Os gráficos ilustram a preponderância do k_{eff} com vazio na região A, que é devido à predominância do fluxo e da absorção total na condição de vazio nessa região. É

importante ressaltar que ambos os gráficos têm o mesmo comportamento e, dos resultados, constata-se que o fator de multiplicação efetivo aumenta e diminui de acordo com a localização do vazio, ou seja, é sensível à sua presença.

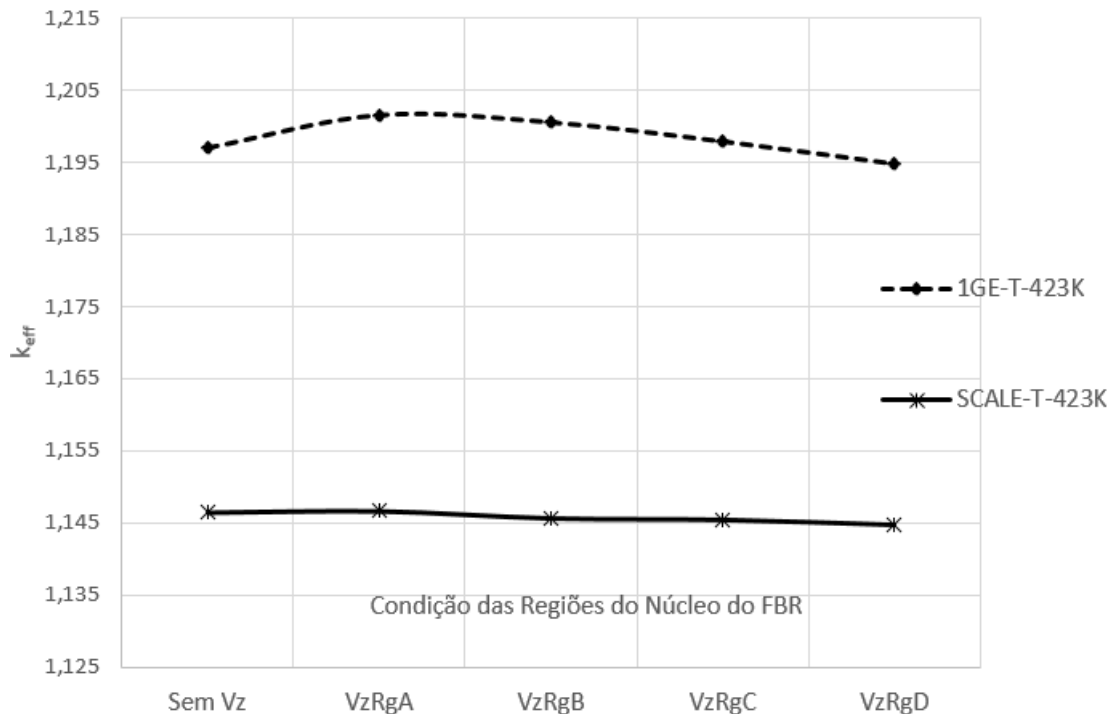


Figura 4 – Fator de Multiplicação Efetivo - k_{eff} .

7. Os gráficos da Figura 5, elaborados conforme os dados das Tabelas 9 e 10(5), mostram que os valores do coeficiente de reatividade, α , calculados pelo programa FBR1 são positivos decrescentes para as regiões A, B e C, até tornar-se negativo para a região D, conforme o vazio é inserido nas respectivas regiões. Para o *software* SCALE apenas o coeficiente de reatividade calculado na condição de vazio na região A é positivo, os demais são negativos. No entanto, é importante realçar que os resultados provenientes do programa FBR1 e do *software* SCALE apresentam a mesma tendência, ou seja, são decrescentes conforme a condição de vazio é inserida da região central (A) para a região externa (D) do núcleo do reator, resultado esperado para o FBR devido à maior fuga de nêutrons conforme se afasta do centro para a parte externa do núcleo do FBR.

Tabela 9 – Resultados do Coeficiente de Reatividade Obtidos com o Programa FBR1 para o Núcleo do FBR nas Regiões A, B, C e D.

	Vazio A	Vazio B	Vazio C	Vazio D
α_{Ca}	0,05379	0,04186	0,01042	-0,02653

Dos resultados, verifica-se que o coeficiente de reatividade diminui de acordo com a localização do vazio, ou seja, é sensível à sua presença.

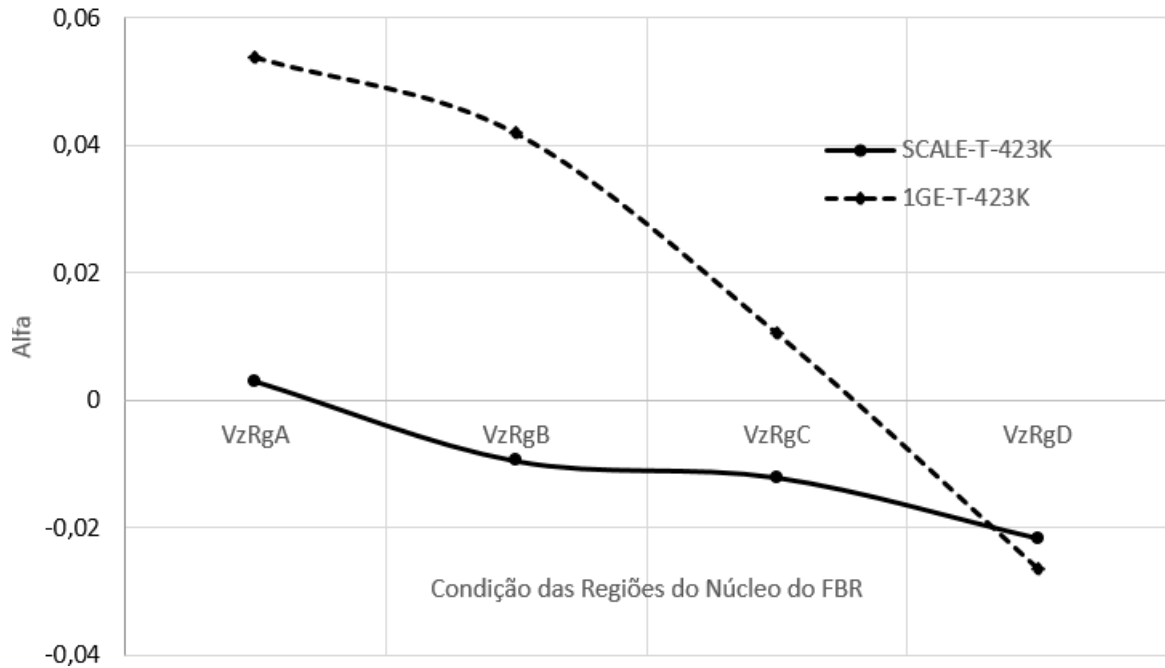


Figura 5 – Coeficiente de Reatividade.

Tabela 10 – Resultados do Coeficiente de Reatividade Obtidos com o *Software* SCALE para o Núcleo do FBR nas Regiões A, B, C e D.

	Vazio A	Vazio B	Vazio C	Vazio D
α_{Sc}	0,00302	-0,00951	-0,01211	-0,02163

8. Com os resultados das constantes de grupo inseridas no software MAPLE foi possível traçar a curva da Figura 6 que apresenta a distribuição do fluxo radial de nêutrons para o núcleo do FBR para a condição sem vazio.

Observa-se no gráfico da Figura 6, que o fluxo radial de nêutrons do FBR, no centro do seu núcleo, tem um valor da ordem de $16,5E-5$ nêutrons/ cm^2s e conforme se afasta do centro atinge o valor máximo, da ordem de $19E-5$ nêutrons/ cm^2s , na região B e vai diminuindo até chegar ao valor próximo a zero na região E, especificamente na posição $R = R_E$, a borda externa do núcleo do FBR.

É importante notar que esses resultados confirmam a característica do FBR, no qual o fluxo máximo não ocorre no centro, mas sim numa posição afastada, região B, em observância a condição de contorno (χ_i), conforme se verifica no gráfico da Figura 6. Isto é devido à presença em percentual crescente do PuO_2 no MOX, material físsil, que possibilita o aumento da fissão e, conseqüentemente, do fluxo de nêutrons de forma que seja máximo nessa região. Após atingir o valor máximo, o fluxo começa a diminuir até o valor próximo de zero devido à fuga crescente de nêutrons nas regiões B, C, D e E.

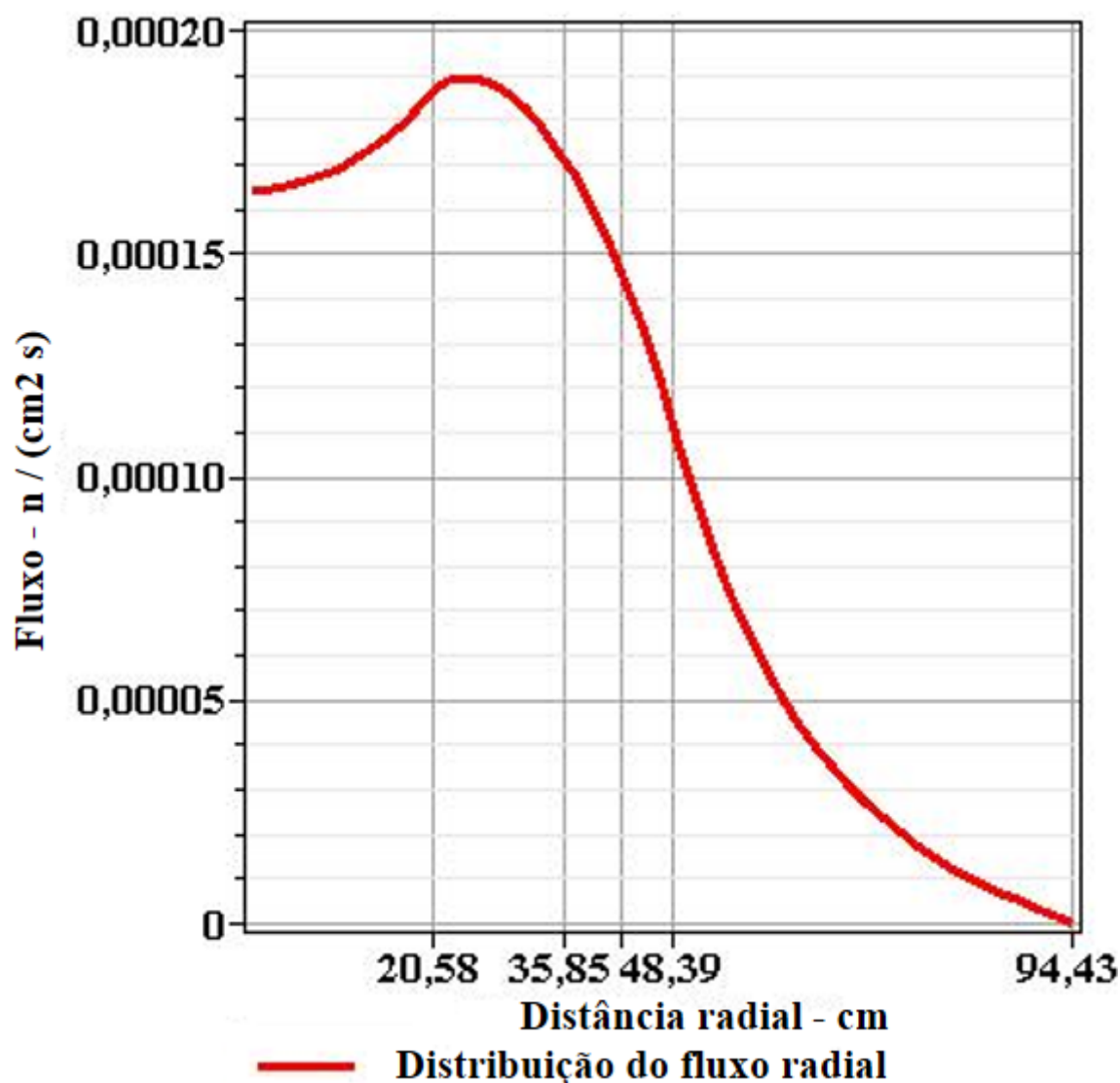


Figura 6 – Distribuição do Fluxo Radial de Nêutrons do Núcleo do FBR para a Condição Sem Vazio.

Os valores deste gráfico estão conforme aqueles obtidos pelo programa FBR1; portanto, mostram a consistência da modelagem e do programa elaborado.

3.2 APROXIMAÇÃO DA DIFUSÃO - DOIS GRUPOS DE ENERGIA

Para dois grupos de energia foram feitas simulações utilizando o programa FBR2 para a temperatura de 623K e, decorrentes dessas simulações, resultados foram obtidos para as absorções parciais e totais, a fuga, as parcelas do k_{eff} assim como o k_{eff} , o coeficiente de reatividade, os fluxos e correntes de nêutrons, os quais estão detalhados no Apêndice D e apresentados de forma resumida nas Tabelas 13, 14, 15 e 16.

3.2.1 Temperatura de 623K

As tabelas a seguir apresentam as constantes de grupo, sendo que na Tabela 11 estão as constantes para a condição sem vazio nas regiões A, B, C, D e E e na Tabela 12 as constantes para a condição com vazio do volume equivalente de 5.87% do Na refrigerante do núcleo do reator inserido nas regiões A, B, C e D. Estas constantes foram calculadas por meio do *software* SCALE e são dados de entrada para o FBR2.

Tabela 11 – Constantes de Grupo para dois Grupos de Energia sem Vazio.

	Região A	Região B	Região C	Região D	Região E
^(a) Σ_{tr1}	0,09707	0,09740	0,09755	0,09769	0,09707
^(b) Σ_{a1}	0,00565	0,00898	0,01004	0,01124	0,00565
^(c) $\nu\Sigma_{f1}$	0,01377	0,02526	0,02894	0,03309	0,01377
^(d) χ_1	0,56812	0,59072	0,59092	0,59105	0,56812
^(a) Σ_{tr2}	0,23104	0,21771	0,21478	0,21199	0,23104
^(b) Σ_{a2}	0,00388	0,00668	0,00760	0,00868	0,00388
^(c) $\nu\Sigma_{f2}$	0,00056	0,01077	0,01388	0,01743	0,00055
^(d) χ_2	0,43188	0,40928	0,40908	0,40895	0,43188
^(e) Σ_{s12}	0,03137	0,02884	0,02811	0,02725	0,03137

Tabela 12 – Constantes de Grupo para dois Grupos de Energia com 5,87% de Vazio.

	Região A	Região B	Região C	Região D
^(a) Σ_{tr1}	0,07363	0,09105	0,09084	0,09233
^(b) Σ_{a1}	0,00564	0,00897	0,01003	0,01123
^(c) $\nu\Sigma_{f1}$	0,01387	0,02527	0,02895	0,03310
^(d) χ_1	0,56812	0,59072	0,59092	0,59105
^(a) Σ_{tr2}	0,17224	0,20283	0,19929	0,19979
^(b) Σ_{a2}	0,00325	0,00652	0,00744	0,00856
^(c) $\nu\Sigma_{f2}$	0,00045	0,01067	0,01379	0,01736
^(d) χ_2	0,43188	0,40928	0,40908	0,40895
^(e) Σ_{s12}	0,02519	0,02718	0,02635	0,02586

Legenda:

- (a) Σ_{tr1} e Σ_{tr2} - seções de choque macroscópicas de transporte, G1 e G2 - (cm^{-1});
- (b) Σ_{a1} e Σ_{a2} - seções de choque macroscópicas de absorção, G1 e G2 - (cm^{-1});
- (c) $\nu\Sigma_{f1}$ e $\nu\Sigma_{f2}$ - produtos da quantidade média de nêutrons produzidos por fissão pela seção de choque macroscópica de fissão, G1 e G2 - (cm^{-1});
- (d) χ_1 e χ_2 - espectros de fissão, G1 e G2 - (n/MeV); e
- (e) Σ_{s12} - seção de choque macroscópica de espalhamento do G1 para o G2 - (cm^{-1}).

3.2.2 Análise dos Resultados Obtidos pelo Programa FBR2

A seguir serão apresentados, comparados e analisados os resultados para os casos na condição sem vazio e com a inserção de vazio em cada uma das regiões A, B, C e D.

3.2.2.1 Condição Sem Vazio e Vazio na Região A.

Tabela 13 – Resultados para a Condição Sem Vazio e Vazio na Região A.

	Sem Vazio	Vazio A
^(a) $A A_1$	0,00371	0,00411
$B A_1$	0,03381	0,03422
$C A_1$	0,02954	0,02955
$D A_1$	0,03029	0,03020
$E A_1$	0,03001	0,03123
^(b) A_{G1}	0,12735	0,12931
^(c) $A A_2$	0,02377	0,02035
$B A_2$	0,16019	0,16121
$C A_2$	0,13059	0,13075
$D A_2$	0,14752	0,14744
$E A_2$	0,30078	0,29293
^(d) A_{G2}	0,76286	0,75268
^(e) A_{To}	0,89022	0,88198
^(f) F_{G1}	0,00910	0,00146
^(g) F_{G2}	0,10068	0,11655
^(h) F_{To}	0,10978	0,11802
⁽ⁱ⁾ $A k_{eff1}$	0,00903	0,01011
$B k_{eff1}$	0,09510	0,09624
$C k_{eff1}$	0,08512	0,08516
$D k_{eff1}$	0,08919	0,08895
$E k_{eff1}$	0,07318	0,07614
^(j) k_{effG1}	0,35163	0,35659
^(k) $A k_{eff2}$	0,00337	0,00279
$B k_{eff2}$	0,25819	0,26096
$C k_{eff2}$	0,23844	0,23935
$D k_{eff2}$	0,29631	0,29660
$E k_{eff2}$	0,04268	0,04156
^(l) k_{effG2}	0,83899	0,84126
^(m) k_{effCa}	1,19062	1,19785

Legenda:

- (a) Absorção parcial de nêutrons referente ao G1 para as regiões A, B, C, D e E;
- (b) Absorção total de nêutrons referente ao G1;
- (c) Absorção parcial de nêutrons referente ao G2 para as regiões A, B, C, D e E;
- (d) Absorção total de nêutrons referente ao G2;

- (e) Absorção total de nêutrons referente aos G1 e G2;
- (f) Fuga de nêutrons referente ao G1;
- (g) Fuga de nêutrons referente ao G2;
- (h) Fuga total de nêutrons referente aos G1 e G2;
- (i) Parcelas do k_{eff} referentes ao G1 para as regiões A, B, C, D e E;
- (j) Parcela do k_{eff} referente ao G1;
- (k) Parcelas do k_{eff} referentes ao G2 para as regiões A, B, C, D e E;
- (l) Parcela do k_{eff} referente ao G2; e
- (m) k_{eff} calculado pelo programa FBR2.

1. Comparando as parcelas de absorção, verifica-se que para o G1 as parcelas da região B (${}_BA_1$) são preponderantes e a parcela para a condição com vazio é maior do que a sem vazio, assim como para a absorção total do G1. Para o G2 a preponderância é das parcelas da região E (${}_EA_2$) e para a condição sem vazio é maior do que a com vazio assim como para a absorção total do G2. A absorção total do G2 é preponderante em relação ao G1, comparando-se com a absorção total, na ordem de 85,69% e 85,34% para as condições sem vazio e com vazio, respectivamente, e a absorção total com vazio é menor do que para a condição sem vazio.

2. Quanto à fuga, a parcela da fuga do G2 é preponderante em relação ao G1, comparando-se com a fuga total, na ordem de 91,71% e 98,75% para as condições sem vazio e com vazio, respectivamente, e a fuga total com vazio é maior do que para a condição sem vazio.

3. Para as parcelas do k_{eff} , verifica-se que para o G1 as parcelas da região B (${}_Bk_{eff1}$) são preponderantes e a parcela para a condição com vazio é maior do que a sem vazio. Para o G2 a preponderância é das parcelas da região D (${}_Dk_{eff2}$) e para a condição com vazio também é maior do que a sem vazio. A parcela total do G2 é preponderante em relação ao G1, comparando-se com o k_{effCa} , na ordem de 70,47% e 70,23% para as condições sem vazio e com vazio, respectivamente, e o k_{effCa} com vazio é maior do que para a condição sem vazio; logo o α é positivo.

3.2.2.2 Condição Sem Vazio e Vazio na Região B.

1. Para as absorções se verifica o mesmo comportamento observado no item 3.2.3.1, ou seja, para o G1 as parcelas da região B (${}_BA_1$) são preponderantes e a parcela para a condição com vazio é maior do que a sem vazio, assim como para a absorção total do G1. Para o G2 a preponderância é das parcelas da região E (${}_EA_2$) e para a condição sem vazio é maior do que a com vazio assim como para a absorção total do G2. A absorção total do

Tabela 14 – Resultados para a Condição Sem Vazio e Vazio na Região B.

	Sem Vazio	Vazio B
${}_AA_1$	0,00371	0,00380
${}_BA_1$	0,03381	0,03433
${}_CA_1$	0,02954	0,02979
${}_DA_1$	0,03029	0,03042
${}_EA_1$	0,03001	0,03143
${}_AG_1$	0,12735	0,12977
${}_AA_2$	0,02377	0,02369
${}_BA_2$	0,16019	0,15568
${}_CA_2$	0,13059	0,13081
${}_DA_2$	0,14752	0,14773
${}_EA_2$	0,30078	0,29407
${}_AG_2$	0,76286	0,75198
${}_ATo$	0,89022	0,88175
${}_FG_1$	0,00910	0,00179
${}_FG_2$	0,10068	0,11646
${}_FTo$	0,10978	0,11825
${}_A k_{eff1}$	0,00903	0,00927
${}_B k_{eff1}$	0,09510	0,09669
${}_C k_{eff1}$	0,08512	0,08586
${}_D k_{eff1}$	0,08919	0,08959
${}_E k_{eff1}$	0,07318	0,07663
${}_k_{effG1}$	0,35163	0,35804
${}_A k_{eff2}$	0,00337	0,00336
${}_B k_{eff2}$	0,25819	0,25481
${}_C k_{eff2}$	0,23844	0,23883
${}_D k_{eff2}$	0,29631	0,29673
${}_E k_{eff2}$	0,04268	0,04172
${}_k_{effG2}$	0,83899	0,83545
${}_k_{effCa}$	1,19062	1,19349

G2 é preponderante em relação ao G1, comparando-se com a absorção total, na ordem de 85,28% para a condição com vazio e a absorção total com vazio é menor do que para a condição sem vazio.

2. Quanto à fuga, tem o mesmo comportamento explanado no item 3.2.3.1, ou seja, a parcela da fuga do G2 é preponderante em relação ao G1, comparando-se com a fuga total, na ordem de 98,49% para a condição com vazio e a fuga total com vazio é maior do que para a condição sem vazio.

3. Para o k_{eff} se tem o mesmo comportamento mencionado no item 3.2.3.1, ou seja, verifica-se que para o G1 as parcelas da região B (${}_B k_{eff1}$) são preponderantes e a parcela para a condição com vazio é maior do que a sem vazio. Para o G2 a preponderância é das parcelas da região D (${}_D k_{eff2}$) e para a condição com vazio também é maior do que a sem

vazio. A parcela total do G2 é preponderante em relação ao G1, comparando-se com o k_{effCa} , na ordem de 70,00% para a condição com vazio e o k_{effCa} com vazio é maior do que para a condição sem vazio; logo o α é positivo.

3.2.2.3 Condição Sem Vazio e Vazio na Região C.

Tabela 15 – Resultados para a Condição Sem Vazio e Vazio na Região C.

	Sem Vazio	Vazio C
${}_AA_1$	0,00371	0,00369
${}_BA_1$	0,03381	0,03378
${}_CA_1$	0,02954	0,02974
${}_DA_1$	0,03029	0,03065
${}_EA_1$	0,03001	0,03164
A_{G1}	0,12735	0,12949
${}_AA_2$	0,02377	0,02359
${}_BA_2$	0,16019	0,15868
${}_CA_2$	0,13059	0,12706
${}_DA_2$	0,14752	0,14779
${}_EA_2$	0,30078	0,29653
A_{G2}	0,76286	0,75365
A_{To}	0,89022	0,88315
F_{G1}	0,00910	0,00171
F_{G2}	0,10068	0,11515
F_{To}	0,10978	0,11685
Ak_{eff1}	0,00903	0,00900
Bk_{eff1}	0,09510	0,09501
Ck_{eff1}	0,08512	0,08582
Dk_{eff1}	0,08919	0,09026
$E k_{eff1}$	0,07318	0,07714
k_{effG1}	0,35163	0,35723
Ak_{eff2}	0,00337	0,00335
Bk_{eff2}	0,25819	0,25575
Ck_{eff2}	0,23844	0,23544
Dk_{eff2}	0,29631	0,29686
$E k_{eff2}$	0,04268	0,04207
k_{effG2}	0,83899	0,83347
k_{effCa}	1,19062	1,19070

1. Para as absorções se verifica que para o G1 as parcelas da região B (${}_BA_1$) são preponderantes e a parcela para a condição com vazio é menor do que a sem vazio, ao contrário do que se observa para a absorção total do G1. Para o G2 a preponderância é das parcelas da região E (${}_EA_2$) e para a condição sem vazio é maior do que a com vazio assim como para a absorção total do G2. A absorção total do G2 é preponderante em relação ao G1, comparando-se com absorção total, na ordem de 85,34% para a condição com vazio e a absorção total com vazio é menor do que para a condição sem vazio.

2. Quanto à fuga, tem o mesmo comportamento explanado nos itens anteriores, ou seja, a parcela da fuga do G2 é preponderante em relação ao G1, comparando-se com a fuga total, na ordem de 98,55% para a condição com vazio e a fuga total com vazio é maior do que para a condição sem vazio.

3. Para o k_{eff} , verifica-se que para o G1 as parcelas da região B ($_Bk_{eff1}$) são preponderantes e a parcela para a condição com vazio é menor do que a sem vazio. Para o G2 a preponderância é das parcelas da região D ($_Dk_{eff2}$) e para a condição com vazio é maior do que a sem vazio. A parcela total do G2 é preponderante em relação ao G1, comparando-se com o k_{effCa} , também na ordem de 70,00% para a condição com vazio e o k_{effCa} com vazio é maior do que para a condição sem vazio; logo o α é positivo.

3.2.2.4 Condição Sem Vazio e Vazio na Região D.

Tabela 16 – Resultados para a Condição Sem Vazio e Vazio na Região D.

	Sem Vazio	Vazio D
$_AA_1$	0,00371	0,00369
$_BA_1$	0,03381	0,03369
$_CA_1$	0,02954	0,02941
$_DA_1$	0,03029	0,03037
$_EA_1$	0,03001	0,03176
A_{G1}	0,12735	0,12892
$_AA_2$	0,02377	0,02365
$_BA_2$	0,16019	0,15915
$_CA_2$	0,13059	0,12946
$_DA_2$	0,14752	0,14486
$_EA_2$	0,30078	0,29471
A_{G2}	0,76286	0,75183
A_{To}	0,89022	0,88075
F_{G1}	0,00910	0,00209
F_{G2}	0,10068	0,11715
F_{To}	0,10978	0,11925
$_Ak_{eff1}$	0,00903	0,00901
$_Bk_{eff1}$	0,09510	0,09475
$_Ck_{eff1}$	0,08512	0,08475
$_Dk_{eff1}$	0,08919	0,08952
$_Ek_{eff1}$	0,07318	0,07744
k_{effG1}	0,35163	0,35547
$_Ak_{eff2}$	0,00337	0,00335
$_Bk_{eff2}$	0,25819	0,25651
$_Ck_{eff2}$	0,23844	0,23638
$_Dk_{eff2}$	0,29631	0,29397
$_Ek_{eff2}$	0,04268	0,04181
k_{effG2}	0,83899	0,83206
k_{effCa}	1,19062	1,18749

1. Para as absorções se verifica o mesmo comportamento observado no item 3.2.3.3, ou seja, para o G1 as parcelas da região B (${}_BA_1$) são preponderantes e a parcela para a condição com vazio é menor do que a sem vazio, ao contrário do que se observa para a absorção total do G1. Para o G2 a preponderância é das parcelas da região E (${}_EA_2$) e para a condição sem vazio é maior do que a com vazio assim como para a absorção total do G2. A absorção total do G2 é preponderante em relação ao G1, comparando-se com a absorção total, na ordem de 85,36% para a condição com vazio e a absorção total com vazio é menor do que para a condição sem vazio.

2. Quanto à fuga, tem o mesmo comportamento explanado nos itens anteriores, ou seja, a parcela da fuga do G2 é preponderante em relação ao G1, comparando-se com a fuga total, na ordem de 98,24% para a condição com vazio e a fuga total com vazio é maior do que para a condição sem vazio.

3. Para o k_{eff} , verifica-se que para o G1 as parcelas da região B (${}_Bk_{eff1}$) são preponderantes e a parcela para a condição com vazio é menor do que a sem vazio. Para o G2 a preponderância é das parcelas da região D (${}_Dk_{eff2}$) e para a condição com vazio é menor do que a sem vazio. A parcela total do G2 é preponderante em relação ao G1, comparando-se com o k_{effCa} , também na ordem de 70,07% para a condição com vazio e o k_{effCa} com vazio é menor do que para a condição sem vazio; logo o α é negativo.

3.2.2.5 Análise Global dos Resultados para Dois Grupos de Energia

Analizando globalmente os resultados obtidos por meio do programa FBR2, os quais estão apresentados de forma detalhada na Tabela 17, observam-se os aspectos a seguir.

1. A absorção parcial é predominante na região B (${}_BA_1$), para o G1, e na região E (${}_EA_2$), para o G2, nas condições sem vazio e com vazio. As absorções parciais do G2 são maiores do que as do G1, o que é esperado, uma vez que a energia dos nêutrons rápidos do G2 é menor (abaixo de 1,4MeV) do que a do G1 (acima de 1,4MeV), logo a probabilidade de interação dos nêutrons com o material físsil do núcleo do FBR é maior redundando assim em maior absorção.

2. O maior valor da absorção total do G1 ($A_{G1} = 0,12977$) ocorre para a condição de vazio na região B e para o G2 ($A_{G2} = 0,76286$) para a condição sem vazio. Para as condições consideradas a absorção total do G2 é predominante em relação ao G1 na ordem de 85,7%, comparando-se com a absorção total, fato este esperado, conforme mencionado no item 1.

3. A absorção total tem o seu menor valor (0,88075) e maior valor (0,89022) para as condições de vazio na região D e sem vazio, respectivamente. Observa-se um comportamento decrescente da absorção total conforme o vazio é inserido, da região A para a D, exceto a

Tabela 17 – Resultados para o Núcleo do FBR a Dois Grupos de Energia de Nêutrons Sem Vazio e com 5,87% de Vazio nas Regiões A, B, C e D.

	Sem Vazio	Vazio A	Vazio B	Vazio C	Vazio D
${}_AA_1$	0,00371	0,00411	0,00380	0,00369	0,00369
${}_BA_1$	0,03381	0,03422	0,03433	0,03378	0,03369
${}_CA_1$	0,02954	0,02955	0,02979	0,02974	0,02941
${}_DA_1$	0,03029	0,03020	0,03042	0,03065	0,03037
${}_EA_1$	0,03001	0,03123	0,03143	0,03164	0,03176
${}_AG_1$	0,12735	0,12931	0,12977	0,12949	0,12892
${}_AA_2$	0,02377	0,02035	0,02369	0,02359	0,02365
${}_BA_2$	0,16019	0,16121	0,15568	0,15868	0,15915
${}_CA_2$	0,13059	0,13075	0,13081	0,12706	0,12946
${}_DA_2$	0,14752	0,14744	0,14773	0,14779	0,14486
${}_EA_2$	0,30078	0,29293	0,29407	0,29653	0,29471
${}_AG_2$	0,76286	0,75268	0,75198	0,75365	0,75183
${}_ATo$	0,89022	0,88198	0,88175	0,88315	0,88075
${}_FG_1$	0,00910	0,00146	0,00179	0,00171	0,00209
${}_FG_2$	0,10068	0,11655	0,11646	0,11515	0,11715
${}_FTo$	0,10978	0,11802	0,11825	0,11685	0,11925
${}_A k_{eff1}$	0,00903	0,01011	0,00927	0,00900	0,00901
${}_B k_{eff1}$	0,09510	0,09624	0,09669	0,09501	0,09475
${}_C k_{eff1}$	0,08512	0,08516	0,08586	0,08582	0,08475
${}_D k_{eff1}$	0,08919	0,08895	0,08959	0,09026	0,08952
${}_E k_{eff1}$	0,07318	0,07614	0,07663	0,07714	0,07744
${}_k_{effG1}$	0,35163	0,35659	0,35804	0,35723	0,35547
${}_A k_{eff2}$	0,00337	0,00279	0,00336	0,00335	0,00335
${}_B k_{eff2}$	0,25819	0,26096	0,25481	0,25575	0,25651
${}_C k_{eff2}$	0,23844	0,23935	0,23883	0,23544	0,23638
${}_D k_{eff2}$	0,29631	0,29660	0,29673	0,29686	0,29397
${}_E k_{eff2}$	0,04268	0,04156	0,04172	0,04207	0,04181
${}_k_{effG2}$	0,83899	0,84126	0,83545	0,83347	0,83206
${}_k_{effCa}$	1,19062	1,19785	1,19349	1,19070	1,18749

absorção para a condição de vazio na região C que é superior as demais condições de vazio. Este comportamento é semelhante àquele observado para a modelagem considerando um grupo de energia, o que é esperado e está coerente, haja vista a influência da inserção de vazio na diminuição da seção de choque macroscópica de absorção e, conseqüentemente, na absorção total que apresenta uma diminuição da ordem de 1,06% (0,00947) da condição sem vazio para a de vazio na região D.

4. A fuga total de nêutrons apresenta um comportamento inverso ao da absorção, ou seja, conforme a absorção aumenta a fuga diminui e vice-versa. O maior valor da fuga (0,11925) e o menor valor (0,10978) ocorrem na condição de vazio na região D e na condição sem vazio, respectivamente, sendo observado um comportamento crescente da fuga total conforme o vazio é inserido, da região A para a D, exceto a fuga para a condição de vazio

na região C que é inferior as demais condições de vazio. Isto é decorrente da diminuição da absorção conforme o vazio é inserido do centro do núcleo do reator (região A) para a sua borda externa (região D), logo na região mais externa haverá maior quantidade de nêutrons para escaparem do núcleo do FBR. Este é um comportamento esperado de forma a compensar a absorção total que diminui de acordo com a inserção de vazio da região central (A) para a região externa (D) do reator. Esse comportamento é semelhante àquele observado para a modelagem considerando um grupo de energia.

Verifica-se que a fuga de nêutrons apresenta um aumento da ordem de 8,63% (0,00947) da condição sem vazio para a de vazio na região D e, assim, constata-se que o percentual do aumento da fuga de nêutrons é maior do que o percentual da diminuição da absorção total de nêutrons compensando a presença de maior população de nêutrons, o que é esperado para o FBR.

5. Para o G1, a maior parcela do k_{eff} ocorre na região B (${}_Bk_{eff1} = 0,09669$) e, para o G2, na região D (${}_Dk_{eff2} = 0,29686$) considerando vazio nas regiões B e C, respectivamente. Quanto à parcela total do G1 e do G2, o maior valor do G1 ($k_{effG1} = 0,35804$) e para o G2 ($k_{effG2} = 0,84126$) ocorre para a condição de vazio nas regiões B e A, respectivamente.

Para as condições consideradas, constata-se que as parcelas totais do k_{eff} pertinentes ao G2 tem predominância, da ordem de 70,0%, em relação àquelas do G1, o que é esperado, uma vez que a energia dos nêutrons rápidos do G2 é menor, logo a probabilidade de interação desses nêutrons com o material físsil do núcleo do FBR é maior contribuindo assim para que as parcelas do k_{eff} pertinentes ao G2 sejam maiores daquelas do G1;

6. O maior valor para o k_{eff} calculado (1,19785) é para a condição de vazio na região A e conforme o vazio é inserido nas demais regiões (B, C e D) o valor do k_{eff} calculado diminui. No entanto, é importante observar que todos esses valores são maiores do que o k_{eff} calculado para a condição sem vazio (1,19062), exceto o valor do k_{eff} calculado para o vazio inserido na região D (1,18749). Comparando o valor do k_{eff} para a condição sem vazio com os valores obtidos para a condição de vazio se observa um aumento de 0,61% (0,00723) para a região A, 0,24% (0,00287) para a região B e 0,01% (0,00008) para a região C, e diminuição de 0,26% (0,00313) para vazio na região D.

7. Os gráficos da Figura 7 representam os k_{eff} decorrentes dos resultados obtidos pelo programa FBR2 (2GE-T-623K) e *software* SCALE (SCALE-T-623K), conforme os dados das Tabelas 17 e 18(5), respectivamente.

Tabela 18 – Resultados Obtidos com o *Software* SCALE para o Núcleo do FBR Sem Vazio e com 5,87% de Vazio nas Regiões A, B, C e D.

	Sem Vazio	Vazio A	Vazio B	Vazio C	Vazio D
k_{effSc}	1,1364	1,1369	1,1368	1,1364	1,1353

Tais gráficos mostram a preponderância do k_{eff} com vazio na região A, que é devido à predominância do fluxo e da absorção total na condição de vazio nessa região. É importante ressaltar que, para as condições consideradas, os valores do k_{eff} obtidos pelo programa FBR2 têm comportamento semelhante daqueles do *software* SCALE, ou seja, constata-se que o fator de multiplicação aumenta e diminui de acordo com a localização do vazio, ou seja, é sensível à sua presença.

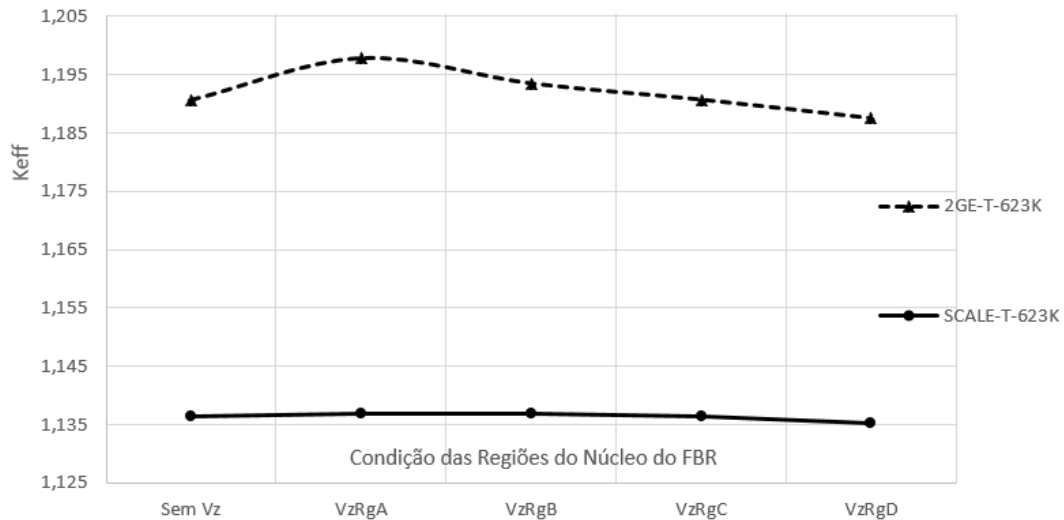


Figura 7 – Fator de Multiplicação - k_{eff} .

8. Os gráficos da Figura 8, elaborados conforme os dados das Tabelas 19 e 20(5), mostram que os valores do coeficiente de reatividade, α , calculados pelo programa FBR2 (2GE-T-623K) são positivos decrescentes para as regiões A, B e C até tornar-se negativo para a região D, conforme o vazio é inserido nas respectivas regiões. Para o *software* SCALE (SCALE-T-623K) os resultados são semelhantes, ou seja, apenas o coeficiente de reatividade calculado na condição de vazio na região D é negativo, os demais são positivos para vazio nas regiões A e B, e igual a zero para vazio na região C. Logo, é importante realçar que os resultados decorrentes do programa FBR2 e do *software* SCALE apresentam a mesma tendência, ou seja, são decrescentes conforme a condição de vazio é inserida da região central (A) para a região externa (D) do núcleo do reator, resultado esperado para o FBR devido à maior fuga de nêutrons conforme se afasta do centro para a parte externa do núcleo do FBR.

Tabela 19 – Resultados do Coeficiente de Reatividade Obtidos com o Programa FBR1 para o Núcleo do FBR nas Regiões A, B, C e D.

	Vazio A	Vazio B	Vazio C	Vazio D
α_{Ca}	0,08637	0,03456	0,00103	-0,03763

Verifica-se dos resultados que o coeficiente de reatividade diminui de acordo com a localização do vazio, ou seja, é sensível à sua presença.

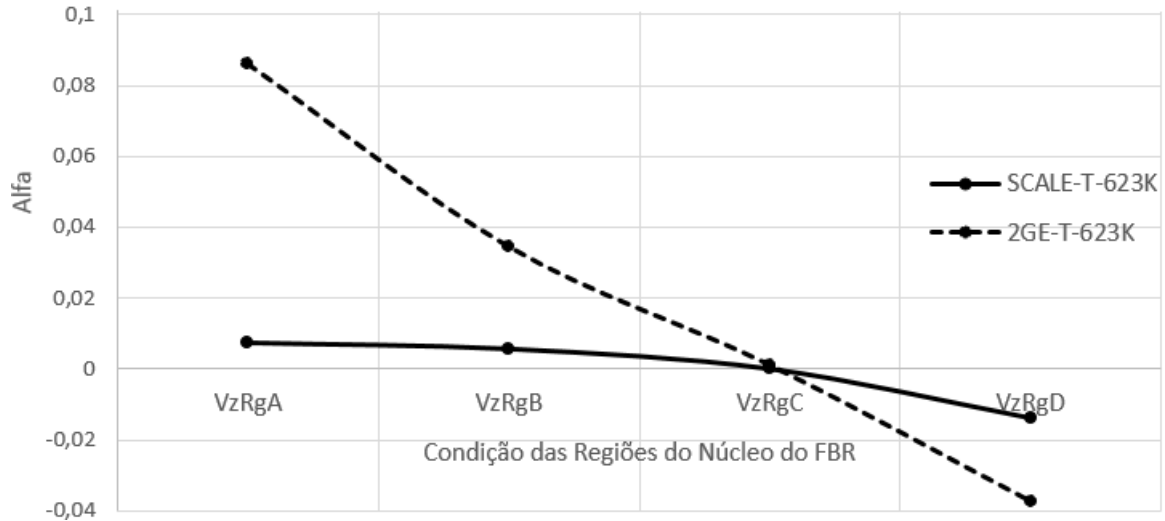


Figura 8 – Coeficiente de Reatividade.

Tabela 20 – Resultados Obtidos com o *Software* SCALE para o Núcleo do FBR Sem Vazio e com 5,87% de Vazio nas Regiões A, B, C e D.

	Vazio A	Vazio B	Vazio C	Vazio D
α_{Sc}	0,00747	0,00571	0,00000	-0,01409

9. Com os resultados das constantes de grupo inseridas no software MAPLE foi possível traçar a curva da Figura 9 que representa a distribuição do fluxo radial de nêutrons para os G1 e G2 referentes ao núcleo do FBR para a condição sem vazio.

Observa-se no gráfico da Figura 9 que o fluxo radial de nêutrons do FBR, no centro do seu núcleo, tem um valor da ordem de $1,3E-5$ e $16,6E-5$ nêutrons/ cm^2s para os G1 e G2, respectivamente, e conforme se afasta do centro atinge o valor máximo da ordem de $2,5E-5$ e $17,0E-5$ nêutrons/ cm^2s para os G1 e G2, respectivamente, na região B e vai diminuindo até chegar ao valor próximo a zero na região E, especificamente na posição $R = R_E$, a borda externa do núcleo do FBR.

É importante observar que esses resultados confirmam a característica do FBR, no qual o fluxo máximo não ocorre no centro, mas sim numa posição afastada, região B, em observância a condição de contorno (*xxi*), conforme se verifica no gráfico da Figura 9. Isto é devido à presença em percentual crescente do PuO_2 no MOX, material físsil, que possibilita o aumento da fissão e, conseqüentemente, do fluxo de nêutrons de forma que seja máximo nessa região. Após atingir o valor máximo, o fluxo começa a diminuir até o valor próximo de zero devido à fuga crescente de nêutrons nas regiões B, C, D e E.

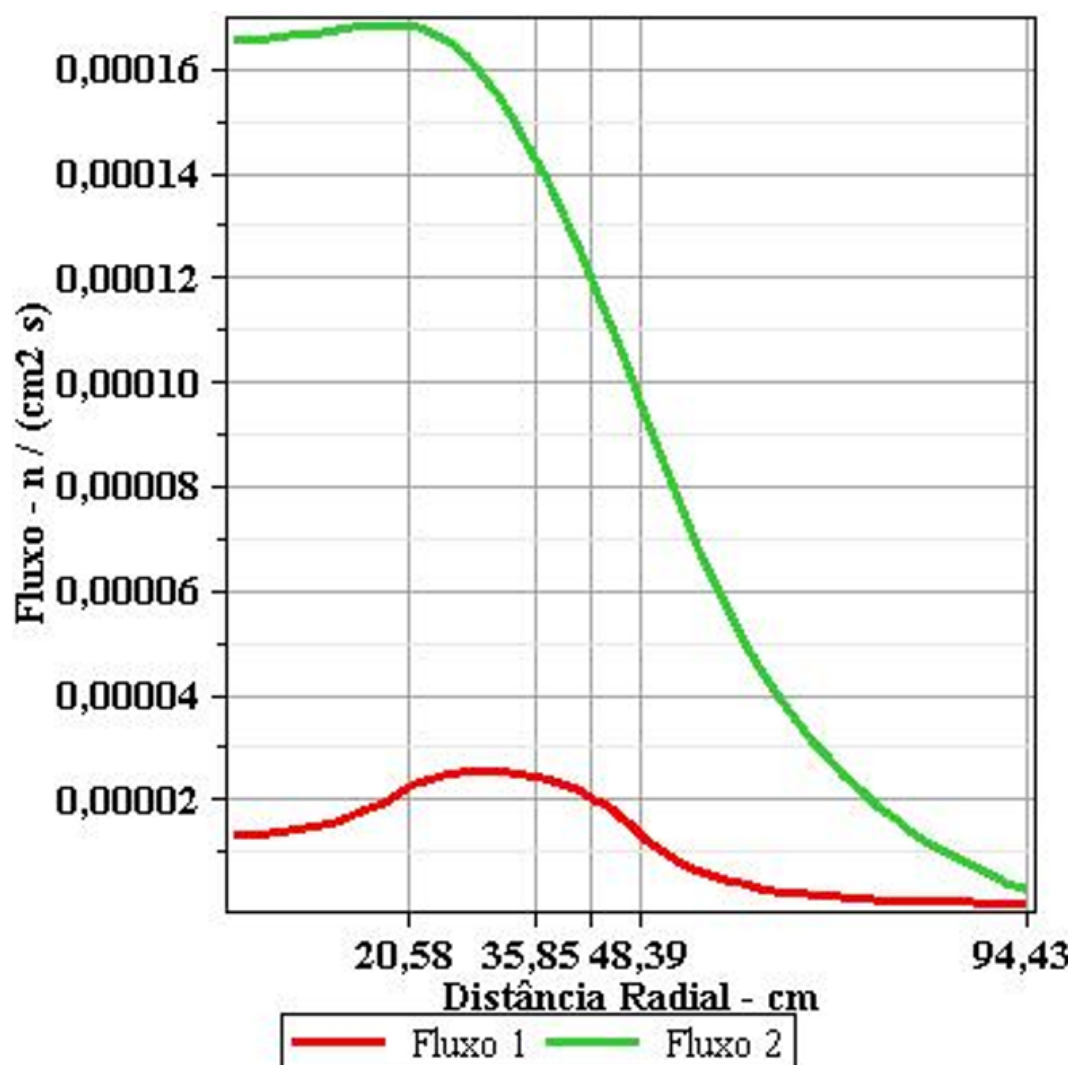


Figura 9 – Distribuição do Fluxo Radial de Nêutrons do Núcleo do FBR para a Condição Sem Vazio.

Os valores desse gráfico estão conforme aqueles obtidos pelo programa FBR2; portanto, mostra e relaça a consistência da modelagem e do programa elaborado.

4 CONCLUSÃO

De acordo com o estudo desenvolvido, a metodologia aplicada e os resultados obtidos para um e dois grupos de energia e, também, para as condições das simulação realizadas, abaixo são mencionadas as conclusões extraídas e as sugestões de trabalhos futuros.

4.1 PARA OS RESULTADOS OBTIDOS

O resultado obtido para o fluxo contribui para confirmar a característica do FBR, ou seja, o fluxo máximo de nêutrons acontece na região B, afastada do centro do núcleo do FBR, devido à presença em percentual crescente do PuO_2 no MOX.

A absorção de nêutrons é predominante na região E, a região mais externa do núcleo do FBR e preenchida com material constituído de UO_2 natural, possibilitando a ocorrência de *breeding* nessa região em maior intensidade, que é uma das principais finalidades deste reator, além da produção de energia. Isso para o modelo analítico da aproximação da difusão para um e dois grupos de energia.

O aumento do k_{eff} em relação ao k_{eff} sem vazio com a inserção de vazio nas regiões A, B e C resulta em valores positivos decrescentes do coeficiente de reatividade; no entanto, o vazio na região D resulta em coeficiente de reatividade negativo devido à diminuição do k_{eff} em relação ao k_{eff} sem vazio. Isso é constatado para todas as condições de simulação efetuadas. Essa preponderância do k_{eff} com vazio na região A é consequência da predominância do fluxo e da absorção total na condição de vazio nessa região.

A fuga de nêutrons aumenta conforme se afasta a inserção de vazio em relação ao centro do núcleo do reator e essa inserção endurece o espectro de nêutrons provocando assim o aumento do número médio de nêutrons produzidos por nêutron absorvido pelo reator (fator η); logo, o aumento da fuga de nêutrons compensa o endurecimento do espectro de nêutrons. Caso a fuga de nêutrons não compensasse esse efeito, o coeficiente de reatividade seria positivo sob quaisquer condições. Esse coeficiente positivo ocorre com a inserção de vazio na região central do reator (regiões A, B e C); no entanto, inserindo vazio na região D a fuga é dominante, logo o coeficiente de reatividade se torna negativo. Apesar do coeficiente de reatividade decorrente do modelo analítico diferir em magnitude daquele obtido pelo *software* SCALE, o seu comportamento e tendência são semelhantes. Dos resultados obtidos verifica-se a sensibilidade do FBR decorrente da presença de vazio em seu núcleo, mas também se constata a sua segurança intrínseca.

O fator de multiplicação e o coeficiente de reatividade são sensíveis à presença de

vazio; portanto, é fundamental implementar mecanismos de controle do comportamento do núcleo de forma que, além de possibilitarem a indicação da variação do k_{eff} e do α , permitam o seus ajustes de forma a manter estável a taxa de fissão do núcleo do FBR.

O modelo analítico apresentado, mesmo com certo grau de simplicidade, auxilia a prever a tendência tanto do fator de multiplicação efetivo como do coeficiente de reatividade (positivo e negativo) que são semelhantes àquela do *software* SCALE.

A aproximação da difusão e a abordagem analítica apresentadas neste trabalho proporcionaram um desenvolvimento computacional simples e rápido cujos resultados detalhados estão coerentes com aqueles obtidos pela abordagem numérica do *software* SCALE e permitem verificar, em pormenores, os resultados nucleares obtidos em cada região do núcleo do FBR.

Portanto, concluímos que esta aproximação e abordagem demonstram ser uma ferramenta poderosa para os passos iniciais de um projeto de reator de maneira a verificar o comportamento e a sensibilidade do fator de multiplicação e do coeficiente de reatividade do FBR.

4.2 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- 4.2.1 Analisar o comportamento do FBR considerando uma única região de MOX e alterando o percentual de PuO_2 no elemento combustível.
- 4.2.2 Análise dos resultados obtidos para o FBR decorrentes da aplicação da geometria cilíndrica.
- 4.2.3 Analisar o comportamento do FBR em função da utilização da geometria esférica no *software* SCALE.
- 4.2.4 Análise temporal termofluida do FBR.

Para as propostas sugeridas, utilizar os dados do FBR constantes neste trabalho assim como naqueles já desenvolvidos e referenciados ((3),(4),(5),(6)).

REFERÊNCIAS

- 1 THE Database on Nuclear Power Reactors-Overview. Disponível em: <<https://pris.iaea.org/pris/>>. Acesso em: 06 de agosto de 2019. 15
- 2 URANIUM Resources, Production and Demand. A Joint Report by the Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency. Disponível em: <<https://www.oecd-neo.org/ndd/pubs/2018/7413-uranium-2018.pdf>>. Acesso em: 06 de agosto de 2019. 15
- 3 SILVA, P. H. P. *Projeto conceitual mínimo de um reator de espectro rápido voltado para o parque nuclear brasileiro*. 2013. Dissertação (Pós-Graduação) - Instituto Militar de Engenharia. 16, 17, 56
- 4 OLIVEIRA, A. A. *Reator rápido regenerador independente de urânio enriquecido*. 2014. Dissertação (Pós-Graduação) - Instituto Militar de Engenharia. 16, 17, 56
- 5 LIMA, F. P. C. *Análise global do coeficiente de reatividade de vazios para o reator de espectro rápido FBR-IME*. 2018. Dissertação (Pós-Graduação) - Instituto Militar de Engenharia. 16, 17, 23, 38, 39, 51, 52, 56
- 6 VELOSO, M. J. *Análise termofluida preliminar do reator de espectro rápido FBR-IME*. 2018. Dissertação (Pós-Graduação) - Instituto Militar de Engenharia. 16, 56
- 7 PACITTI, T. *Programação - Princípios*. 1. ed. [S.l.]: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1986. 16
- 8 INC., W. M. *Maple User Manual - Version 13.0*. 2009. Waterloo, ON Canada. 16
- 9 DUDERSTADT, J. J.; HAMILTON, L. J. *Nuclear Reactor Analysis*. 1. ed. [S.l.]: John Wiley Sons, Inc, 1976. 19, 21, 24, 28, 29
- 10 DUDERSTADT, J. J. *Transport Theory*. 4. ed. [S.l.]: Nova York: Champman & Hall, 1979. 19, 24
- 11 LAMARSCH, J. R. *Nuclear Reactor Theory*. 2. ed. [S.l.]: Addison-Wesley Publishing Company, Inc, 1966. 19, 24
- 12 MEEM, J. L. *Two Group Reactor Theory*. 2. ed. [S.l.]: Wiley-VCH, 1964. 19, 24
- 13 HILDEBRAND, F. B. *Advanced Calculus for Applications*. 2. ed. [S.l.]: Prentice-Hall, Inc., 1976. 20, 27

APÊNDICE A – PROGRAMA FORTRAN

PARA UM GRUPO DE ENERGIA

PROGRAM FBR1

C PROGRAMA PARA UM GRUPO DE ENERGIA E CINCO REGIÕES A, B, C, D e E
 C CHAMADA DA ROTINA PARA LEITURA DE DADOS DE ENTRADA
 C ETR(1, 2, 3, 4, 5): SEÇÃO DE CHOQUE DE TRANSPORTE
 C EAB(1, 2, 3, 4, 5): SEÇÃO DE CHOQUE DE ABSORÇÃO
 C VF1(1, 2, 3, 4, 5): PRODUTO CONSTANTE " ν " POR SEÇÃO DE CHOQUE DE
 C FISSÃO " Σ_f " ($\nu\Sigma_f$)
 C XKEF: k_{eff}

CALL FBR1INSIS(ETR1, EAB1, VFI1, ETR2, EAB2, VFI2, ETR3, EAB3, VFI3,
 ETR4, EAB4, VFI4, ETR5, EAB5, VFI5, XKEF)

C CÁLCULO DAS RAÍZES DAS EQUAÇÕES DE FLUXO: XKI1, XKI2, XKI3, XKI4 e
 C XKI5 - REGIÕES A, B, C, D e E

D1 = 1.0/(3.0*ETR1)
 X10 = EAB1 - VFI1/XKEF
 XKI1 = SQRT(X10/D1)
 D2 = 1.0/(3.0*ETR2)
 X20 = VFI2/XKEF - EAB2
 XKI2 = SQRT(X20/D2)
 D3 = 1.0/(3.0*ETR3)
 X30 = VFI3/XKEF - EAB3
 XKI3 = SQRT(X30/D3)
 D4 = 1.0/(3.0*ETR4)
 X40 = VFI4/XKEF - EAB4
 XKI4 = SQRT(X40/D4)
 D5 = 1.0/(3.0*ETR5)
 X50 = EAB5 - VFI5/XKEF
 XKI5 = SQRT(X50/D5)

C FINAL DO CÁLCULO: RAÍZES DAS EQUAÇÕES DE FLUXO

C VALORES DOS RAIOS DAS ESFERAS R1, R2, R3, R4 e R5

R5 = 94.429
 R4 = 48.395
 R3 = 42.354
 R2 = 35.583

```

R1 = 20.582

C  CÁLCULO DOS RAIOS QUADRADOS DAS ESFERAS
R11 = R1*R1
R22 = R2*R2
R33 = R3*R3
R44 = R4*R4
R55 = R5*R5

C  CÁLCULO DE PI e DO QUADRADO DAS RAÍZES DAS ESFERAS
PI = 4.0*ATAN(1.0)
XX1 = XKI1*XKI1
XX2 = XKI2*XKI2
XX3 = XKI3*XKI3
XX4 = XKI4*XKI4
XX5 = XKI5*XKI5

C  VALOR DO  $k_{eff}$  CALCULADO SEM VAZIO "XKEF0- VALOR DE REFERÊNCIA
XKEF0 = 1.196983

C  VALOR PERCENTUAL DE VAZIO DE SÓDIO "VzNa"= Vvazio/Vrefrigerante
VzNa = 5.87

C  CÁLCULO DAS VARIÁVEIS DAS REGIÕES A, B, C, D e E EM FUNÇÃO DAS
C  CONSTANTES: C1, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9 e C10. OBS: C2=0
C  CONDIÇÃO DE CONTORNO: R=R1 → FLUXO "A"= FLUXO "B"
X110 = SINH(XKI1*R1)/R1
X111 = SIN(XKI2*R1)/R1
X112 = COS(XKI2*R1)/R1

C  CONDIÇÃO DE CONTORNO: R=R1 → CORRENTE "A"= CORRENTE "B"
X113 = -D1*(XKI1*R1*COSH(XKI1*R1) - SINH(XKI1*R1))/R11
X114 = -D2*(XKI2*R1*COS(XKI2*R1) - SIN(XKI2*R1))/R11
X115 = -D2*(-XKI2*R1*SIN(XKI2*R1) - COS(XKI2*R1))/R11

C  SISTEMA PARA R=R1 REGIÕES "A-B":
C  C1*X110 = C3*X111 + C4*X112
C  C1*X113 = C3*X114 + C4*X115

C  CONDIÇÃO DE CONTORNO: R=R2 → FLUXO "B"= FLUXO "C"
X116 = SIN(XKI2*R2)/R2
X117 = COS(XKI2*R2)/R2

```

$$X118 = \sin(XKI3 \cdot R2) / R2$$

$$X119 = \cos(XKI3 \cdot R2) / R2$$

C CONDIÇÃO DE CONTORNO: $R=R2 \rightarrow$ CORRENTE "B" = CORRENTE "C"

$$X120 = -D2 \cdot (XKI2 \cdot R2 \cdot \cos(XKI2 \cdot R2) - \sin(XKI2 \cdot R2)) / R22$$

$$X121 = -D2 \cdot (-XKI2 \cdot R2 \cdot \sin(XKI2 \cdot R2) - \cos(XKI2 \cdot R2)) / R22$$

$$X122 = -D3 \cdot (XKI3 \cdot R2 \cdot \cos(XKI3 \cdot R2) - \sin(XKI3 \cdot R2)) / R22$$

$$X123 = -D3 \cdot (-XKI3 \cdot R2 \cdot \sin(XKI3 \cdot R2) - \cos(XKI3 \cdot R2)) / R22$$

C SISTEMA PARA $R=R2$ REGIÕES "B-C":

$$C3 \cdot X116 + C4 \cdot X117 = C5 \cdot X118 + C6 \cdot X119$$

$$C3 \cdot X120 + C4 \cdot X121 = C5 \cdot X122 + C6 \cdot X123$$

C CONDIÇÃO DE CONTORNO: $R=R3 \rightarrow$ FLUXO "C" = FLUXO "D"

$$X124 = \sin(XKI3 \cdot R3) / R3$$

$$X125 = \cos(XKI3 \cdot R3) / R3$$

$$X126 = \sin(XKI4 \cdot R3) / R3$$

$$X127 = \cos(XKI4 \cdot R3) / R3$$

C CONDIÇÃO DE CONTORNO: $R=R3 \rightarrow$ CORRENTE "C" = CORRENTE "D"

$$X128 = -D3 \cdot (XKI3 \cdot R3 \cdot \cos(XKI3 \cdot R3) - \sin(XKI3 \cdot R3)) / R33$$

$$X129 = -D3 \cdot (-XKI3 \cdot R3 \cdot \sin(XKI3 \cdot R3) - \cos(XKI3 \cdot R3)) / R33$$

$$X130 = -D4 \cdot (XKI4 \cdot R3 \cdot \cos(XKI4 \cdot R3) - \sin(XKI4 \cdot R3)) / R33$$

$$X131 = -D4 \cdot (-XKI4 \cdot R3 \cdot \sin(XKI4 \cdot R3) - \cos(XKI4 \cdot R3)) / R33$$

C SISTEMA PARA $R=R3$ REGIÕES "C-D":

$$C5 \cdot X124 + C6 \cdot X125 = C7 \cdot X126 + C8 \cdot X127$$

$$C5 \cdot X128 + C6 \cdot X129 = C7 \cdot X130 + C8 \cdot X131$$

C CONDIÇÃO DE CONTORNO: $R=R4 \rightarrow$ FLUXO "D" = FLUXO "E"

$$X132 = \sin(XKI4 \cdot R4) / R4$$

$$X133 = \cos(XKI4 \cdot R4) / R4$$

$$X134 = \sinh(XKI5 \cdot R4) / R4$$

$$X135 = \cosh(XKI5 \cdot R4) / R4$$

C CONDIÇÃO DE CONTORNO: $R=R4 \rightarrow$ CORRENTE "D" = CORRENTE "E"

$$X136 = -D4 \cdot (XKI4 \cdot R4 \cdot \cos(XKI4 \cdot R4) - \sin(XKI4 \cdot R4)) / R44$$

$$X137 = -D4 \cdot (-XKI4 \cdot R4 \cdot \sin(XKI4 \cdot R4) - \cos(XKI4 \cdot R4)) / R44$$

$$X138 = -D5 \cdot (XKI5 \cdot R4 \cdot \cosh(XKI5 \cdot R4) - \sinh(XKI5 \cdot R4)) / R44$$

$$X139 = -D5 \cdot (XKI5 \cdot R4 \cdot \sinh(XKI5 \cdot R4) - \cosh(XKI5 \cdot R4)) / R44$$

C SISTEMA PARA $R=R4$ REGIÕES "D-E":

$$C7 \cdot X132 + C8 \cdot X133 = C9 \cdot X134 + C10 \cdot X135$$

$$C7 \cdot X136 + C8 \cdot X137 = C9 \cdot X138 + C10 \cdot X139$$

```

C  CONDIÇÃO DE CONTORNO: R=R5 → CORRENTE J-) = 0
C  0 = FLUXO5/4 + D5/2*d(FLUXO5)/dr
      X100 = SINH(XKI5*R5)/R5 +
            2*D5*(XKI5*R5*COSH(XKI5*R5) - SINH(XKI5*R5))/R55
      X101 = COSH(XKI5*R5)/R5 +
            2*D5*(XKI5*R5*SINH(XKI5*R5) - COSH(XKI5*R5))/R55

C  SISTEMA PARA R=R5:
C  0 = C9*X100 + C10*X101
C  CONDIÇÃO DE CONTORNO: R=R5 → FLUXO E CORRENTE
      X140 = SINH(XKI5*R5)/R5 !FLUXO
      X141 = COSH(XKI5*R5)/R5 !FLUXO → X140 + X141 = FLUXO EM R=R5
      X142 = -D5*(XKI5*R5*COSH(XKI5*R5) - SINH(XKI5*R5))/R55 !CORRENTE
C  EM R=R5
      X143 = -D5*(XKI5*R5*SINH(XKI5*R5) - COSH(XKI5*R5))/R55 !CORRENTE
C  EM R=R5

C  FINAL CÁLCULO VARIÁVEIS: EM FUNÇÃO DAS CONSTANTES: C1, C3, C4, C5
C  C6, C7, C8, C9 e C10
C  CÁLCULO DAS CONSTANTES C1, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9 e C10 → SOLUÇÃO
C  POR DETERMINANTES
C  CÁLCULO DE C3 E C4 EM FUNÇÃO DE C1 USANDO SISTEMA "A"
C  SISTEMA "A": C1*X110 = C3*X111 + C4*X112
C              C1*X113 = C3*X114 + C4*X115
C  X200 = (X110*X115 - X112*X113)/(X111*X115 - X112*X114)
C  X201 = (X111*X113 - X110*X114)/(X111*X115 - X112*X114)
C  C3 = C1*X200
C  C4 = C1*X201
C  SUBSTITUIR C3 E C4 NO SISTEMA "B" E CALCULAR C5 E C6 EM FUNÇÃO DE
C  C1
C  SISTEMA "B": C3*X116 + C4*X117 = C5*X118 + C6*X119
C              C3*X120 + C4*X121 = C5*X122 + C6*X123
      X150 = (X116*X200) + (X117*X201)
      X151 = (X120*X200) + (X121*X201)

C  SISTEMA "B": C1*X150 = C5*X118 + C6*X119
C              C1*X151 = C5*X122 + C6*X123
      X202 = (X123*X150 - X119*X151)/(X118*X123 - X119*X122)
      X203 = (X118*X151 - X122*X150)/(X118*X123 - X119*X122)

C  C5 = C1*X202

```

```

C  C6 = C1*X203
C  SUBSTITUIR C5 E C6 NO SISTEMA "C" E CALCULAR C7 E C8 EM FUNÇÃO DE
C  C1
C  SISTEMA "C": C5*X124 + C6*X125 = C7*X126 + C8*X127
C              C5*X128 + C6*X129 = C7*X130 + C8*X131
C              X152 = (X124*X202) + (X125*X203)
C              X153 = (X128*X202) + (X129*X203)
C  SISTEMA "C": C1*X152 = C7*X126 + C8*X127
C              C1*X153 = C7*X130 + C8*X131
C              X204 = (X131*X152 - X127*X153)/(X126*X131 - X127*X130)
C              X205 = (X126*X153 - X130*X152)/(X126*X131 - X127*X130)
C  C7 = C1*X204
C  C8 = C1*X205
C  SUBSTITUIR C7 E C8 NO SISTEMA "D" E CALCULAR C9 E C10 EM FUNÇÃO
C  DE C1
C  SISTEMA "D": C7*X132 + C8*X133 = C9*X134 + C10*X135
C              C7*X136 + C8*X137 = C9*X138 + C10*X139
C              X154 = (X132*X204) + (X133*X205)
C              X155 = (X136*X204) + (X137*X205)
C  SISTEMA "D": C1*X154 = C9*X134 + C10*X135
C              C1*X155 = C9*X138 + C10*X139
C              X206 = (X139*X154 - X135*X155)/(X134*X139 - X135*X138)
C              X207 = (X134*X155 - X138*X154)/(X134*X139 - X135*X138)
C  C9 = C1*X206
C  C10 = C1*X207
C  SUBSTITUIR C9 E C10 NO SISTEMA "E"
C  SISTEMA "E": 0 = C9*X100 + C10*X101 → EQUAÇÃO TRANSCEDENTAL
C              0 = C1*X100*X206 + C1*X101*X207
C              0 = C1*(X100*X206 + X101*X207)
C              DIF = (X100/X101)*(X206/X207)+1
C  CÁLCULO DAS INTEGRAIS I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I8 e I9
C  CÁLCULO DE I1 → REGIÃO "A" →  $\text{SINH}(XKI1(R0 \text{ A } R1))(4PI)(R^{**2})/R$ 
C               $XI1 = 4.0*PI*(R1*COSH(XKI1*R1)/XKI1 - \text{SINH}(XKI1*R1)/XX1)$ 
C  CÁLCULO DE I2 → REGIÃO "B" →  $(\text{SIN}(XKI2(R1 \text{ A } R2)))(4PI)(R^{**2})/R$ 

```

```

      XI2 = 4.0*PI*(-(R2*COS(XKI2*R2)/XKI2) + (SIN(XKI2*R2)/XX2)
      + (R1*COS(XKI2*R1)/XKI2) - (SIN(XKI2*R1)/XX2))
C   CÁLCULO DE I3 → REGIÃO "B" → (COS(XKI2(R1 A R2)))(4PI)(R**2)/R)
      XI3 = 4.0*PI*((R2*SIN(XKI2*R2)/XKI2) + (COS(XKI2*R2)/XX2)
      - (R1*SIN(XKI2*R1)/XKI2) - (COS(XKI2*R1)/XX2))
C   CÁLCULO DE I4 → REGIÃO "C" → (SIN(XKI3(R2 A R3)))(4PI)(R**2)/R)
      XI4 = 4.0*PI*(-(R3*COS(XKI3*R3)/XKI3) + (SIN(XKI3*R3)/XX3)
      + (R2*COS(XKI3*R2)/XKI3) - (SIN(XKI3*R2)/XX3))
C   CÁLCULO DE I5 → REGIÃO "C" → (COS(XKI3(R2 A R3)))(4PI)(R**2)/R)
      XI5 = 4.0*PI*((R3*SIN(XKI3*R3)/XKI3) + (COS(XKI3*R3)/XX3)
      - (R2*SIN(XKI3*R2)/XKI3) - (COS(XKI3*R2)/XX3))
C   CÁLCULO DE I6 → REGIÃO "D" → (SIN(XKI4(R3 A R4)))(4PI)(R**2)/R)
      XI6 = 4.0*PI*(-(R4*COS(XKI4*R4)/XKI4) + (SIN(XKI4*R4)/XX4)
      + (R3*COS(XKI4*R3)/XKI4) - (SIN(XKI4*R3)/XX4))
C   CÁLCULO DE I7 → REGIÃO "D" → (COS(XKI4(R3 A R4)))(4PI)(R**2)/R)
      XI7 = 4.0*PI*((R4*SIN(XKI4*R4)/XKI4) + (COS(XKI4*R4)/XX4)
      - (R3*SIN(XKI4*R3)/XKI4) - (COS(XKI4*R3)/XX4))
C   CÁLCULO DE I8 → REGIÃO "E" → (SINH(XKI5(R4 A R5)))(4PI)(R**2)/R)
      XI8 = 4.0*PI*((R5*COSH(XKI5*R5)/XKI5) - (SINH(XKI5*R5)/XX5)
      - (R4*COSH(XKI5*R4)/XKI5) + (SINH(XKI5*R4)/XX5))
C   CÁLCULO DE I9 → (COSH(XKI5(R4 A R5)))(4PI)(R**2)/R)
      XI9 = 4.0*PI*((R5*SINH(XKI5*R5)/XKI5) - (COSH(XKI5*R5)/XX5)
      - (R4*SINH(XKI5*R4)/XKI5) + (COSH(XKI5*R4)/XX5))
C   CÁLCULO DE C1
C   CONDIÇÃO DE CONTORNO: CONSIDERANDO A FUGA + ABSORÇÃO = 1
C   CÁLCULO DAS PARCELAS DE FUGA E ABSORÇÃO REFERENTES AOS FLUXOS
C   1, 2, 3, 4 e 5
      FAB1 = (-D1*XKI1**2 + EAB1)*XI1
      FAB2 = (D2*XKI2**2 + EAB2)*(X200*XI2 + X201*XI3)
      FAB3 = (D3*XKI3**2 + EAB3)*(X202*XI4 + X203*XI5)
      FAB4 = (D4*XKI4**2 + EAB4)*(X204*XI6 + X205*XI7)
      FAB5 = (-D5*XKI5**2 + EAB5)*(X206*XI8 + X207*XI9)
C   SOMA DAS PARCELAS

```



```

X250 = FAB1+FAB2+FAB3+FAB4+FAB5
C1 = 1./X250
C  FINAL CÁLCULO DE C1
C  CÁLCULO DAS PARCELAS DE FUGA REFERENTES AOS FLUXOS 1, 2, 3, 4 e 5
FUG1 = (-D1*XKI1**2)*XI1
FUG2 = (D2*XKI2**2)*(X200*XI2 + X201*XI3)
FUG3 = (D3*XKI3**2)*(X202*XI4 + X203*XI5)
FUG4 = (D4*XKI4**2)*(X204*XI6 + X205*XI7)
FUG5 = (-D5*XKI5**2)*(X206*XI8 + X207*XI9)
FUGT = (FUG1 + FUG2 + FUG3 + FUG4 + FUG5)*C1
C  CÁLCULO DAS CONSTANTES C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9 e C10 EM FUNÇÃO DE
C  C1
C3 = C1*X200
C4 = C1*X201
C5 = C1*X202
C6 = C1*X203
C7 = C1*X204
C8 = C1*X205
C9 = C1*X206
C10 = C1*X207
C  CÁLCULO DAS PARCELAS DE ABSORÇÃO REFERENTES AOS FLUXOS 1, 2, 3,
C  4 e 5
ABX1 = EAB1*C1*XI1
ABX2 = EAB2*(C3*XI2 + C4*XI3)
ABX3 = EAB3*(C5*XI4 + C6*XI5)
ABX4 = EAB4*(C7*XI6 + C8*XI7)
ABX5 = EAB5*(C9*XI8 + C10*XI9)
ABTOT = ABX1 + ABX2 + ABX3 + ABX4 + ABX5
C  CÁLCULO DA FUGA PELA DIFERENÇA (1-ABSORÇÃO)
C  FUGA + ABSORÇÃO = 1
FUAB = 1.0 - ABTOT
C  CÁLCULO DO  $k_{eff} \rightarrow$  XKEFC
XEF1 = ABX1*VFI1/EAB1
XEF2 = ABX2*VFI2/EAB2
XEF3 = ABX3*VFI3/EAB3
XEF4 = ABX4*VFI4/EAB4

```

```

XEF5 = ABX5*VFI5/EAB5
XKEFC = XEF1 + XEF2 + XEF3 + XEF4 + XEF5

C  FINAL DO CÁLCULO DO  $k_{eff} \rightarrow$  XKEFC
C  CÁLCULO: FLUXOS F1R0, F1R1, F2R1, F2R2, F3R2, F3R3, F4R3, F4R4, F5R4,
C  F5R5 e FUR5

F1R0 = C1*XKI1
F1R1 = C1*SINH(XKI1*R1)/R1
F2R1 = C3*SIN(XKI2*R1)/R1 + C4*COS(XKI2*R1)/R1
F2R2 = C3*SIN(XKI2*R2)/R2 + C4*COS(XKI2*R2)/R2
F3R2 = C5*SIN(XKI3*R2)/R2 + C6*COS(XKI3*R2)/R2
F3R3 = C5*SIN(XKI3*R3)/R3 + C6*COS(XKI3*R3)/R3
F4R3 = C7*SIN(XKI4*R3)/R3 + C8*COS(XKI4*R3)/R3
F4R4 = C7*SIN(XKI4*R4)/R4 + C8*COS(XKI4*R4)/R4
F5R4 = C9*SINH(XKI5*R4)/R4 + C10*COSH(XKI5*R4)/R4
F5R5 = C9*SINH(XKI5*R5)/R5 + C10*COSH(XKI5*R5)/R5
FUR5 = FUAB/(2*PI*R5*R5)

C  CÁLCULO DOS FLUXOS CF1R1, CF2R1, CF2R2, CF3R2, CF3R3, CF4R3, CF4R4,
C  CF5R4 e CF5R5 EM FUNÇÃO DAS CONSTANTES

CF1R1 = C1*X110
CF2R1 = C3*X111 + C4*X112
CF2R2 = C3*X116 + C4*X117
CF3R2 = C5*X118 + C6*X119
CF3R3 = C5*X124 + C6*X125
CF4R3 = C7*X126 + C8*X127
CF4R4 = C7*X132 + C8*X133
CF5R4 = C9*X134 + C10*X135
CF5R5 = C9*X140 + C10*X141

C  CÁLCULO DAS CORRENTES XJ1R0, XJ1R1, XJ2R1, XJ2R2, XJ3R2, XJ3R3,
C  XJ4R3, XJ4R4, XJ5R4 e XJ5R5

XJ1R1 = -D1*C1*(XKI1*R1*COSH(XKI1*R1) - SINH(XKI1*R1))/R11
XJ2R1 = -D2*(C3*(XKI2*R1*COS(XKI2*R1) - SIN(XKI2*R1))/R11
      + C4*(-XKI2*R1*SIN(XKI2*R1) - COS(XKI2*R1))/R11)
XJ2R2 = -D2*(C3*(XKI2*R2*COS(XKI2*R2) - SIN(XKI2*R2))/R22
      + C4*(-XKI2*R2*SIN(XKI2*R2) - COS(XKI2*R2))/R22)
XJ3R2 = -D3*(C5*(XKI3*R2*COS(XKI3*R2) - SIN(XKI3*R2))/R22
      + C6*(-XKI3*R2*SIN(XKI3*R2) - COS(XKI3*R2))/R22)
XJ3R3 = -D3*(C5*(XKI3*R3*COS(XKI3*R3) - SIN(XKI3*R3))/R33

```

```

      + C6*(-XKI3*R3*SIN(XKI3*R3) - COS(XKI3*R3))/R33)
XJ4R3 = -D4*(C7*(XKI4*R3*COS(XKI4*R3) - SIN(XKI4*R3))/R33
      + C8*(-XKI4*R3*SIN(XKI4*R3) - COS(XKI4*R3))/R33)
XJ4R4 = -D4*(C7*(XKI4*R4*COS(XKI4*R4) - SIN(XKI4*R4))/R44
      + C8*(-XKI4*R4*SIN(XKI4*R4) - COS(XKI4*R4))/R44)
XJ5R4 = -D5*(C9*(XKI5*R4*COSH(XKI5*R4) - SINH(XKI5*R4))/R44
      + C10*(XKI5*R4*SINH(XKI5*R4) - COSH(XKI5*R4))/R44)
XJ5R5 = -D5*(C9*(XKI5*R5*COSH(XKI5*R5) - SINH(XKI5*R5))/R55
      + C10*(XKI5*R5*SINH(XKI5*R5) - COSH(XKI5*R5))/R55)

C   CÁLCULO DAS CORRENTES CJ1R1, CJ2R1, CJ2R2, CJ3R2, CJ3R3, CJ4R3, CJ4R4,
C   CJ4R4, CJ5R4 e CJ5R5 EM FUNÇÃO DAS CONSTANTES

CJ1R1 = C1*X113
CJ2R1 = C3*X114 + C4*X115
CJ2R2 = C3*X120 + C4*X121
CJ3R2 = C5*X122 + C6*X123
CJ3R3 = C5*X128 + C6*X129
CJ4R3 = C7*X130 + C8*X131
CJ4R4 = C7*X136 + C8*X137
CJ5R4 = C9*X138 + C10*X139
CJ5R5 = C9*X142 + C10*X143

C   CÁLCULO DO COEFICIENTE DE REATIVIDADE DE VAZIO - "ALFA"
C   ROVz6% = 1 - (1/keffVz5.87%) E ROVz0% = 1 - (1/keffVz0%)
C   ALFA = (ROVz5.87% - ROVz0%)/%Vz = (ROVz6% - ROVz0%)/VzNa
ALFA = ((XKEF - XKEF0)/(XKEF*XKEF0))/VzNa

CALL FBR1OUTSIS(ETR1,EAB1,VFI1,ETR2,EAB2,VFI2,ETR3,EAB3,VFI3,ETR4,
EAB4,VFI4,ETR5,EAB5,VFI5,XKEF,D1,XKI1,D2,XKI2,D3,XKI3,D4,XKI4,D5,XKI5,
R1,R2,R3,R4,R5,DIF,XI1,XI2,XI3,XI4,XI5,XI6,XI7,XI8,XI9,FAB1,FAB2,FAB3,FAB4,
FAB5,X250,FUG1,FUG2,FUG3,FUG4,FUG5,FUGT,C1,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,C10,
ABX1,ABX2,ABX3,ABX4,ABX5,ABTOT,FUAB,XEF1,XEF2,XEF3,XEF4,XEF5,
XKEFC,F1R0,F1R1,F2R1,F2R2,F3R2,F3R3,F4R3,F4R4,F5R4,F5R5,FUR5,XJ1R1,
XJ2R1,XJ2R2,XJ3R2,XJ3R3,XJ4R3,XJ4R4,XJ5R4,XJ5R5,XJPR5,XJ4R4A,XJ4R4B,
F5P5,CF1R1,CF2R1,CF2R2,CF3R2,CF3R3,CF4R3,CF4R4,CF5R4,CF5R5,CJ1R1,
CJ2R1,CJ2R2,CJ3R2,CJ3R3,CJ4R3,CJ4R4,CJ5R4,CJ5R5,ALFA,XKEF0,VzNa)

END PROGRAM

C   SUBROTINA PARA LEITURA DE DADOS
C   ETR(1,2,3,4,5): SEÇÃO DE CHOQUE DE TRANSPORTE

```

```

C   EAB(1,2,3,4,5): SEÇÃO DE CHOQUE DE ABSORÇÃO
C   VF1(1,2,3,4,5): PRODUTO CONSTANTE " $\nu$ " POR SEÇÃO DE CHOQUE DE
C   FISSÃO ( $\nu \times \Sigma_f$ )
C   XKEF:  $k_{eff}$  EFETIVO

SUBROUTINE FBR1INSIS(ETR1,EAB1,VFI1,ETR2,EAB2,VFI2,ETR3,EAB3,VFI3,
ETR4,EAB4,VFI4,ETR5,EAB5,VFI5,XKEF)
OPEN(20,file='FBR1INSIS.dat')
READ(20,*) ETR1,EAB1,VFI1,ETR2,EAB2,VFI2,ETR3,EAB3,VFI3,ETR4,EAB4,
VFI4,ETR5,EAB5,VFI5,XKEF
CLOSE(20)
RETURN
END SUBROUTINE

C   SUBROTINA PARA SAÍDA DOS VALORES CALCULADOS
C   ETR(1,2,3,4,5): SEÇÃO DE CHOQUE DE TRANSPORTE
C   EAB(1,2,3,4,5): SEÇÃO DE CHOQUE DE ABSORÇÃO
C   VF1(1,2,3,4,5): PRODUTO CONSTANTE " $\nu$ " POR SEÇÃO DE CHOQUE DE
C   FISSÃO " $\Sigma_f$ " ( $\nu \times \Sigma_f$ )
C   XKEF:  $k_{eff}$  LIDO, CONSTANTES DE DIFUSÃO: D1, D2, D3, D4 e D5, RAIOS e
C   DIF
C   VALORES DAS INTEGRAIS I1...I9, CONSTANTES: C1...C10
C   RAÍZES DAS EQUAÇÕES DE DIFUSÃO: XK1, XK2, XK3, XK4 e XK5
C   FLUXOS, ABSORÇÕES, FUGAS e  $k_{eff}$  CALCULADO

SUBROUTINE FBR1OUTSIS(ETR1,EAB1,VFI1,ETR2,EAB2,VFI2,ETR3,EAB3,
VFI3,ETR4,EAB4,VFI4,ETR5,EAB5,VFI5,XKEF,D1,XKI1,D2,XKI2,D3,XKI3,D4,
XKI4,D5,XKI5,R1,R2,R3,R4,R5,DIF,XI1,XI2,XI3,XI4,XI5,XI6,XI7,I8,XI9, FAB1,
FAB2,FAB3,FAB4,FAB5,X250,FUG1,FUG2,FUG3,FUG4,FUG5,FUGT,C1,C3,C4,C5,
C6,C7,C8,C9,C10,ABX1,ABX2,ABX3,ABX4,ABX5,ABTOT,FUAB,XEF1,XEF2,XEF3,
XEF4,XEF5,XKEFC,F1R0,F1R1,F2R1,F2R2,F3R2,F3R3,F4R3,F4R4,F5R4,F5R5,
FUR5,XJ1R1,XJ2R1,XJ2R2,XJ3R2,XJ3R3,XJ4R3,XJ4R4,XJ5R4,XJ5R5,XJPR5,
XJ4R4A,XJ4R4B,F5P5,CF1R1,CF2R1,CF2R2,CF3R2,CF3R3,CF4R3,CF4R4,CF5R4,
CF5R5,CJ1R1,CJ2R1,CJ2R2,CJ3R2,CJ3R3,CJ4R3,CJ4R4,CJ5R4,CJ5R5,ALFA,
XKEF0,VzNa)
OPEN(30,file='FBR1OUTSIS.out')
WRITE(30,*) '_____-'
WRITE(30,*) ' VALORES CALCULADOS '
WRITE(30,*) '_____-'
WRITE(30,*) 'ETR1=,ETR1,'      EAB1=,EAB1,'      VFI1=,VFI1
WRITE(30,*) 'ETR2=,ETR2,'      EAB2=,EAB2,'      VFI2=,VFI2

```

```

WRITE(30,*) 'ETR3=',ETR3,'      EAB3=',EAB3,'      VFI3=',VFI3
WRITE(30,*) 'ETR4=',ETR4,'      EAB4=',EAB4,'      VFI4=',VFI4
WRITE(30,*) 'ETR5=',ETR5,'      EAB5=',EAB5,'      VFI5=',VFI5
WRITE(30,*)
WRITE(30,*) 'XKEF=',XKEF
WRITE(30,*)
WRITE(30,*) 'D1=',D1,'      'XKI1=',XKI1,'      D3=',D3,'      'XKI3=',XKI3
WRITE(30,*) 'D2=',D2,'      'XKI2=',XKI2,'      D4=',D4,'      'XKI4=',XKI4
WRITE(30,*) 'D5=',D5,'      'XKI5=',XKI5
WRITE(30,*)
WRITE(30,*) 'R1=',R1,'      R2=',R2,'      R3=',R3,'      R4=',R4,'      R5=',R5
WRITE(30,*)
WRITE(30,*) 'DIF=',DIF
WRITE(30,*)
WRITE(30,*) 'XI1=',XI1,'      XI2=',XI2,'      XI3=',XI3
WRITE(30,*) 'XI4=',XI4,'      XI5=',XI5,'      XI6=',XI6
WRITE(30,*) 'XI7=',XI7,'      XI8=',XI8,'      XI9=',XI9
WRITE(30,*)
WRITE(30,*) 'FAB1=',FAB1,'      FAB2=',FAB2,'      FAB3=',FAB3
WRITE(30,*) 'FAB4=',FAB4,'      FAB5=',FAB5,'      X250=',X250
WRITE(30,*)
WRITE(30,*) 'FUG1=',FUG1,'      FUG2=',FUG2,'      FUG3=',FUG3
WRITE(30,*) 'FUG4=',FUG4,'      FUG5=',FUG5,'      FUGT=',FUGT
WRITE(30,*)
WRITE(30,*) 'C1=',C1,'      C3=',C3,'      C4 =',C4
WRITE(30,*) 'C5=',C5,'      C6=',C6,'      C7 =',C7
WRITE(30,*) 'C8=',C8,'      C9=',C9,'      C10=',C10
WRITE(30,*)
WRITE(30,*) 'ABX1=',ABX1,'      ABX2=',ABX2,'      ABX3=',ABX3
WRITE(30,*) 'ABX4=',ABX4,'      ABX5=',ABX5
WRITE(30,*) 'ABTOT=',ABTOT,'      FUAB=',FUAB
WRITE(30,*)
WRITE(30,*) 'XEF1=',XEF1,'      XEF2=',XEF2,'      XEF3=',XEF3
WRITE(30,*) 'XEF4=',XEF4,'      XEF5=',XEF5,'      XKEFC=',XKEFC
WRITE(30,*)
WRITE(30,*) 'F1R0=',F1R0
WRITE(30,*) 'F1R1=',F1R1,'      F2R1=',F2R1
WRITE(30,*) 'F2R2=',F2R2,'      F3R2=',F3R2
WRITE(30,*) 'F3R3=',F3R3,'      F4R3=',F4R3

```

```

WRITE(30,*) 'F4R4=',F4R4,'    F5R4=',F5R4
WRITE(30,*) 'F5R5=',F5R5,'          FUR5=',FUR5
WRITE(30,*)
WRITE(30,*) 'CF1R1=',CF1R1,'    CF2R1=',CF2R1
WRITE(30,*) 'CF2R2=',CF2R2,'    CF3R2=',CF3R2
WRITE(30,*) 'CF3R3=',CF3R3,'    CF4R3=',CF4R3
WRITE(30,*) 'CF4R4=',CF4R4,'    CF5R4=',CF5R4
WRITE(30,*) 'CF5R5=',CF5R5
WRITE(30,*)
WRITE(30,*) 'XJ1R1=',XJ1R1,'    XJ2R1=',XJ2R1
WRITE(30,*) 'XJ2R2=',XJ2R2,'    XJ3R2=',XJ3R2
WRITE(30,*) 'XJ3R3=',XJ3R3,'    XJ4R3=',XJ4R3
WRITE(30,*) 'XJ4R4=',XJ4R4,'    XJ5R4=',XJ5R4
WRITE(30,*) 'XJ5R5=',XJ5R5
WRITE(30,*)
WRITE(30,*) 'CJ1R1=',CJ1R1,'    CJ2R1=',CJ2R1
WRITE(30,*) 'CJ2R2=',CJ2R2,'    CJ3R2=',CJ3R2
WRITE(30,*) 'CJ3R3=',CJ3R3,'    CJ4R3=',CJ4R3
WRITE(30,*) 'CJ4R4=',CJ4R4,'    CJ5R4=',CJ5R4
WRITE(30,*) 'CJ5R5=',CJ5R5
WRITE(30,*)
WRITE(30,*) 'ALFA=',ALFA,'    XKEF0=',XKEF0,'    VzNa=',VzNa
WRITE(30,*)
CLOSE(30)
RETURN
END SUBROUTINE

```

C FINAL DO PROGRAMA

APÊNDICE B – PROGRAMA FORTRAN

PARA DOIS GRUPOS DE ENERGIA

PROGRAM FBR2

```

C  PROGRAMA PARA DOIS GRUPOS DE ENERGIA E CINCO REGIÕES A, B, C,
C  D e E
C  OPEN(UNIT=2,FILE='FBR2OUTSIS.out',STATUS='UNKNOWN')
C  OPEN(UNIT=1,FILE='FBR2INSIS.dat',STATUS='OLD')
C  CHAMADA DA ROTINA PARA LEITURA DE DADOS DE ENTRADA
    CALL FBR2INSIS(AET1,BET1,CET1,DET1,EET1,AEA1,BEA1,CEA1,DEA1,EEA1,
    AVF1,BVF1,CVF1,DVF1,EVF1,ACH1,BCH1,CCH1,DCH1,ECH1,AET2,BET2,CET2,
    DET2,EET2,AEA2,BEA2,CEA2,DEA2,EEA2,AVF2,BVF2,CVF2,DVF2,EVF2,ACH2,
    DVF2,EVF2,ACH2,BCH2,CCH2,DCH2,ECH2,AS12,BS12,CS12,DS12,ES12,XKEF)
C  CÁLCULO: COEFICIENTES DE DIFUSÃO DAS REGIÕES A, B, C, D e E → Gp 1
C  e 2
    AD1 = 1.0/(3.0*AET1)
    BD1 = 1.0/(3.0*BET1)
    CD1 = 1.0/(3.0*CET1)
    DD1 = 1.0/(3.0*DET1)
    ED1 = 1.0/(3.0*EET1)
    AD2 = 1.0/(3.0*AET2)
    BD2 = 1.0/(3.0*BET2)
    CD2 = 1.0/(3.0*CET2)
    DD2 = 1.0/(3.0*DET2)
    ED2 = 1.0/(3.0*EET2)
C  CÁLCULO: SEÇÕES DE CHOQUE DE REMOÇÃO DAS REGIÕES A, B, C, D e
C  E → Gp 1 e 2
    AER1 = AEA1 + AS12
    BER1 = BEA1 + BS12
    CER1 = CEA1 + CS12
    DER1 = DEA1 + DS12
    EER1 = EEA1 + ES12
C  CÁLCULO: CONSTANTES DAS REGIÕES A, B, C, D e E → Gp 1 e 2
C  TERMOS DO SISTEMA "Gp1 e Gp2" → CÁLCULO DAS CONSTANTES
C  "a", "b" e "c" DA EQUAÇÃO BIQUADRADA

```

$$AA11 = (ACH1*AVF1/XKEF - AER1)/AD1$$

$$AA12 = ACH1*AVF2/(AD1*XKEF)$$

$$AA21 = (AS12 + ACH2*AVF1/XKEF)/AD2$$

$$AA22 = (ACH2*AVF2/XKEF - AEA2)/AD2$$

$$BA11 = (BCH1*BVF1/XKEF - BER1)/BD1$$

$$BA12 = BCH1*BVF2/(BD1*XKEF)$$

$$BA21 = (BS12 + BCH2*BVF1/XKEF)/BD2$$

$$BA22 = (BCH2*BVF2/XKEF - BEA2)/BD2$$

$$CA11 = (CCH1*CVF1/XKEF - CER1)/CD1$$

$$CA12 = CCH1*CVF2/(CD1*XKEF)$$

$$CA21 = (CS12 + CCH2*CVF1/XKEF)/CD2$$

$$CA22 = (CCH2*CVF2/XKEF - CEA2)/CD2$$

$$DA11 = (DCH1*DVF1/XKEF - DER1)/DD1$$

$$DA12 = DCH1*DVF2/(DD1*XKEF)$$

$$DA21 = (DS12 + DCH2*DVF1/XKEF)/DD2$$

$$DA22 = (DCH2*DVF2/XKEF - DEA2)/DD2$$

$$EA11 = (ECH1*EVF1/XKEF - EER1)/ED1$$

$$EA12 = ECH1*EVF2/(ED1*XKEF)$$

$$EA21 = (ES12 + ECH2*EVF1/XKEF)/ED2$$

$$EA22 = (ECH2*EVF2/XKEF - EEA2)/ED2$$

C CHAMADA DA ROTINA PARA CÁLCULO DAS RAÍZES DAS REGIÕES "A" e "E"

CALL RAIZAE (AA11,AA12,AA21,AA22,XK1,XK2)

CALL RAIZAE (EA11,EA12,EA21,EA22,XK6,XK7)

C CHAMADA DA ROTINA PARA CÁLCULO DAS RAÍZES DAS REGIÕES "B", "C"

C e "D"

CALL RAIZBCD (BA11,BA12,BA21,BA22,XK3,XMU1)

CALL RAIZBCD (CA11,CA12,CA21,CA22,XK4,XMU2)

CALL RAIZBCD (DA11,DA12,DA21,DA22,XK5,XMU3)

C VALORES DOS RAIOS DAS ESFERAS R1, R2, R3, R4 e R5

$$R1 = 20.582$$

$$R2 = 35.583$$

$$R3 = 42.354$$

$$R4 = 48.395$$

$$R5 = 94.429$$

C CÁLCULO: PI, QUADRADO DOS RAIOS DAS ESFERAS e QUADRADO DAS

C DAS RAÍZES

$$PI = 4.0 * ATAN(1.0)$$

$$R11 = R1 * R1$$

$$R22 = R2 * R2$$

$$R33 = R3 * R3$$

$$R44 = R4 * R4$$

$$R55 = R5 * R5$$

$$XX1 = XK1 * XK1$$

$$XX2 = XK2 * XK2$$

$$XX3 = XK3 * XK3$$

$$XU1 = XMU1 * XMU1$$

$$XX4 = XK4 * XK4$$

$$XU2 = XMU2 * XMU2$$

$$XX5 = XK5 * XK5$$

$$XU3 = XMU3 * XMU3$$

$$XX6 = XK6 * XK6$$

$$XX7 = XK7 * XK7$$

C VALOR DO k_{eff} CALCULADO SEM VAZIO

C "XKEF0" → VALOR DE REFERÊNCIA

$$XKEF0 = 1.194912$$

C VALOR PERCENTUAL DE VAZIO DE SÓDIO

C "VzNa" = $V_{vazio} / V_{refrigerante}$

$$VzNa = 5.87$$

C CÁLCULO: VARIÁVEIS DAS REGIÕES A, B, C, D e E, EM FUNÇÃO DAS CONSTANTES DESSAS REGIÕES

$$X100 = -AA21 / (AA22 + XX1) \text{ !REGIÃO "A"}$$

$$X101 = -AA21 / (AA22 + XX2) \text{ !REGIÃO "A"}$$

$$X102 = -BA21 / (BA22 - XU1) \text{ !REGIÃO "B"}$$

$$X103 = -BA21 / (BA22 + XX3) \text{ !REGIÃO "B"}$$

$$X104 = -CA21 / (CA22 - XU2) \text{ !REGIÃO "C"}$$

$$X105 = -CA21 / (CA22 + XX4) \text{ !REGIÃO "C"}$$

$$X106 = -DA21 / (DA22 - XU3) \text{ !REGIÃO "D"}$$

$$X107 = -DA21 / (DA22 + XX5) \text{ !REGIÃO "D"}$$

$$X108 = -EA21 / (EA22 + XX6) \text{ !REGIÃO "E"}$$

$$X109 = -EA21 / (EA22 + XX7) \text{ !REGIÃO "E"}$$

C CONDIÇÃO DE CONTORNO: $R=R1 \rightarrow \text{FLUXO1:1} = \text{FLUXO2:1}$ C e $\text{FLUXO1:2} = \text{FLUXO2:2}$

```

X200 = SINH(XK1*R1)/R1
X201 = SINH(XK2*R1)/R1
X202 = SIN(XMU1*R1)/R1
X203 = COS(XMU1*R1)/R1
X204 = SINH(XK3*R1)/R1
X205 = COSH(XK3*R1)/R1
X206 = X100*SINH(XK1*R1)/R1
X207 = X101*SINH(XK2*R1)/R1
X208 = X102*SIN(XMU1*R1)/R1
X209 = X102*COS(XMU1*R1)/R1
X210 = X103*SINH(XK3*R1)/R1
X211 = X103*COSH(XK3*R1)/R1
C  CONDIÇÃO DE CONTORNO: R=R1 → CORRENTE1:1=CORRENTE2:1
C  e CORRENTE1:2=CORRENTE2:2

X212 = -AD1*(R1*XK1*COSH(XK1*R1) - SINH(XK1*R1))/R11
X213 = -AD1*(R1*XK2*COSH(XK2*R1) - SINH(XK2*R1))/R11
X214 = -BD1*(R1*XMU1*COS(XMU1*R1) - SIN(XMU1*R1))/R11
X215 = -BD1*(-R1*XMU1*SIN(XMU1*R1) - COS(XMU1*R1))/R11
X216 = -BD1*(R1*XK3*COSH(XK3*R1) - SINH(XK3*R1))/R11
X217 = -BD1*(R1*XK3*SINH(XK3*R1) - COSH(XK3*R1))/R11
X218 = -X100*AD2*(R1*XK1*COSH(XK1*R1) - SINH(XK1*R1))/R11
X219 = -X101*AD2*(R1*XK2*COSH(XK2*R1) - SINH(XK2*R1))/R11
X220 = -X102*BD2*(R1*XMU1*COS(XMU1*R1) - SIN(XMU1*R1))/R11
X221 = -X102*BD2*(-R1*XMU1*SIN(XMU1*R1) - COS(XMU1*R1))/R11
X222 = -X103*BD2*(R1*XK3*COSH(XK3*R1) - SINH(XK3*R1))/R11
X223 = -X103*BD2*(R1*XK3*SINH(XK3*R1) - COSH(XK3*R1))/R11

C  SISTEMA PARA R=R1 REGIÕES "A-B"
C  X200C1 + X201C3 = X202C9 + X203C10 + X204C11 + X205C12
C  X206C1 + X207C3 = X208C9 + X209C10 + X210C11 + X211C12
C  X212C1 + X213C3 = X214C9 + X215C10 + X216C11 + X217C12
C  X218C1 + X219C3 = X220C9 + X221C10 + X222C11 + X223C12
C  CHAMADA DA SUBROTINA "SOL-A": RESOLUÇÃO DO SISTEMA
C  R=R1 OBTENDO Y1, Y2, Y3, Y4, Y5, Y6, Y7 e Y8

CALL SOL-A(X200,X201,X202,X203,X204,X205,X206,X207,X208,X209,X210,X211,
X212,X213,X214,X215,X216,X217,X218,X219,X220,X221,X222,X223,Y1,Y2,Y3,Y4,
Y5,Y6,Y7,Y8)

C  CONDIÇÃO DE CONTORNO: R=R2 → FLUXO2:1=FLUXO3:1
C  e FLUXO2:2=FLUXO3:2

```

```

X224 = SIN(XMU1*R2)/R2
X225 = COS(XMU1*R2)/R2
X226 = SINH(XK3*R2)/R2
X227 = COSH(XK3*R2)/R2
X228 = SIN(XMU2*R2)/R2
X229 = COS(XMU2*R2)/R2
X230 = SINH(XK4*R2)/R2
X231 = COSH(XK4*R2)/R2
X232 = X102*SIN(XMU1*R2)/R2
X233 = X102*COS(XMU1*R2)/R2
X234 = X103*SINH(XK3*R2)/R2
X235 = X103*COSH(XK3*R2)/R2
X236 = X104*SIN(XMU2*R2)/R2
X237 = X104*COS(XMU2*R2)/R2
X238 = X105*SINH(XK4*R2)/R2
X239 = X105*COSH(XK4*R2)/R2

C  CONDIÇÃO DE CONTORNO:R=R2 → CORRENTE2:1=CORRENTE3:1
C  e CORRENTE2:2=CORRENTE3:2

X240 = -BD1*(R2*XMU1*COS(XMU1*R2) - SIN(XMU1*R2))/R22
X241 = -BD1*(-R2*XMU1*SIN(XMU1*R2) - COS(XMU1*R2))/R22
X242 = -BD1*(R2*XK3*COSH(XK3*R2) - SINH(XK3*R2))/R22
X243 = -BD1*(R2*XK3*SINH(XK3*R2) - COSH(XK3*R2))/R22
X244 = -CD1*(R2*XMU2*COS(XMU2*R2) - SIN(XMU2*R2))/R22
X245 = -CD1*(-R2*XMU2*SIN(XMU2*R2) - COS(XMU2*R2))/R22
X246 = -CD1*(R2*XK4*COSH(XK4*R2) - SINH(XK4*R2))/R22
X247 = -CD1*(R2*XK4*SINH(XK4*R2) - COSH(XK4*R2))/R22
X248 = -X102*BD2*(R2*XMU1*COS(XMU1*R2) - SIN(XMU1*R2))/R22
X249 = -X102*BD2*(-R2*XMU1*SIN(XMU1*R2) - COS(XMU1*R2))/R22
X250 = -X103*BD2*(R2*XK3*COSH(XK3*R2) - SINH(XK3*R2))/R22
X251 = -X103*BD2*(R2*XK3*SINH(XK3*R2) - COSH(XK3*R2))/R22
X252 = -X104*CD2*(R2*XMU2*COS(XMU2*R2) - SIN(XMU2*R2))/R22
X253 = -X104*CD2*(-R2*XMU2*SIN(XMU2*R2) - COS(XMU2*R2))/R22
X254 = -X105*CD2*(R2*XK4*COSH(XK4*R2) - SINH(XK4*R2))/R22
X255 = -X105*CD2*(R2*XK4*SINH(XK4*R2) - COSH(XK4*R2))/R22

C  CÁLCULO: X400, X401, X402, X403, X404, X405, X406 e X407 → SUBSTITUIR
C  NO SISTEMA: R=R2

X400 = X224*Y1 + X225*Y3 + X226*Y5 + X227*Y7
X401 = X224*Y2 + X225*Y4 + X226*Y6 + X227*Y8

```

```

X402 = X232*Y1 + X233*Y3 + X234*Y5 + X235*Y7
X403 = X232*Y2 + X233*Y4 + X234*Y6 + X235*Y8
X404 = X240*Y1 + X241*Y3 + X242*Y5 + X243*Y7
X405 = X240*Y2 + X241*Y4 + X242*Y6 + X243*Y8
X406 = X248*Y1 + X249*Y3 + X250*Y5 + X251*Y7
X407 = X248*Y2 + X249*Y4 + X250*Y6 + X251*Y8

C  SISTEMA PARA R=R2 REGIÕES "B-C"
C  X400C1 + X401C3 = X228C17 + X229C18 + X230C19 + X231C20
C  X402C1 + X403C3 = X236C17 + X237C18 + X238C19 + X239C20
C  X404C1 + X405C3 = X244C17 + X245C18 + X246C19 + X247C20
C  X406C1 + X407C3 = X252C17 + X253C18 + X254C19 + X255C20
C  CHAMADA DA SUBROTINA "SOL-A": RESOLUÇÃO DO SISTEMA
C  PARA R=R2 → OBTENDO Y9, Y10, Y11, Y12, Y13, Y14, Y15 e Y16

CALL SOL-A(X400,X401,X228,X229,X230,X231,X402,X403,X236,X237,X238,X239,
X404,X405,X244,X245,X246,X247,X406,X407,X252,X253,X254,X255,Y9,Y10,Y11,
Y12,Y13,Y14,Y15,Y16)

C  CONDIÇÃO DE CONTORNO:R=R3 → FLUXO3:1=FLUXO4:1
C  e FLUXO3:2=FLUXO4:2

X256 = SIN(XMU2*R3)/R3
X257 = COS(XMU2*R3)/R3
X258 = SINH(XK4*R3)/R3
X259 = COSH(XK4*R3)/R3
X260 = SIN(XMU3*R3)/R3
X261 = COS(XMU3*R3)/R3
X262 = SINH(XK5*R3)/R3
X263 = COSH(XK5*R3)/R3
X264 = X104*SIN(XMU2*R3)/R3
X265 = X104*COS(XMU2*R3)/R3
X266 = X105*SINH(XK4*R3)/R3
X267 = X105*COSH(XK4*R3)/R3
X268 = X106*SIN(XMU3*R3)/R3
X269 = X106*COS(XMU3*R3)/R3
X270 = X107*SINH(XK5*R3)/R3
X271 = X107*COSH(XK5*R3)/R3

C  CONDIÇÃO DE CONTORNO:R=R3 → CORRENTE3:1=CORRENTE4:1
C  e CORRENTE3:2=CORRENTE4:2

X272 = -CD1*(R3*XMU2*COS(XMU2*R3) - SIN(XMU2*R3))/R33

```

$$\begin{aligned} X273 &= -CD1*(-R3*XMU2*SIN(XMU2*R3) - COS(XMU2*R3))/R33 \\ X274 &= -CD1*(R3*XK4*COSH(XK4*R3) - SINH(XK4*R3))/R33 \\ X275 &= -CD1*(R3*XK4*SINH(XK4*R3) - COSH(XK4*R3))/R33 \\ X276 &= -DD1*(R3*XMU3*COS(XMU3*R3) - SIN(XMU3*R3))/R33 \\ X277 &= -DD1*(-R3*XMU3*SIN(XMU3*R3) - COS(XMU3*R3))/R33 \\ X278 &= -DD1*(R3*XK5*COSH(XK5*R3) - SINH(XK5*R3))/R33 \\ X279 &= -DD1*(R3*XK5*SINH(XK5*R3) - COSH(XK5*R3))/R33 \\ X280 &= -X104*CD2*(R3*XMU2*COS(XMU2*R3) - SIN(XMU2*R3))/R33 \\ X281 &= -X104*CD2*(-R3*XMU2*SIN(XMU2*R3) - COS(XMU2*R3))/R33 \\ X282 &= -X105*CD2*(R3*XK4*COSH(XK4*R3) - SINH(XK4*R3))/R33 \\ X283 &= -X105*CD2*(R3*XK4*SINH(XK4*R3) - COSH(XK4*R3))/R33 \\ X284 &= -X106*DD2*(R3*XMU3*COS(XMU3*R3) - SIN(XMU3*R3))/R33 \\ X285 &= -X106*DD2*(-R3*XMU3*SIN(XMU3*R3) - COS(XMU3*R3))/R33 \\ X286 &= -X107*DD2*(R3*XK5*COSH(XK5*R3) - SINH(XK5*R3))/R33 \\ X287 &= -X107*DD2*(R3*XK5*SINH(XK5*R3) - COSH(XK5*R3))/R33 \end{aligned}$$

C CÁLCULO DE X408, X409, X410, X411, X412, X413, X414 e X415 → SUBSTITUIR
C NO SISTEMA: R=R3

$$\begin{aligned} X408 &= X256*Y9 + X257*Y11 + X258*Y13 + X259*Y15 \\ X409 &= X256*Y10 + X257*Y12 + X258*Y14 + X259*Y16 \\ X410 &= X264*Y9 + X265*Y11 + X266*Y13 + X267*Y15 \\ X411 &= X264*Y10 + X265*Y12 + X266*Y14 + X267*Y16 \\ X412 &= X272*Y9 + X273*Y11 + X274*Y13 + X275*Y15 \\ X413 &= X272*Y10 + X273*Y12 + X274*Y14 + X275*Y16 \\ X414 &= X280*Y9 + X281*Y11 + X282*Y13 + X283*Y15 \\ X415 &= X280*Y10 + X281*Y12 + X282*Y14 + X283*Y16 \end{aligned}$$

C SISTEMA PARA R=R3 REGIÕES "C-D"

C $X408C1 + X409C3 = X260C25 + X261C26 + X262C27 + X263C28$

C $X410C1 + X411C3 = X268C25 + X269C26 + X270C27 + X271C28$

C $X412C1 + X413C3 = X276C25 + X278C26 + X279C27 + X280C28$

C $X414C1 + X415C3 = X284C25 + X285C26 + X286C27 + X287C28$

C CHAMADA DA SUBROTINA "SOL-A": RESOLUÇÃO DO SISTEMA

C PARA R=R3 → OBTENDO Y17, Y18, Y19, Y20, Y21, Y22, Y23 e Y24

CALL SOL-A(X408,X409,X260,X261,X262,X263,X410,X411,X268,X269,X270,X271,
X412,X413,X276,X277,X278,X279,X414,X415,X284,X285,X286,X287,Y17,Y18,Y19,
Y20,Y21,Y22,Y23,Y24)

C CONDIÇÃO DE CONTORNO: R=R4 → FLUXO4:1=FLUXO5:1

C e FLUXO4:2=FLUXO5:2

$X288 = \sin(XMU3 \cdot R4) / R4$
 $X289 = \cos(XMU3 \cdot R4) / R4$
 $X290 = \sinh(XK5 \cdot R4) / R4$
 $X291 = \cosh(XK5 \cdot R4) / R4$
 $X292 = \sinh(XK6 \cdot R4) / R4$
 $X293 = \cosh(XK6 \cdot R4) / R4$
 $X294 = \sinh(XK7 \cdot R4) / R4$
 $X295 = \cosh(XK7 \cdot R4) / R4$
 $X296 = X106 \cdot \sin(XMU3 \cdot R4) / R4$
 $X297 = X106 \cdot \cos(XMU3 \cdot R4) / R4$
 $X298 = X107 \cdot \sinh(XK5 \cdot R4) / R4$
 $X299 = X107 \cdot \cosh(XK5 \cdot R4) / R4$
 $X300 = X108 \cdot \sinh(XK6 \cdot R4) / R4$
 $X301 = X108 \cdot \cosh(XK6 \cdot R4) / R4$
 $X302 = X109 \cdot \sinh(XK7 \cdot R4) / R4$
 $X303 = X109 \cdot \cosh(XK7 \cdot R4) / R4$

C CONDIÇÃO DE CONTORNO: $R=R4 \rightarrow \text{CORRENTE4:1}=\text{CORRENTE5:1}$
 C e $\text{CORRENTE4:2}=\text{CORRENTE5:2}$

$X304 = -DD1 \cdot (R4 \cdot XMU3 \cdot \cos(XMU3 \cdot R4) - \sin(XMU3 \cdot R4)) / R44$
 $X305 = -DD1 \cdot (-R4 \cdot XMU3 \cdot \sin(XMU3 \cdot R4) - \cos(XMU3 \cdot R4)) / R44$
 $X306 = -DD1 \cdot (R4 \cdot XK5 \cdot \cosh(XK5 \cdot R4) - \sinh(XK5 \cdot R4)) / R44$
 $X307 = -DD1 \cdot (R4 \cdot XK5 \cdot \sinh(XK5 \cdot R4) - \cosh(XK5 \cdot R4)) / R44$
 $X308 = -ED1 \cdot (R4 \cdot XK6 \cdot \cosh(XK6 \cdot R4) - \sinh(XK6 \cdot R4)) / R44$
 $X309 = -ED1 \cdot (R4 \cdot XK6 \cdot \sinh(XK6 \cdot R4) - \cosh(XK6 \cdot R4)) / R44$
 $X310 = -ED1 \cdot (R4 \cdot XK7 \cdot \cosh(XK7 \cdot R4) - \sinh(XK7 \cdot R4)) / R44$
 $X311 = -ED1 \cdot (R4 \cdot XK7 \cdot \sinh(XK7 \cdot R4) - \cosh(XK7 \cdot R4)) / R44$
 $X312 = -X106 \cdot DD2 \cdot (R4 \cdot XMU3 \cdot \cos(XMU3 \cdot R4) - \sin(XMU3 \cdot R4)) / R44$
 $X313 = -X106 \cdot DD2 \cdot (-R4 \cdot XMU3 \cdot \sin(XMU3 \cdot R4) - \cos(XMU3 \cdot R4)) / R44$
 $X314 = -X107 \cdot DD2 \cdot (R4 \cdot XK5 \cdot \cosh(XK5 \cdot R4) - \sinh(XK5 \cdot R4)) / R44$
 $X315 = -X107 \cdot DD2 \cdot (R4 \cdot XK5 \cdot \sinh(XK5 \cdot R4) - \cosh(XK5 \cdot R4)) / R44$
 $X316 = -X108 \cdot ED2 \cdot (R4 \cdot XK6 \cdot \cosh(XK6 \cdot R4) - \sinh(XK6 \cdot R4)) / R44$
 $X317 = -X108 \cdot ED2 \cdot (R4 \cdot XK6 \cdot \sinh(XK6 \cdot R4) - \cosh(XK6 \cdot R4)) / R44$
 $X318 = -X109 \cdot ED2 \cdot (R4 \cdot XK7 \cdot \cosh(XK7 \cdot R4) - \sinh(XK7 \cdot R4)) / R44$
 $X319 = -X109 \cdot ED2 \cdot (R4 \cdot XK7 \cdot \sinh(XK7 \cdot R4) - \cosh(XK7 \cdot R4)) / R44$

C CÁLCULO DE X416, X417, X418, X419, X420, X421, X422 e X423 \rightarrow SUBSTITUIR
 C NO SISTEMA: $R=R4$

$X416 = X288 \cdot Y17 + X289 \cdot Y19 + X290 \cdot Y21 + X291 \cdot Y23$
 $X417 = X288 \cdot Y18 + X289 \cdot Y20 + X290 \cdot Y22 + X291 \cdot Y24$

```

X418 = X296*Y17 + X297*Y19 + X298*Y21 + X299*Y23
X419 = X296*Y18 + X297*Y20 + X298*Y22 + X299*Y24
X420 = X304*Y17 + X305*Y19 + X306*Y21 + X307*Y23
X421 = X304*Y18 + X305*Y20 + X306*Y22 + X307*Y24
X422 = X312*Y17 + X313*Y19 + X314*Y21 + X315*Y23
X423 = X312*Y18 + X313*Y20 + X314*Y22 + X315*Y24

C  SISTEMA PARA R=R4 REGIÕES "D-E"
C  X416C1 + X417C3 = X292C33 + X293C34 + X294C35 + X295C36
C  X418C1 + X419C3 = X300C33 + X301C34 + X302C35 + X303C36
C  X420C1 + X421C3 = X308C33 + X309C34 + X310C35 + X311C36
C  X422C1 + X423C3 = X316C33 + X317C34 + X318C35 + X319C36
C  CHAMADA DA SUBROTINA "SOL-A": RESOLUÇÃO DO SISTEMA
C  PARA R=R4 → OBTENDO Y25, Y26, Y27, Y28, Y29, Y30, Y31 e Y32

CALL SOL-A(X416,X417,X292,X293,X294,X295,X418,X419,X300,X301,X302,X303,
X420,X421,X308,X309,X310,X311,X422,X423,X316,X317,X318,X319,Y25,Y26,Y27,
Y28,Y29,Y30,Y31,Y32)

C  CONDIÇÃO DE CONTORNO
C  PARA R=R5 → CORRENTE QUE ENTRA (-) → J-)5:1=0 e J-)5:2=0
C  J-)5:1 =0= (Fluxo5:1)/4 + ED1/2*(Fluxo5:1)=(Fluxo5:1) + 2*ED1*(Fluxo5:1)
C  J-)5:2 =0= (Fluxo5:2)/4 + ED2/2*(Fluxo5:2)=(Fluxo5:2) + 2*ED2*(Fluxo5:2)
C  CONDIÇÃO DE CONTORNO: R=R5 → FLUXO5:1 e FLUXO5:2

X320 = SINH(XK6*R5)/R5
X321 = COSH(XK6*R5)/R5
X322 = SINH(XK7*R5)/R5
X323 = COSH(XK7*R5)/R5
X324 = X108*SINH(XK6*R5)/R5
X325 = X108*COSH(XK6*R5)/R5
X326 = X109*SINH(XK7*R5)/R5
X327 = X109*COSH(XK7*R5)/R5

C  CONDIÇÃO DE CONTORNO: R=R5 → CORRENTE5:1 e CORRENTE5:2

X328 = -ED1*(R5*XK6*COSH(XK6*R5) - SINH(XK6*R5))/R55
X329 = -ED1*(R5*XK6*SINH(XK6*R5) - COSH(XK6*R5))/R55
X330 = -ED1*(R5*XK7*COSH(XK7*R5) - SINH(XK7*R5))/R55
X331 = -ED1*(R5*XK7*SINH(XK7*R5) - COSH(XK7*R5))/R55
X332 = -X108*ED2*(R5*XK6*COSH(XK6*R5) - SINH(XK6*R5))/R55
X333 = -X108*ED2*(R5*XK6*SINH(XK6*R5) - COSH(XK6*R5))/R55
X334 = -X109*ED2*(R5*XK7*COSH(XK7*R5) - SINH(XK7*R5))/R55

```

```

X335 = -X109*ED2*(R5*XK7*SINH(XK7*R5) - COSH(XK7*R5))/R55
C  PARA R=R5 → J-) 5:1=0 = (Fluxo5:1)/4 + ED1/2*(Fluxo5:1)
C  → 0 =(Fluxo5:1) + 2*ED1*(Fluxo5:1)

X340 = X320 - 2.0*X328
X341 = X321 - 2.0*X329
X342 = X322 - 2.0*X330
X343 = X323 - 2.0*X331

C  PARA R=R5 → J-) 5:2=0 = (Fluxo5:2)/4 + ED2/2*(Fluxo5:2)
C  → 0 = (Fluxo5:2) + 2*ED2*(Fluxo5:2)

X344 = X324 - 2.0*X332
X345 = X325 - 2.0*X333
X346 = X326 - 2.0*X334
X347 = X327 - 2.0*X335

C  DEFINIÇÃO DE CONSTANTES EM FUNÇÃO DE "C1"
C  0= X344C33 + X345C34 + X346C35 + X347C36 → Gp2 → CÁLCULO DE C3 EM
C  FUNÇÃO DE C1
C  0= (X344Y25 + X345Y27 + X346Y29 + X347Y31)C1 +
C  (X344Y26 + X345Y28 + X346Y30 + X347Y32)C3
C  X348 = X344Y25 + X345Y27 + X346Y29 + X347Y31
C  X349 = X344Y26 + X345Y28 + X346Y30 + X347Y32

X348 = X344*Y25 + X345*Y27 + X346*Y29 + X347*Y31
X349 = X344*Y26 + X345*Y28 + X346*Y30 + X347*Y32

C  0 = X348C1 + X349C3 → C3 = -X348/X349C1
C  → X350 = (-X348/X349) → C3 EM FUNÇÃO DE C1

X350 = -X348/X349 !VARIÁVEL X338 → C3 EM FUNÇÃO DE C1

C  DEFINIÇÃO DA EQUAÇÃO TRANSCENDENTAL
C  0= X340C33 + X341C34 + X342C35 + X343C36 → Gp1 → EQUAÇÃO
C  TRANSCENDENTAL
C  0= (X340Y25 + X341Y27 + X342Y29 + X343Y31)C1 +
C  (X340Y26 + X341Y28 + X342Y30 + X343Y32)C3
C  X351 = X340*Y25 + X341*Y27 + X342*Y29 + X343*Y31
C  X352 = X340*Y26 + X341*Y28 + X342*Y30 + X343*Y32

X351 = X340*Y25 + X341*Y27 + X342*Y29 + X343*Y31
X352 = X340*Y26 + X341*Y28 + X342*Y30 + X343*Y32

C  0= X351C1 + X352C3 → C3 = X350C1
C  0= X351 + X352X350 → EQUAÇÃO TRANSCENDENTAL

```


$$DIF = 1.0 + X351/(X352*X350)$$

C CÁLCULO DE C1

C CONDIÇÃO DE CONTORNO: CONSIDERANDO

C A FUGA + ABSORÇÃO = 1 [NORMALIZAÇÃO]

C FUGA + ABSORÇÃO DA REGIÃO "A" → $R_0 \leq R \leq R_1$

C CÁLCULO DAS INTEGRAIS XI1 e XI2

$$XI1 = 4.0*PI*(R1*COSH(XK1*R1)/XK1 - SINH(XK1*R1)/XX1)$$

$$XI2 = 4.0*PI*(R1*COSH(XK2*R1)/XK2 - SINH(XK2*R1)/XX2)$$

C DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS EM FUNÇÃO DE C1

$$X503 = X350 !C3 = - X348/X349C1 = X350C1 = X503C1$$

$$X505 = X100 !C5 = X100C1 = X505C1$$

$$X507 = X101*X503 !C7 = X101C3 = X101*X503C1 = X507C1$$

$$FAA = AEA1*(XI1 + X503*XI2) + AEA2*(X505*XI1 + X507*XI2) + \\ AD1*(-XX1*XI1 - X503*XX2*XI2) + \\ AD2*(-X505*XX1*XI1 - X507*XX2*XI2)$$

C FUGA + ABSORÇÃO DA REGIÃO "B" → $R_1 \leq R \leq R_2$

C DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS EM FUNÇÃO DE C1

$$X509 = Y1 + X503*Y2$$

$$X510 = Y3 + X503*Y4$$

$$X511 = Y5 + X503*Y6$$

$$X512 = Y7 + X503*Y8$$

$$X513 = X102*X509$$

$$X514 = X102*X510$$

$$X515 = X103*X511$$

$$X516 = X103*X512$$

CALL XINT(R1,R2,XMU1,XK3,XI3,XI4,XI5,XI6) !CÁLCULO DAS

C INTEGRAIS XI3, XI4, XI5 e XI6

$$FAB = BEA1*(X509*XI3 + X510*XI4 + X511*XI5 + X512*XI6) + \\ BEA2*(X513*XI3 + X514*XI4 + X515*XI5 + X516*XI6) + \\ BD1*(X509*XU1*XI3 + X510*XU1*XI4 - X511*XX3*XI5 - \\ X512*XX3*XI6) + \\ BD2*(X513*XU1*XI3 + X514*XU1*XI4 - X515*XX3*XI5 - \\ X516*XX3*XI6)$$

C FUGA + ABSORÇÃO DA REGIÃO "C" → $R_2 \leq R \leq R_3$

C DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS EM FUNÇÃO DE C1

$$X517 = Y9 + X503*Y10$$

$$X518 = Y11 + X503*Y12$$

```

X519 = Y13 + X503*Y14
X520 = Y15 + X503*Y16
X521 = X104*X517
X522 = X104*X518
X523 = X105*X519
X524 = X105*X520
CALL XINT(R2,R3,XMU2,XK4,XI7,XI8,XI9,XI10) !CÁLCULO DAS
C INTEGRAIS XI7, XI8 ,XI9 e XI10
FAC = CEA1*(X517*XI7 + X518*XI8 + X519*XI9 + X520*XI10) +
      CEA2*(X521*XI7 + X522*XI8 + X523*XI9 + X524*XI10) +
      CD1*(X517*XU2*XI7 + X518*XU2*XI8 - X519*XX4*XI9 -
          X520*XX4*XI10) +
      CD2*(X521*XU2*XI7 + X522*XU2*XI8 - X523*XX4*XI9 -
          X524*XX4*XI10)

C FUGA + ABSORÇÃO DA REGIÃO "D" → R3 ≤ R ≤ R4
C DEFINIÇÃO DAS VARIÁVES EM FUNÇÃO DE C1

X525 = Y17 + X503*Y18
X526 = Y19 + X503*Y20
X527 = Y21 + X503*Y22
X528 = Y23 + X503*Y24
X529 = X106*X525
X530 = X106*X526
X531 = X107*X527
X532 = X107*X528

CALL XINT(R3,R4,XMU3,XK5,XI11,XI12,XI13,XI14) !CÁLCULO DAS
C INTEGRAIS XI11, XI12 ,XI13 e XI14
FAD = DEA1*(X525*XI11 + X526*XI12 + X527*XI13 + X528*XI14) +
      DEA2*(X529*XI11 + X530*XI12 + X531*XI13 + X532*XI14) +
      DD1*(X525*XU3*XI11 + X526*XU3*XI12 - X527*XX5*XI13 -
          X528*XX5*XI14) +
      DD2*(X529*XU3*XI11 + X530*XU3*XI12 - X531*XX5*XI13 -
          X532*XX5*XI14)

C FUGA + ABSORÇÃO DA REGIÃO "E" → R4 ≤ R ≤ R5
C DEFINIÇÃO DAS VARIÁVES EM FUNÇÃO DE C1

X533 = Y25 + X503*Y26
X534 = Y27 + X503*Y28
X535 = Y29 + X503*Y30
X536 = Y31 + X503*Y32

```

```

X537 = X108*X533
X538 = X108*X534
X539 = X109*X535
X540 = X109*X536

CALL XINT(R4,R5,XK6,XK6,X,Y,XI15,XI16) !CÁLCULO DAS INTEGRAIS
C  XI15 e XI16
CALL XINT(R4,R5,XK7,XK7,XX,YY,XI17,XI18) !CÁLCULO DAS INTEGRAIS
C  XI17 e XI18

FAE = EEA1*(X533*XI15 + X534*XI16 + X535*XI17 + X536*XI18) +
      EEA2*(X537*XI15 + X538*XI16 + X539*XI17 + X540*XI18) +
      ED1*(-X533*XX6*XI15 - X534*XX6*XI16 - X535*XX7*XI17 -
          X536*XX7*XI18) +
      ED2*(-X537*XX6*XI15 - X538*XX6*XI16 - X539*XX7*XI17 -
          X540*XX7*XI18)

C  CÁLCULO DA CONSTANTE "C1"

X600 = FAA + FAB + FAC + FAD + FAE
C1 = 1.0/X600

C  CÁLCULO DAS CONSTANTES EM FUNÇÃO DE "C1"

C3 = X503*C1
C5 = X505*C1
C7 = X507*C1
C9 = X509*C1
C10 = X510*C1
C11 = X511*C1
C12 = X512*C1
C13 = X513*C1
C14 = X514*C1
C15 = X515*C1
C16 = X516*C1
C17 = X517*C1
C18 = X518*C1
C19 = X519*C1
C20 = X520*C1
C21 = X521*C1
C22 = X522*C1
C23 = X523*C1
C24 = X524*C1

```

```

C25 = X525*C1
C26 = X526*C1
C27 = X527*C1
C28 = X528*C1
C29 = X529*C1
C30 = X530*C1
C31 = X531*C1
C32 = X532*C1
C33 = X533*C1
C34 = X534*C1
C35 = X535*C1
C36 = X536*C1
C37 = X537*C1
C38 = X538*C1
C39 = X539*C1
C40 = X540*C1

C  FINAL CÁLCULO DAS CONSTANTES EM FUNÇÃO DE "C1"
C  CÁLCULO: FUGA REFERENTE AOS FLUXOS (Gp1 e 2) REGIÕES A, B, C, D
C  e E
C  FUGA DA REGIÃO "A" →  $R_0 \leq R \leq R_1$ 

FGA1 = AD1*C1*(-XX1*XI1 - X503*XX2*XI2)
FGA2 = AD2*C1*(-X505*XX1*XI1 - X507*XX2*XI2)

C  FUGA DA REGIÃO "B" →  $R_1 \leq R \leq R_2$ 

FGB1 = BD1*C1*(X509*XU1*XI3 + X510*XU1*XI4 -
               X511*XX3*XI5 - X512*XX3*XI6)
FGB2 = BD2*C1*(X513*XU1*XI3 + X514*XU1*XI4 -
               X515*XX3*XI5 - X516*XX3*XI6)

C  FUGA DA REGIÃO "C" →  $R_2 \leq R \leq R_3$ 

FGC1 = CD1*C1*(X517*XU2*XI7 + X518*XU2*XI8 -
               X519*XX4*XI9 - X520*XX4*XI10)
FGC2 = CD2*C1*(X521*XU2*XI7 + X522*XU2*XI8 -
               X523*XX4*XI9 - X524*XX4*XI10)

C  FUGA DA REGIÃO "D" →  $R_3 \leq R \leq R_4$ 

FGD1 = DD1*C1*(X525*XU3*XI11 + X526*XU3*XI12 -
               X527*XX5*XI13 - X528*XX5*XI14)
FGD2 = DD2*C1*(X529*XU3*XI11 + X530*XU3*XI12 -
               X531*XX5*XI13 - X532*XX5*XI14)

```

C FUGA DA REGIÃO "E" $\rightarrow R4 \leq R \leq R5$

$$FGE1 = ED1 * C1 * (-X533 * XX6 * XI15 - X534 * XX6 * XI16 - \\ X535 * XX7 * XI17 - X536 * XX7 * XI18)$$

$$FGE2 = ED2 * C1 * (-X537 * XX6 * XI15 - X538 * XX6 * XI16 - \\ X539 * XX7 * XI17 - X540 * XX7 * XI18)$$

C FUGA TOTAL

$$FGT1 = FGA1 + FGB1 + FGC1 + FGD1 + FGE1 \text{ !FUGA TOTAL Gp1}$$

$$FGT2 = FGA2 + FGB2 + FGC2 + FGD2 + FGE2 \text{ !FUGA TOTAL Gp2}$$

$$FGTO = FGT1 + FGT2 \text{ ! FUGA TOTAL}$$

C CÁLCULO DAS ABSORÇÕES

C ABSORÇÃO DA REGIÃO "A" $\rightarrow R0 \leq R \leq R1$

$$ABA1 = AEA1 * C1 * (XI1 + X503 * XI2)$$

$$ABA2 = AEA2 * C1 * (X505 * XI1 + X507 * XI2)$$

C ABSORÇÃO DA REGIÃO "B" $\rightarrow R1 \leq R \leq R2$

$$ABB1 = BEA1 * C1 * (X509 * XI3 + X510 * XI4 + X511 * XI5 + X512 * XI6)$$

$$ABB2 = BEA2 * C1 * (X513 * XI3 + X514 * XI4 + X515 * XI5 + X516 * XI6)$$

C ABSORÇÃO DA REGIÃO "C" $\rightarrow R2 \leq R \leq R3$

$$ABC1 = CEA1 * C1 * (X517 * XI7 + X518 * XI8 + X519 * XI9 + X520 * XI10)$$

$$ABC2 = CEA2 * C1 * (X521 * XI7 + X522 * XI8 + X523 * XI9 + X524 * XI10)$$

C ABSORÇÃO DA REGIÃO "D" $\rightarrow R3 \leq R \leq R4$

$$ABD1 = DEA1 * C1 * (X525 * XI11 + X526 * XI12 + X527 * XI13 + X528 * XI14)$$

$$ABD2 = DEA2 * C1 * (X529 * XI11 + X530 * XI12 + X531 * XI13 + X532 * XI14)$$

C ABSORÇÃO DA REGIÃO "E" $\rightarrow R4 \leq R \leq R5$

$$ABE1 = EEA1 * C1 * (X533 * XI15 + X534 * XI16 + X535 * XI17 + X536 * XI18)$$

$$ABE2 = EEA2 * C1 * (X537 * XI15 + X538 * XI16 + X539 * XI17 + X540 * XI18)$$

C ABSORÇÃO TOTAL

$$ABT1 = ABA1 + ABB1 + ABC1 + ABD1 + ABE1 \text{ !ABSORÇÃO TOTAL Gp1}$$

$$ABT2 = ABA2 + ABB2 + ABC2 + ABD2 + ABE2 \text{ !ABSORÇÃO TOTAL Gp2}$$

$$ABTO = ABT1 + ABT2 \text{ !ABSORÇÃO TOTAL}$$

C CÁLCULO DA ABSORÇÃO E FUGA TOTAIS

$$ABFG = ABTO + FGTO$$

C FINAL CÁLCULO DAS ABSORÇÕES E FUGAS

C CÁLCULO: FLUXOS NAS REGIÕES DE FRONTEIRA

```

C   FLUXOS PARA R=R0 REGIÃO "A" → EM FUNÇÃO DAS CONSTANTES
C   E VARIÁVEIS

F1A1R0 = C1*XK1 + C3*XK2
F2A2R0 = C5*XK1 + C7*XK2

C   FLUXOS PARA R=R1 REGIÕES "A-B" → EM FUNÇÃO DAS CONSTANTES
C   E VARIÁVEIS

F1A1R1 = X200*C1 + X201*C3
F1B1R1 = X202*C9 + X203*C10 + X204*C11 + X205*C12
F2A2R1 = X206*C1 + X207*C3
F2B2R1 = X208*C9 + X209*C10 + X210*C11 + X211*C12

C   FLUXOS PARA R=R2 REGIÕES "B-C" → EM FUNÇÃO DAS CONSTANTES
C   E VARIÁVEIS

F1B1R2 = X224*C9 + X225*C10 + X226*C11 + X227*C12
F1C1R2 = X228*C17 + X229*C18 + X230*C19 + X231*C20
F2B2R2 = X232*C9 + X233*C10 + X234*C11 + X235*C12
F2C2R2 = X236*C17 + X237*C18 + X238*C19 + X239*C20

C   FLUXOS PARA R=R3 REGIÕES "C-D" → EM FUNÇÃO DAS CONSTANTES
C   E VARIÁVEIS

F1C1R3 = X256*C17 + X257*C18 + X258*C19 + X259*C20
F1D1R3 = X260*C25 + X261*C26 + X262*C27 + X263*C28
F2C2R3 = X264*C17 + X265*C18 + X266*C19 + X267*C20
F2D2R3 = X268*C25 + X269*C26 + X270*C27 + X271*C28

C   FLUXO PARA R=R4 REGIÕES "D-E" → EM FUNÇÃO DAS CONSTANTES
C   E VARIÁVEIS

F1D1R4 = X288*C25 + X289*C26 + X290*C27 + X291*C28
F1E1R4 = X292*C33 + X293*C34 + X294*C35 + X295*C36
F2D2R4 = X296*C25 + X297*C26 + X298*C27 + X299*C28
F2E2R4 = X300*C33 + X301*C34 + X302*C35 + X303*C36

C   FLUXO NA POSIÇÃO "E" → R=R5 → EM FUNÇÃO DAS CONSTANTES
C   E VARIÁVEIS

F1E1R5 = X320*C33 + X321*C34 + X322*C35 + X323*C36
F2E2R5 = X324*C33 + X325*C34 + X326*C35 + X327*C36

C   CÁLCULO DO FLUXO Gp1 e Gp2 EM R5 → EM FUNÇÃO DA
C   FUGA TOTAL Gp1 e Gp2

F1PR5 = FGT1/(2.0*PI*R55)

```

$$F2PR5 = FGT2/(2.0*PI*R55)$$

C FINAL CÁLCULO: FLUXOS NAS REGIÕES DE FRONTEIRA
 C CÁLCULO: CORRENTES NAS REGIÕES DE FRONTEIRA
 C CORRENTES PARA R=R1 REGIÕES "A-B" → EM FUNÇÃO DAS
 C CONSTANTES E VARIÁVEIS

$$XJA1R1 = X212*C1 + X213*C3$$

$$XJB1R1 = X214*C9 + X215*C10 + X216*C11 + X217*C12$$

$$XJA2R1 = X218*C1 + X219*C3$$

$$XJB2R1 = X220*C9 + X221*C10 + X222*C11 + X223*C12$$

C CORRENTES PARA R=R2 REGIÕES "B-C" → EM FUNÇÃO DAS
 C CONSTANTES E VARIÁVEIS

$$XJB1R2 = X240*C9 + X241*C10 + X242*C11 + X243*C12$$

$$XJC1R2 = X244*C17 + X245*C18 + X246*C19 + X247*C20$$

$$XJB2R2 = X248*C9 + X249*C10 + X250*C11 + X251*C12$$

$$XJC2R2 = X252*C17 + X253*C18 + X254*C19 + X255*C20$$

C CORRENTES PARA R=R3 REGIÕES "C-D" → EM FUNÇÃO DAS
 C CONSTANTES E VARIÁVEIS

$$XJC1R3 = X272*C17 + X273*C18 + X274*C19 + X275*C20$$

$$XJD1R3 = X276*C25 + X277*C26 + X278*C27 + X279*C28$$

$$XJC2R3 = X280*C17 + X281*C18 + X282*C19 + X283*C20$$

$$XJD2R3 = X284*C25 + X285*C26 + X286*C27 + X287*C28$$

C CORRENTES PARA R=R4 REGIÕES "D-E" → EM FUNÇÃO DAS
 C CONSTANTES E VARIÁVEIS

$$XJD1R4 = X304*C25 + X305*C26 + X306*C27 + X307*C28$$

$$XJE1R4 = X308*C33 + X309*C34 + X310*C35 + X311*C36$$

$$XJD2R4 = X312*C25 + X313*C26 + X314*C27 + X315*C28$$

$$XJE2R4 = X316*C33 + X317*C34 + X318*C35 + X319*C36$$

C CORRENTES NA POSIÇÃO "E" → EM FUNÇÃO DAS
 C CONSTANTES E VARIÁVEIS

$$XJE1R5 = X328*C33 + X329*C34 + X330*C35 + X331*C36$$

$$XJE2R5 = X332*C33 + X333*C34 + X334*C35 + X335*C36$$

C FINAL CÁLCULO: CORRENTES NAS REGIÕES DE FRONTEIRA
 C CÁLCULO DO COEFICIENTE DE REATIVIDADE DE VAZIO - "ALFA"
 C $ROVz6\% = 1 - (1/keffVz6\%)$ E $ROVz0\% = 1 - (1/keffVz0\%)$
 C $ALFA = (ROVz6\% - ROVz0\%)/\%Vz = (ROVz6\% - ROVz0\%)/VzNa$

$$ALFA = ((XKEF - XKEF0)/(XKEF*XKEF0))/VzNa$$

C CÁLCULO DO k_{eff}

$$XKEFA1 = ABA1*AVF1/AEA1$$

$$XKEFA2 = ABA2*AVF2/AEA2$$

$$XKEFB1 = ABB1*BVF1/BEA1$$

$$XKEFB2 = ABB2*BVF2/BEA2$$

$$XKEFC1 = ABC1*CVF1/CEA1$$

$$XKEFC2 = ABC2*CVF2/CEA2$$

$$XKEFD1 = ABD1*DVF1/DEA1$$

$$XKEFD2 = ABD2*DVF2/DEA2$$

$$XKEFE1 = ABE1*EVF1/EEA1$$

$$XKEFE2 = ABE2*EVF2/EEA2$$

$$XKEF1 = XKEFA1 + XKEFB1 + XKEFC1 + XKEFD1 + XKEFE1$$

$$XKEF2 = XKEFA2 + XKEFB2 + XKEFC2 + XKEFD2 + XKEFE2$$

$$XKEFC = XKEF1 + XKEF2$$

CALL FBR2OUTSIS(XK1,XK2,XK3,XMU1,XK4,XMU2,XK5,XMU3,XK6,
XK7,C1,C3,C5,C7,C9,C10,C11,C12,C13,C14,C15,C16,C17,C18,C19,C20,C21,
C22,C23,C24,C25,C26,C27,C28,C29,C30,C31,C32,C33,C34,C35,C36, C37,C38,
C39,C40,F1A1R0,F2A2R0,F1A1R1,F1B1R1,F2A2R1,F2B2R1,F1B1R2, F1C1R2,
F2B2R2,F2C2R2,F1C1R3,F1D1R3,F2C2R3,F2D2R3,F1D1R4,F1E1R4,F2D2R4,
F2E2R4,F1E1R5,F2E2R5,F1PR5,F2PR5,XJA1R1,XJB1R1,XJA2R1,XJB2R1,
XJB1R2,XJC1R2,XJB2R2,XJC2R2,XJC1R3,XJD1R3,XJC2R3,XJD2R3,
XJD1R4,XJE1R4,XJD2R4,XJE2R4,XJE1R5,XJE2R5,ABA1,ABA2,ABB1,ABB2,
ABC1,ABC2,ABD1,ABD2,ABE1,ABE2,ABT1,ABT2,ABTO,FGT1,FGT2,FGTO,
FUG1,FUG2,FUGT,ABFG,DIF,FUGA1,FUGA2,FUGAT,XKEF1,XKEFA1,
XKEFB1,XKEFC1,XKEFD1,XKEFE1,XKEF2,XKEFA2,XKEFB2,XKEFC2,
XKEFD2,XKEFE2,XKEFC,XKEF,AET1,BET1,CET1,DET1,EET1,AEA1,BEA1,
CEA1,DEA1,EEA1,AVF1,BVF1,CVF1,DVF1,EVF1,ACH1,BCH1,CCH1,DCH1,
ECH1,AET2,BET2,CET2,DET2,EET2,AEA2,BEA2,CEA2,DEA2,EEA2,AVF2,
BVF2,CVF2,DVF2,EVF2,ACH2,BCH2,CCH2,DCH2,ECH2,AS12,BS12,CS12,
DS12,ES12,R1,R2,R3,R4,R5,VRF1,DVRXJ,DXJVR,ALFA,XKEF0,VzNa)

END PROGRAM

C SUBROTINA: LEITURA DE DADOS

C VALORES DAS CONSTANTES: REGIÕES "i" E GRUPOS "j"

C iETj (i = A, B, C, D, E; j = 1,2): SEÇÃO DE CHOQUE DE TRANSPORTE

C iEAj (i = A, B, C, D, E; j = 1,2): SEÇÃO DE CHOQUE DE ABSORÇÃO

C iVFj (i = A, B, C, D, E; j = 1,2): PRODUTO CONSTANTE "NI"* SEÇÃO DE

C CHOQUE DE FISSÃO ($\nu \times \Sigma_f$)


```

C   iES12(i = A, B, C, D, E): SEÇÃO DE CHOQUE DE ESPALHAMENTO-Gp 1 → 2
C   iCHj (i=A, B, C, D, E; j = 1,2): ESPECTRO DE FISSÃO "CHI"(χ)
C   XKEF:  $k_{eff}$  EFETIVO PARA AS REGIÕES e Gp 1 e 2

SUBROUTINE FBR2INSIS(AET1,BET1,CET1,DET1,EET1,
  AEA1,BEA1,CEA1,DEA1,EEA1,AVF1,BVF1,CVF1,DVF1,EVF1,
  ACH1,BCH1,CCH1,DCH1,ECH1,AET2,BET2,CET2,DET2,EET2,
  AEA2,BEA2,CEA2,DEA2,EEA2,AVF2,BVF2,CVF2,DVF2,EVF2,
  ACH2,BCH2,CCH2,DCH2,ECH2,AS12,BS12,CS12,DS12,ES12,XKEF)

OPEN(20,file='FBR2INSIS.dat')

READ(20,*) AET1,BET1,CET1,DET1,EET1,
  AEA1,BEA1,CEA1,DEA1,EEA1,AVF1,BVF1,CVF1,DVF1,EVF1,
  ACH1,BCH1,CCH1,DCH1,ECH1,AET2,BET2,CET2,DET2,EET2,
  AEA2,BEA2,CEA2,DEA2,EEA2,AVF2,BVF2,CVF2,DVF2,EVF2,
  ACH2,BCH2,CCH2,DCH2,ECH2,AS12,BS12,CS12,DS12,ES12,XKEF

CLOSE(20)
RETURN
END SUBROUTINE

C   SUBROTINA: CÁLCULO DAS RAÍZES DAS REGIÕES "A" e "E"

SUBROUTINE RAIZAE (AA11,AA12,AA21,AA22,XK1,XK2)
  AA = 1.0
  AB = AA11 + AA22 !CÁLCULO DE "AB"
  AC = (AA11*AA22) - (AA12*AA21) !CÁLCULO DE "AC"
  AD = (AB*AB) - (4*AA*AC) !CÁLCULO DO DISCRIMINANTE
C   PARA REGIÃO "A"
  AS1 = (- AB + SQRT(AD))/(2.0*AA)
  AS2 = (- AB - SQRT(AD))/(2.0*AA)
  XK1 = SQRT (AS1)
  XK2 = SQRT (AS2)
  RETURN
END SUBROUTINE

C   SUBROTINA: CÁLCULO DAS RAÍZES DAS REGIÕES "B", "C" e "D"

SUBROUTINE RAIZBCD (BA11,BA12,BA21,BA22,XK3,XMU1)
  BA = 1.0
  BB = BA11 + BA22 !CÁLCULO DE "BB"
  BC = (BA11*BA22) - (BA12*BA21) !CÁLCULO DE "BC"
  BD = (BB*BB) - (4*BA*BC) !CÁLCULO DO DISCRIMINANTE
C   PARA REGIÃO "B", "C" e "D"

```

```

BS1 = (- BB + SQRT(BD))/(2.0*BA)
BS2 = (- BB - SQRT(BD))/(2.0*BA)
XK3 = SQRT (BS1)
XMU1= SQRT(-BS2)
RETURN
END SUBROUTINE

C  SUBROTINA: SOLUÇÃO DO SISTEMA - REGIÃO "A"
C  CÁLCULO DO DETERMINANTE DO SISTEMA: "DET",
C  DETERMINANTES PARCIAIS:
C  DET11, DET21, DET31, DET41, Y1C9, Y2C9, Y1 e Y2
C  DET12, DET22, DET32, DET42, Y3C10, Y4C10, Y3, Y4
C  DET13, DET23, DET33, DET43, Y5C11, Y6C11, Y5, Y6
C  DET14, DET24, DET34, DET44, Y7C12, Y8C12, Y7, Y8

SUBROUTINE SOL-A (X200,X201,X202,X203,X204,X205,X206,X207,X208,
X209,X210,X211,X212,X213,X214,X215,X216,X217,X218,X219,X220,X221,
X222,X223,Y1,Y2,Y3,Y4,Y5,Y6,Y7,Y8)

C  CÁLCULO: DETERMINANTE DO SISTEMA - REGIÃO "A"
C  X200C1 + X201C3 = X202C9 + X203C10 + X204C11 + X205C12
C  X206C1 + X207C3 = X208C9 + X209C10 + X210C11 + X211C12
C  X212C1 + X213C3 = X214C9 + X215C10 + X216C11 + X217C12
C  X218C1 + X219C3 = X220C9 + X221C10 + X222C11 + X223C12

DET=(X202*(X209*X216*X223 + X210*X217*X221 + X211*X215*X222 +
- X211*X216*X221 - X209*X217*X222 - X210*X215*X223) +
- X208*(X203*X216*X223 + X204*X217*X221 + X205*X215*X222 +
- X205*X216*X221 - X203*X217*X222 - X204*X215*X223) +
X214*(X203*X210*X223 + X204*X211*X221 + X205*X209*X222 +
- X205*X210*X221 - X203*X211*X222 - X204*X209*X223) +
- X220*(X203*X210*X217 + X204*X211*X215 + X205*X209*X216 +
- X205*X210*X215 - X203*X211*X216 - X204*X209*X217))

C  CÁLCULO: C9 EM FUNÇÃO DE C1 E C3
C  (X200C1 + X201C3) + X203C10 + X204C11 + X205C12
C  (X206C1 + X207C3) + X209C10 + X210C11 + X211C12
C  (X212C1 + X213C3) + X215C10 + X216C11 + X217C12
C  (X218C1 + X219C3) + X221C10 + X222C11 + X223C12
C  CÁLCULO: DET11, DET21, DET31, DET41

DET11=(X209*X216*X223 + X210*X217*X221 + X211*X215*X222 -
X211*X216*X221 - X209*X217*X222 - X210*X215*X223)

```

$$\text{DET21} = (\text{X203} * \text{X216} * \text{X223} + \text{X204} * \text{X217} * \text{X221} + \text{X205} * \text{X215} * \text{X222} - \text{X205} * \text{X216} * \text{X221} - \text{X203} * \text{X217} * \text{X222} - \text{X204} * \text{X215} * \text{X223})$$

$$\text{DET31} = (\text{X203} * \text{X210} * \text{X223} + \text{X204} * \text{X211} * \text{X221} + \text{X205} * \text{X209} * \text{X222} - \text{X205} * \text{X210} * \text{X221} - \text{X203} * \text{X211} * \text{X222} - \text{X204} * \text{X209} * \text{X223})$$

$$\text{DET41} = (\text{X203} * \text{X210} * \text{X217} + \text{X204} * \text{X211} * \text{X215} + \text{X205} * \text{X209} * \text{X216} - \text{X205} * \text{X210} * \text{X215} - \text{X203} * \text{X211} * \text{X216} - \text{X204} * \text{X209} * \text{X217})$$

C CÁLCULO: Y1C9, Y2C9

$$\text{Y1C9} = \text{X200} * \text{DET11} - \text{X206} * \text{DET21} + \text{X212} * \text{DET31} - \text{X218} * \text{DET41}$$

$$\text{Y2C9} = \text{X201} * \text{DET11} - \text{X207} * \text{DET21} + \text{X213} * \text{DET31} - \text{X219} * \text{DET41}$$

C CÁLCULO: C9 = Y1*C1 + Y2*C3

C C9 = (Y1C9/DET)*C1 + (Y2C9/DET)*C3

$$\text{Y1} = \text{Y1C9} / \text{DET}$$

$$\text{Y2} = \text{Y2C9} / \text{DET}$$

C CÁLCULO: C10 EM FUNÇÃO DE C1 E C3

C X202C9 + (X200C1 + X201C3) + X204C11 + X205C12

C X208C9 + (X206C1 + X207C3) + X210C11 + X211C12

C X214C9 + (X212C1 + X213C3) + X216C11 + X217C12

C X220C9 + (X218C1 + X219C3) + X222C11 + X223C12

C CÁLCULO: DET12, DET22, DET32, DET42

$$\text{DET12} = (\text{X208} * \text{X216} * \text{X223} + \text{X210} * \text{X217} * \text{X220} + \text{X211} * \text{X214} * \text{X222} - \text{X211} * \text{X216} * \text{X220} - \text{X208} * \text{X217} * \text{X222} - \text{X210} * \text{X214} * \text{X223})$$

$$\text{DET22} = (\text{X202} * \text{X216} * \text{X223} + \text{X204} * \text{X217} * \text{X220} + \text{X205} * \text{X214} * \text{X222} - \text{X205} * \text{X216} * \text{X220} - \text{X202} * \text{X217} * \text{X222} - \text{X204} * \text{X214} * \text{X223})$$

$$\text{DET32} = (\text{X202} * \text{X210} * \text{X223} + \text{X204} * \text{X211} * \text{X220} + \text{X205} * \text{X208} * \text{X222} - \text{X205} * \text{X210} * \text{X220} - \text{X202} * \text{X211} * \text{X222} - \text{X204} * \text{X208} * \text{X223})$$

$$\text{DET42} = (\text{X202} * \text{X210} * \text{X217} + \text{X204} * \text{X211} * \text{X214} + \text{X205} * \text{X208} * \text{X216} - \text{X205} * \text{X210} * \text{X214} - \text{X202} * \text{X211} * \text{X216} - \text{X204} * \text{X208} * \text{X217})$$

C CÁLCULO: Y1C10, Y2C10

$$\text{Y3C10} = - \text{X200} * \text{DET12} + \text{X206} * \text{DET22} - \text{X212} * \text{DET32} + \text{X218} * \text{DET42}$$

$$\text{Y4C10} = - \text{X201} * \text{DET12} + \text{X207} * \text{DET22} - \text{X213} * \text{DET32} + \text{X219} * \text{DET42}$$

C CÁLCULO: C10 = Y3*C1 + Y4*C3

C C10 = (Y3C10/DET)*C1 + (Y4C10/DET)*C3

$$\text{Y3} = \text{Y3C10} / \text{DET}$$

$$\text{Y4} = \text{Y4C10} / \text{DET}$$

C CÁLCULO: C11 EM FUNÇÃO DE C1 E C3

C X202C9 + X203C10 + (X200C1 + X201C3) + X205C12

C $X208C9 + X209C10 + (X206C1 + X207C3) + X211C12$

C $X214C9 + X215C10 + (X212C1 + X213C3) + X217C12$

C $X220C9 + X221C10 + (X218C1 + X219C3) + X223C12$

C CÁLCULO: DET13, DET23, DET33, DET43

$$DET13 = (X208 * X215 * X223 + X209 * X217 * X220 + X211 * X214 * X221 - X211 * X215 * X220 - X208 * X217 * X221 - X209 * X214 * X223)$$

$$DET23 = (X202 * X215 * X223 + X203 * X217 * X220 + X205 * X214 * X221 - X205 * X215 * X220 - X202 * X217 * X221 - X203 * X214 * X223)$$

$$DET33 = (X202 * X209 * X223 + X203 * X211 * X220 + X205 * X208 * X221 - X205 * X209 * X220 - X202 * X211 * X221 - X203 * X208 * X223)$$

$$DET43 = (X202 * X209 * X217 + X203 * X211 * X214 + X205 * X208 * X215 - X205 * X209 * X214 - X202 * X211 * X215 - X203 * X208 * X217)$$

C CÁLCULO: Y5C11, Y6C11

$$Y5C11 = X200 * DET13 - X206 * DET23 + X212 * DET33 - X218 * DET43$$

$$Y6C11 = X201 * DET13 - X207 * DET23 + X213 * DET33 - X219 * DET43$$

C CÁLCULO: C11 = Y5*C1 + Y6*C3

C $C11 = (Y5C11/DET) * C1 + (Y6C11/DET) * C3$

$$Y5 = Y5C11/DET$$

$$Y6 = Y6C11/DET$$

C CÁLCULO: C12 EM FUNÇÃO DE C1 E C3

C $X202C9 + X203C10 + X204C11 + (X200C1 + X201C3)$

C $X208C9 + X209C10 + X210C11 + (X206C1 + X207C3)$

C $X214C9 + X215C10 + X216C11 + (X212C1 + X213C3)$

C $X220C9 + X221C10 + X222C11 + (X218C1 + X219C3)$

C CÁLCULO: DET14, DET24, DET34, DET44

$$DET14 = (X208 * X215 * X222 + X209 * X216 * X220 + X210 * X214 * X221 - X210 * X215 * X220 - X208 * X216 * X221 - X209 * X214 * X222)$$

$$DET24 = (X202 * X215 * X222 + X203 * X216 * X220 + X204 * X214 * X221 - X204 * X215 * X220 - X202 * X216 * X221 - X203 * X214 * X222)$$

$$DET34 = (X202 * X209 * X222 + X203 * X210 * X220 + X204 * X208 * X221 - X204 * X209 * X220 - X202 * X210 * X221 - X203 * X208 * X222)$$

$$DET44 = (X202 * X209 * X216 + X203 * X210 * X214 + X204 * X208 * X215 - X204 * X209 * X214 - X202 * X210 * X215 - X203 * X208 * X216)$$

C CÁLCULO: Y7C12, Y8C12

$$Y7C12 = -X200 * DET14 + X206 * DET24 - X212 * DET34 + X218 * DET44$$

$$Y8C12 = -X201 * DET14 + X207 * DET24 - X213 * DET34 + X219 * DET44$$

```

C  CÁLCULO:  $C12 = Y7 * C1 + Y8 * C3$ 
C   $C12 = (Y7C12/DET) * C1 + (Y8C12/DET) * C3$ 
       $Y7 = Y7C12/DET$ 
       $Y8 = Y8C12/DET$ 

C  TÉRMINO: SOLUÇÃO DO SISTEMA "A- CÁLCULO DE (C9)Y1,Y2,
C  (C10)Y3,Y4, (C11)Y5,Y6, (C12)Y7,Y8 EM FUNÇÃO DE C1 E C3
      RETURN
      END SUBROUTINE

C  SUBROTINA: INTEGRAIS - CÁLCULO SENO-COSSENO
C  HIPERBÓLICO E TRIGONOMÉTRICO
C  ENTRADA: RI: RAI0 INICIAL; RF: RAI0 FINAL;
C  XMUI: XMU1, XMU2, XMU3, XK6; XKI: XK3, XK4, XK5 e XK7
C  SAÍDA: IX3, IX4, IX5 e IX6

      SUBROUTINE XINT(RI,RF,XMUI,XKI,XI3,XI4,XI5,XI6)
      PI = 4.0*ATAN(1.0)
      XX1 = XMUI*XMUI
      XX2 = XKI*XKI
      XI3 = 4.0*PI*(RI*COS(XMUI*RI)/XMUI - RF*COS(XMUI*RF)/XMUI +
               SIN(XMUI*RF)/XX1 - SIN(XMUI*RI)/XX1)
      XI4 = 4.0*PI*(RF*SIN(XMUI*RF)/XMUI - RI*SIN(XMUI*RI)/XMUI +
               COS(XMUI*RF)/XX1 - COS(XMUI*RI)/XX1)
      XI5 = 4.0*PI*(RF*COSH(XKI*RF)/XKI - RI*COSH(XKI*RI)/XKI -
               SINH(XKI*RF)/XX2 + SINH(XKI*RI)/XX2)
      XI6 = 4.0*PI*(RF*SINH(XKI*RF)/XKI - RI*SINH(XKI*RI)/XKI -
               COSH(XKI*RF)/XX2 + COSH(XKI*RI)/XX2)

      RETURN
      END SUBROUTINE

C  TÉRMINO: SOLUÇÃO INTEGRAIS XI3, XI4, XI5 e XI6
C  SUBROTINA: SAÍDA DOS VALORES CALCULADOS
C  CONSTANTES: C1...C40
C  RAÍZES DAS EQUAÇÕES DE DIFUSÃO: XK1, XK2, XK3, XMU1, XK4,
C  XMU2, XK5, XMU3, XK6 e XK7
C  FLUXOS, ABSORÇÕES, FUGAS,  $k_{eff}$  e  $\alpha$ 

      SUBROUTINE FBR2OUTSIS(XK1,XK2,XK3,XMU1,XK4,XMU2,XK5,XMU3,
      XK6,XK7,C1,C3,C5,C7,C9,C10,C11,C12,C13,C14,C15,C16,C17,C18,C19,C20,
      C21,C22,C23,C24,C25,C26,C27,C28,C29,C30,C31,C32,C33,C34,C35,C36,C37,
      C38,C39,C40,F1A1R0,F2A2R0,F1A1R1,F1B1R1,F2A2R1,F2B2R1,F1B1R2,

```

```

F1C1R2,F2B2R2,F2C2R2,F1C1R3,F1D1R3,F2C2R3,F2D2R3,F1D1R4,F1E1R4,
F2D2R4,F2E2R4,F1E1R5,F2E2R5,F1PR5,F2PR5,XJA1R1,XJB1R1,XJA2R1,
XJB2R1,XJB1R2,XJC1R2,XJB2R2,XJC2R2,XJC1R3,XJD1R3,XJC2R3,
XJD2R3,XJD1R4,XJE1R4,XJD2R4,XJE2R4,XJE1R5,XJE2R5,ABA1,ABA2,
ABB1,ABB2,ABC1,ABC2,ABD1,ABD2,ABE1,ABE2,ABT1,ABT2,ABTO,
FGT1,FGT2,FGTO,FUG1,FUG2,FUGT,ABFG,DIF,FUGA1,FUGA2,FUGAT,
XKEF1,XKEFA1,XKEFB1,XKEFC1,XKEFD1,XKEFE1,XKEF2,XKEFA2,
XKEFB2,XKEFC2,XKEFD2,XKEFE2,XKEFC,XKEF,AET1,BET1,CET1,
DET1,EET1,AEA1,BEA1,CEA1,DEA1,EEA1,AVF1,BVF1,CVF1,DVF1,EVF1,
ACH1,BCH1,CCH1,DCH1,ECH1,AET2,BET2,CET2,DET2,EET2,
AEA2,BEA2,CEA2,DEA2,EEA2,AVF2,BVF2,CVF2,DVF2,EVF2,
ACH2,BCH2,CCH2,DCH2,ECH2,AS12,BS12,CS12,DS12,ES12,
R1,R2,R3,R4,R5,VRF1,DVRXJ,DXJVR,ALFA,XKEF0,VzNa)

```

```

OPEN(30,file='FBR2OUTSIS.out')

```

```

WRITE(30,*)'_____ '

```

```

WRITE(30,*)' VALORES CALCULADOS '

```

```

WRITE(30,*)'_____ '

```

```

WRITE(30,*)

```

```

WRITE(30,*) 'AET1=',AET1,'    AEA1=',AEA1,'    AVF1=',AVF1

```

```

WRITE(30,*) 'ACH1=',ACH1

```

```

WRITE(30,*) 'BET1=',BET1,'    BEA1=',BEA1,'    BVF1=',BVF1

```

```

WRITE(30,*) 'BCH1=',BCH1

```

```

WRITE(30,*) 'CET1=',CET1,'    CEA1=',CEA1,'    CVF1=',CVF1

```

```

WRITE(30,*) 'CCH1=',CCH1

```

```

WRITE(30,*) 'DET1=',DET1,'    DEA1=',DEA1,'    DVF1=',DVF1

```

```

WRITE(30,*) 'DCH1=',DCH1

```

```

WRITE(30,*) 'EET1=',EET1,'    EEA1=',EEA1,'    EVF1=',EVF1

```

```

WRITE(30,*) 'ECH1=',ECH1

```

```

WRITE(30,*)

```

```

WRITE(30,*) 'AET2=',AET2,'    AEA2=',AEA2,'    AVF2=',AVF2

```

```

WRITE(30,*) 'ACH2=',ACH2

```

```

WRITE(30,*) 'BET2=',BET2,'    BEA2=',BEA2,'    BVF2=',BVF2

```

```

WRITE(30,*) 'BCH2=',BCH2

```

```

WRITE(30,*) 'CET2=',CET2,'    CEA2=',CEA2,'    CVF2=',CVF2

```

```

WRITE(30,*) 'CCH2=',CCH2

```

```

WRITE(30,*) 'DET2=',DET2,'    DEA2=',DEA2,'    DVF2=',DVF2

```

```

WRITE(30,*) 'DCH2=',DCH2

```

```

WRITE(30,*) 'EET2=',EET2,'    EEA2=',EEA2,'    EVF2=',EVF2

```

```

WRITE(30,*) 'ECH2=',ECH2

```

```

WRITE(30,*)
WRITE(30,*) 'AS12=',AS12,' BS12=',BS12,' CS12=',CS12,' DS12=',DS12
WRITE(30,*) 'ES12=',ES12
WRITE(30,*)
WRITE(30,*) 'R1=',R1,' R2=',R2,' R3=',R3,' R4=',R4,' R5=',R5
WRITE(30,*)
WRITE(30,*) 'XK1=',XK1,' XK2 =',XK2,' XK3=',XK3
WRITE(30,*) 'XMU1=',XMU1,' XK4=',XK4,'
WRITE(30,*) 'XMU2=',XMU2,' XK5=',XK5,' XMU3=',XMU3
WRITE(30,*) 'XK6=',XK6,' XK7 =',XK7
WRITE(30,*)
WRITE(30,*) 'C1 =',C1,' C3 =',C3,' C5 =',C5,' C7 =',C7
WRITE(30,*) 'C9 =',C9,' C10=',C10,' C11=',C11,' C12=',C12
WRITE(30,*) 'C13=',C13,' C14=',C14,' C15=',C15,' C16=',C16
WRITE(30,*) 'C17=',C17,' C18=',C18,' C19=',C19,' C20=',C20
WRITE(30,*) 'C21=',C21,' C22=',C22,' C23=',C23,' C24=',C24
WRITE(30,*) 'C25=',C25,' C26=',C26,' C27=',C27,' C28=',C28
WRITE(30,*) 'C29=',C29,' C30=',C30,' C31=',C31,' C32=',C32
WRITE(30,*) 'C33=',C33,' C34=',C34,' C35=',C35,' C36=',C36
WRITE(30,*) 'C37=',C37,' C38=',C38,' C39=',C39,' C40=',C40
WRITE(30,*)
WRITE(30,*) 'F1A1R0=',F1A1R0,' F2A2R0=',F2A2R0
WRITE(30,*) 'F1A1R1=',F1A1R1,' F2A2R1=',F2A2R1
WRITE(30,*) 'F1B1R1=',F1B1R1,' F2B2R1=',F2B2R1
WRITE(30,*) 'F1B1R2=',F1B1R2,' F2B2R2=',F2B2R2
WRITE(30,*) 'F1C1R2=',F1C1R2,' F2C2R2=',F2C2R2
WRITE(30,*) 'F1C1R3=',F1C1R3,' F2C2R3=',F2C2R3
WRITE(30,*) 'F1D1R3=',F1D1R3,' F2D2R3=',F2D2R3
WRITE(30,*) 'F1D1R4=',F1D1R4,' F2D2R4=',F2D2R4
WRITE(30,*) 'F1E1R4=',F1E1R4,' F2E2R4=',F2E2R4
WRITE(30,*) 'F1E1R5=',F1E1R5,' F2E2R5=',F2E2R5
WRITE(30,*) 'F1PR5 =',F1PR5,' F2PR5 =',F2PR5
WRITE(30,*)
WRITE(30,*) 'XJA1R1=',XJA1R1,' XJA2R1=',XJA2R1
WRITE(30,*) 'XJB1R1=',XJB1R1,' XJB2R1=',XJB2R1
WRITE(30,*) 'XJB1R2=',XJB1R2,' XJB2R2=',XJB2R2
WRITE(30,*) 'XJC1R2=',XJC1R2,' XJC2R2=',XJC2R2
WRITE(30,*) 'XJC1R3=',XJC1R3,' XJC2R3=',XJC2R3
WRITE(30,*) 'XJD1R3=',XJD1R3,' XJD2R3=',XJD2R3

```

```

WRITE(30,*) 'XJD1R4=',XJD1R4,'    XJD2R4=',XJD2R4
WRITE(30,*) 'XJE1R4=',XJE1R4,'    XJE2R4=',XJE2R4
WRITE(30,*) 'XJE1R5=',XJE1R5,'    XJE2R5=',XJE2R5
WRITE(30,*)
WRITE(30,*) 'ABA1=',ABA1,'    ABA2=',ABA2
WRITE(30,*) 'ABB1=',ABB1,'    ABB2=',ABB2
WRITE(30,*) 'ABC1=',ABC1,'    ABC2=',ABC2
WRITE(30,*) 'ABD1=',ABD1,'    ABD2=',ABD2
WRITE(30,*) 'ABE1=',ABE1,'    ABE2=',ABE2
WRITE(30,*) 'ABT1=',ABT1,'    ABT2=',ABT2
WRITE(30,*) 'FGT1=',FGT1,'    FGT2=',FGT2
WRITE(30,*) 'ABTO=',ABTO,'    FGTO=',FGTO
WRITE(30,*) 'ABFG=',ABFG
WRITE(30,*)
WRITE(30,*) 'FUG1 =',FUG1,'    FUG2 =',FUG2,'    FUGT =',FUGT
WRITE(30,*) 'FUGA1=',FUGA1,'    FUGA2=',FUGA2,'    FUGAT=',FUGAT
WRITE(30,*)
WRITE(30,*) 'XKEFA1=',XKEFA1,'    XKEFA2=',XKEFA2,'    DIF1=',DIF1
WRITE(30,*) 'XKEFB1=',XKEFB1,'    XKEFB2=',XKEFB2,'    DIF2=',DIF2
WRITE(30,*) 'XKEFC1=',XKEFC1,'    XKEFC2=',XKEFC2,'    DIF=',DIF
WRITE(30,*) 'XKEFD1=',XKEFD1,'    XKEFD2=',XKEFD2,'    DIF1A=',DIF1A
WRITE(30,*) 'XKEFE1=',XKEFE1,'    XKEFE2=',XKEFE2,'    DIF2A=',DIF2A
WRITE(30,*) 'XKEF1 =',XKEF1,'    XKEF2 =',XKEF2,'    XKEFC=',XKEFC
WRITE(30,*) 'XKEF=',XKEF
WRITE(30,*)
WRITE(30,*) 'ALFA=',ALFA,'    XKEF0=',XKEF0,'    VzNa=',VzNa
WRITE(30,*)
WRITE(30,*) 'VRF1 =',VRF1
WRITE(30,*) 'DVRXJ=',DVRXJ,'    DXJVR=',DXJVR,'    DSV1=',DSV1
WRITE(30,*) 'DFRPR=',DFRPR,'    DPRFR=',DPRFR,'    DSV2=',DSV2
WRITE(30,*)

CLOSE(30)
RETURN
END SUBROUTINE

```

C FINAL DO PROGRAMA

APÊNDICE C – RESULTADOS - UM GRUPO DE ENERGIA

a) VALORES CALCULADOS-FBR1OUTSIS-1Gp de Energia-Sem Vazio

T=423K

ETR1= 0.2132460 EAB1= 3.9315401E-03 VFI1= 1.3756800E-03
 ETR2= 0.1920600 EAB2= 6.9145500E-03 VFI2= 1.2352600E-02
 ETR3= 0.1872540 EAB3= 7.8913504E-03 VFI3= 1.5737999E-02
 ETR4= 0.1824090 EAB4= 9.0225702E-03 VFI4= 1.9605400E-02
 ETR5= 0.2132460 EAB5= 3.9315401E-03 VFI5= 1.3756800E-03

 XKEF= 1.196983

 D1= 1.563140 XKI1= 4.2188995E-02 D3= 1.780113 XKI3= 5.4341670E-02
 D2= 1.735569 XKI2= 4.4294748E-02 D4= 1.827395 XKI4= 6.3447967E-02
 D5= 1.563140 XKI5= 4.2188995E-02

 R1= 20.58200 R2= 35.58300 R3= 42.35400 R4= 48.39500 R5= 94.42900

 DIF= -3.2028196E-09

 XI1= 1660.165 XI2= 4971.455 XI3= 1522.065
 XI4= 2807.121 XI5= -1729.401 XI6= 874.8583
 XI7= -3309.851 XI8= 536492.0 XI9= 538624.5

 FAB1= 1.90801 FAB2= 74.13173 FAB3= 70.19357
 FAB4= 86.21417 FAB5= 23.61465 X250=256.0621
 FUG1= -4.61899 FUG2= 24.46133 FUG3= 28.06399
 FUG4= 38.72209 FUG5= -57.16736 FUGT= 0.1150543

 C1= 3.9053021E-03 C3= 6.1614434E-03 C4 = -1.6935893E-03
 C5= 5.2718953E-03 C6= -3.4985542E-03 C7 = 3.3782977E-03
 C8= -5.3177010E-03 C9= -4.3400697E-02 C10= 4.3377846E-02

 ABX1= 2.5489934E-02 ABX2= 0.1939779 ABX3= 0.1645287
 ABX4= 0.1854709 ABX5= 0.3154822 ABTOT= 0.8849497 FUAB= 0.1150503

 XEF1= 8.9191487E-03 XEF2= 0.3465347 XEF3= 0.3281255
 XEF4= 0.4030150 XEF5= 0.1103899 XKEFC= 1.196984

F1R0= 1.6476077E-04
F1R1= 1.8626056E-04 F2R1= 1.8626059E-04
F2R2= 1.7340880E-04 F3R2= 1.7340879E-04
F3R3= 1.4782170E-04 F4R3= 1.4782170E-04
F4R4= 1.1455823E-04 F5R4= 1.1455818E-04
F5R5= 2.0526586E-06 FUR5= 2.0535115E-06

CF1R1= 1.8626056E-04 CF2R1= 1.8626057E-04
CF2R2= 1.7340880E-04 CF3R2= 1.7340880E-04
CF3R3= 1.4782172E-04 CF4R3= 1.4782170E-04
CF4R4= 1.1455823E-04 CF5R4= 1.1455834E-04
CF5R5= 2.0534810E-06

b) VALORES CALCULADOS-FBR1OUTSIS-1Gp de Energia-5,87% de Vazio-Região "A"

T=423K

ETR1= 0.1589860 EAB1= 3.3640901E-03 VFI1= 1.2941500E-03

ETR2= 0.1920600 EAB2= 6.9145500E-03 VFI2= 1.2352600E-02

ETR3= 0.1872540 EAB3= 7.8913504E-03 VFI3= 1.5737999E-02

ETR4= 0.1824090 EAB4= 9.0225702E-03 VFI4= 1.9605400E-02

ETR5= 0.2132460 EAB5= 3.9315401E-03 VFI5= 1.3756800E-03

XKEF= 1.201524

D1= 2.096621 XKI1= 3.3027306E-02 D3= 1.780113 XKI3= 5.4084215E-02

D2= 1.735569 XKI2= 4.4040348E-02 D4= 1.827395 XKI4= 6.3180454E-02

D5= 1.563140 XKI5= 4.2221915E-02

R1= 20.58200 R2= 35.58300 R3= 42.35400 R4= 48.39500 R5= 94.42900

DIF= -7.8230663E-08

XI1= 1262.879 XI2= 4961.211 XI3= 1558.727

XI4= 2824.524 XI5= -1701.172 XI6= 915.0760

XI7= -3299.141 XI8= 537917.6 XI9= 540045.4

FAB1= 1.36024 FAB2= 54.68030 FAB3= 51.50636

FAB4= 63.17779 FAB5= 17.29386 X250=188.0185

FUG1= -2.88821 FUG2= 17.90393 FUG3= 20.47540

FUG4= 28.24354 FUG5= -42.09017 FUGT= 0.1151190

C1= 5.3186244E-03 C3= 6.2029045E-03 C4 = -1.5947556E-03

C5= 5.3406283E-03 C6= -3.4267902E-03 C7 = 3.4669517E-03

C8= -5.2803191E-03 C9= -4.3533783E-02 C10= 4.3511011E-02

ABX1= 2.2595856E-02 ABX2= 0.1955997 ABX3= 0.1650420

ABX4= 0.1858022 ABX5= 0.3158448 ABTOT= 0.8848845 FUAB= 0.1151155

XEF1= 8.6925225E-03 XEF2= 0.3494320 XEF3= 0.3291491

XEF4= 0.4037348 XEF5= 0.1105168 XKEFC= 1.201525

F1R0= 1.7565984E-04

F1R1= 1.8950415E-04 F2R1= 1.8950414E-04

F2R2= 1.7415472E-04 F3R2= 1.7415472E-04

F3R3= 1.4815119E-04 F4R3= 1.4815119E-04

F4R4= 1.1473305E-04 F5R4= 1.1473278E-04

F5R5= 2.0538603E-06 FUR5= 2.0546745E-06

CF1R1= 1.8950415E-04 CF2R1= 1.8950414E-04

CF2R2= 1.7415473E-04 CF3R2= 1.7415472E-04

CF3R3= 1.4815119E-04 CF4R3= 1.4815119E-04

CF4R4= 1.1473305E-04 CF5R4= 1.1473294E-04

CF5R5= 2.0545722E-06

ALFA= 7.7067752E-04 XKEF0= 1.196983 VzNa= 5.870000

c) VALORES CALCULADOS-FBR1OUTSIS-1Gp de Energia-5,87% de Vazio-Região “B”

T=423K

ETR1= 0.2132460 EAB1= 3.9315401E-03 VFI1= 1.3756800E-03
 ETR2= 0.1785310 EAB2= 6.7754202E-03 VFI2= 1.2300500E-02
 ETR3= 0.1872540 EAB3= 7.8913504E-03 VFI3= 1.5737999E-02
 ETR4= 0.1824090 EAB4= 9.0225702E-03 VFI4= 1.9605400E-02
 ETR5= 0.2132460 EAB5= 3.9315401E-03 VFI5= 1.3756800E-03
 XKEF= 1.200514
 D1= 1.563140 XKI1= 4.2214617E-02 D3= 1.780113 XKI3= 5.4141417E-02
 D2= 1.867089 XKI2= 4.3114189E-02 D4= 1.827395 XKI4= 6.3239872E-02
 D5= 1.563140 XKI5= 4.2214617E-02
 R1= 20.58200 R2= 35.58300 R3= 42.35400 R4= 48.39500 R5= 94.42900
 DIF= -3.7377131E-08
 XI1= 1661.323 XI2= 4921.590 XI3= 1691.583
 XI4= 2820.681 XI5= -1707.459 XI6= 906.1539
 XI7= -3301.562 XI8= 537601.2 XI9= 539730.1
 FAB1= 1.90373 FAB2= 73.62742 FAB3= 70.14596
 FAB4= 86.06650 FAB5= 23.56321 X250=255.3068
 FUG1= -4.62783 FUG2= 24.93961 FUG3= 27.92076
 FUG4= 38.51591 FUG5= -57.28062 FUGT= 0.1154212
 C1= 3.9168559E-03 C3= 6.2715444E-03 C4 = -1.6077548E-03
 C5= 5.3403447E-03 C6= -3.4524871E-03 C7 = 3.4569411E-03
 C8= -5.3035575E-03 C9= -4.3626063E-02 C10= 4.3603212E-02
 ABX1= 2.5583172E-02 ABX2= 0.1907032 ABX3= 0.1653900
 ABX4= 0.1862488 ABX5= 0.3166506 ABTOT= 0.8845757 FUAB= 0.1154243
 XEF1= 8.9517739E-03 XEF2= 0.3462138 XEF3= 0.3298432
 XEF4= 0.4047053 XEF5= 0.1107988 XKEFC= 1.200513

F1R0= 1.6534857E-04
F1R1= 1.8695227E-04 F2R1= 1.8695227E-04
F2R2= 1.7447646E-04 F3R2= 1.7447647E-04
F3R3= 1.4849281E-04 F4R3= 1.4849281E-04
F4R4= 1.1501546E-04 F5R4= 1.1501534E-04
F5R5= 2.0599155E-06 FUR5= 2.0601863E-06

CF1R1= 1.8695227E-04 CF2R1= 1.8695227E-04
CF2R2= 1.7447646E-04 CF3R2= 1.7447646E-04
CF3R3= 1.4849281E-04 CF4R3= 1.4849281E-04
CF4R4= 1.1501546E-04 CF5R4= 1.1501530E-04
CF5R5= 2.0600664E-06

ALFA= 5.9976045E-04 XKEF0= 1.196983 VzNa= 5.870000

d) VALORES CALCULADOS-FBR1OUTSIS-1Gp de Energia-5,87% de Vazio-Região "C"

T=423K

ETR1= 0.2132460 EAB1= 3.9315401E-03 VFI1= 1.3756800E-03

ETR2= 0.1920600 EAB2= 6.9145500E-03 VFI2= 1.2352600E-02

ETR3= 0.1732030 EAB3= 7.7578500E-03 VFI3= 1.5709400E-02

ETR4= 0.1824090 EAB4= 9.0225702E-03 VFI4= 1.9605400E-02

ETR5= 0.2132460 EAB5= 3.9315401E-03 VFI5= 1.3756800E-03

XKEF= 1.197860

D1= 1.563140 XKI1= 4.2195376E-02 D3= 1.924524 XKI3= 5.2757859E-02

D2= 1.735569 XKI2= 4.4245582E-02 D4= 1.827395 XKI4= 6.3396230E-02

D5= 1.563140 XKI5= 4.2195376E-02

R1= 20.58200 R2= 35.58300 R3= 42.35400 R4= 48.39500 R5= 94.42900

DIF= -4.1626649E-09

XI1= 1660.454 XI2= 4969.498 XI3= 1529.156

XI4= 2909.629 XI5= -1553.016 XI6= 882.6460

XI7= -3307.818 XI8= 536768.0 XI9= 538899.6

FAB1= 1.90694 FAB2= 74.10427 FAB3= 70.43990

FAB4= 87.21708 FAB5= 23.88766 X250=257.5558

FUG1= -4.62119 FUG2= 24.41589 FUG3= 28.77152

FUG4= 39.13733 FUG5= -57.88816 FUGT= 0.1157628

C1= 3.8826531E-03 C3= 6.1321827E-03 C4 = -1.6825501E-03

C5= 5.3763841E-03 C6= -3.3553613E-03 C7 = 3.4163534E-03

C8= -5.3432719E-03 C9= -4.3693718E-02 C10= 4.3670747E-02

ABX1= 2.5346512E-02 ABX2= 0.1929228 ABX3= 0.1617839

ABX4= 0.1866770 ABX5= 0.3175113 ABTOT= 0.8842413 FUAB= 0.1157587

XEF1= 8.8689644E-03 XEF2= 0.3446497 XEF3= 0.3276072

XEF4= 0.4056357 XEF5= 0.1110999 XKEFC= 1.197862

F1R0= 1.6383000E-04
F1R1= 1.8521505E-04 F2R1= 1.8521505E-04
F2R2= 1.7250345E-04 F3R2= 1.7250345E-04
F3R3= 1.4879566E-04 F4R3= 1.4879566E-04
F4R4= 1.1529741E-04 F5R4= 1.1529762E-04
F5R5= 2.0667765E-06 FUR5= 2.0661546E-06

CF1R1= 1.8521505E-04 CF2R1= 1.8521505E-04
CF2R2= 1.7250345E-04 CF3R2= 1.7250347E-04
CF3R3= 1.4879566E-04 CF4R3= 1.4879566E-04
CF4R4= 1.1529741E-04 CF5R4= 1.1529760E-04
CF5R5= 2.0668767E-06

ALFA= 1.4929824E-04 XKEF0= 1.196983 VzNa= 5.870000

e) VALORES CALCULADOS-FBR1OUTSIS-1Gp de Energia-5,87% de Vazio-Região “D”

T=423K

ETR1= 0.2132460 EAB1= 3.9315401E-03 VFI1= 1.3756800E-03

ETR2= 0.1920600 EAB2= 6.9145500E-03 VFI2= 1.2352600E-02

ETR3= 0.1872540 EAB3= 7.8913504E-03 VFI3= 1.5737999E-02

ETR4= 0.1713790 EAB4= 8.9284098E-03 VFI4= 1.9608799E-02

ETR5= 0.2132460 EAB5= 3.9315401E-03 VFI5= 1.3756800E-03

XKEF= 1.194756

D1= 1.563140 XKI1= 4.2172752E-02 D3= 1.780113 XKI3= 5.4468196E-02

D2= 1.735569 XKI2= 4.4419680E-02 D4= 1.945007 XKI4= 6.2030558E-02

D5= 1.563140 XKI5= 4.2172752E-02

R1= 20.58200 R2= 35.58300 R3= 42.35400 R4= 48.39500 R5= 94.42900

DIF= 5.0540983E-08

XI1= 1659.433 XI2= 4976.384 XI3= 1504.036

XI4= 2798.464 XI5= -1743.211 XI6= 1086.379

XI7= -3247.555 XI8= 535790.0 XI9= 537924.9

FAB1= 1.91072 FAB2= 74.20149 FAB3= 70.18420

FAB4= 86.72523 FAB5= 23.94994 X250=256.9716

FUG1= -4.61340 FUG2= 24.57685 FUG3= 28.13861

FUG4= 39.54633 FUG5= -57.82665 FUGT= 0.1160507

C1= 3.8914809E-03 C3= 6.1232047E-03 C4 = -1.6906966E-03

C5= 5.2357456E-03 C6= -3.4889628E-03 C7 = 3.5371834E-03

C8= -5.1486054E-03 C9= -4.3733075E-02 C10= 4.3709982E-02

ABX1= 2.5388511E-02 ABX2= 0.1931134 ABX3= 0.1636196

ABX4= 0.1835958 ABX5= 0.3182279 ABTOT= 0.8839452 FUAB= 0.1160548

XEF1= 8.8836607E-03 XEF2= 0.3449902 XEF3= 0.3263123

XEF4= 0.4032178 XEF5= 0.1113507 XKEFC= 1.194755

F1R0= 1.6411446E-04
F1R1= 1.8551281E-04 F2R1= 1.8551281E-04
F2R2= 1.7253918E-04 F3R2= 1.7253916E-04
F3R3= 1.4691942E-04 F4R3= 1.4691944E-04
F4R4= 1.1552378E-04 F5R4= 1.1552373E-04
F5R5= 2.0726973E-06 FUR5= 2.0714399E-06

CF1R1= 1.8551281E-04 CF2R1= 1.8551279E-04
CF2R2= 1.7253918E-04 CF3R2= 1.7253916E-04
CF3R3= 1.4691944E-04 CF4R3= 1.4691944E-04
CF4R4= 1.1552378E-04 CF5R4= 1.1552354E-04
CF5R5= 2.0718951E-06

ALFA= -3.8008511E-04 XKEF0= 1.196983 VzNa= 5.870000

APÊNDICE D – RESULTADOS - DOIS GRUPOS DE ENERGIA

a) VALORES CALCULADOS-FBR2OUTSIS-2Gp de Energia-SemVazio

T=623K

AET1= 9.7071700E-02 AEA1= 5.6466800E-03 AVF1= 1.3767500E-02 ACH1= 0.5681220
BET1= 9.7403400E-02 BEA1= 8.9806803E-03 BVF1= 2.5258999E-02 BCH1= 0.5907200
CET1= 9.7552903E-02 CEA1= 1.0042800E-02 CVF1= 2.8943401E-02 CCH1= 0.5909200
DET1= 9.7693801E-02 DEA1= 1.1238200E-02 DVF1= 3.3098400E-02 DCH1= 0.5910510
EET1= 9.7071700E-02 EEA1= 5.6466800E-03 EVF1= 1.3767500E-02 ECH1= 0.5681220

AET2= 0.2310380 AEA2= 3.8785201E-03 AVF2= 5.5029400E-04 ACH2= 0.4318780
BET2= 0.2177060 BEA2= 6.6802199E-03 BVF2= 1.0766600E-02 BCH2= 0.4092800
CET2= 0.2147820 CEA2= 7.6043098E-03 CVF2= 1.3884200E-02 CCH2= 0.4090800
DET2= 0.2119960 DEA2= 8.6760502E-03 DVF2= 1.7426800E-02 DCH2= 0.4089490
EET2= 0.2310380 EEA2= 3.8785201E-03 EVF2= 5.5029400E-04 ECH2= 0.4318780

AS12= 3.1366799E-02 BS12= 2.8838800E-02 CS12= 2.8106401E-02
DS12= 2.7253799E-02 ES12= 3.1366799E-02

R1= 20.58200 R2= 35.58300 R3= 42.35400 R4= 48.39500 R5= 94.42900

XK1= 9.5694534E-02 XK2= 4.7521003E-02 XK3= 0.1068864 XMU1= 4.5713659E-02
XK4= 0.1089911 XMU2= 5.5609312E-02 XK5= 0.1110424 XMU3= 6.4448848E-02
XK6= 9.5694534E-02 XK7= 4.7521003E-02

C1 = 1.1093600E-04 C3 = 5.0161794E-05 C5 = -4.2312633E-04 C7 = 4.3344670E-03
C9 = 8.3979749E-04 C10= -2.4665793E-04 C11= 8.4355823E-04 C12= -8.4196834E-04
C13= 5.0997981E-03 C14= -1.4978678E-03 C15= -2.1808613E-03 C16= 2.1767511E-03
C17= 8.2157948E-04 C18= -5.6117354E-04 C19= 3.5776412E-03 C20= -3.5790331E-03
C21= 4.0955264E-03 C22= -2.7974178E-03 C23= -8.7253600E-03 C24= 8.7287547E-03
C25= 5.9755211E-04 C26= -9.3910546E-04 C27= 1.1065317E-02 C28= -1.1067626E-02
C29= 2.5027490E-03 C30= -3.9332891E-03 C31= -2.5594797E-02 C32= 2.5600137E-02
C33= -5.8763716E-02 C34= 5.8763716E-02 C35= -7.9926051E-04 C36= 7.9912401E-04
C37= 0.2241335 C38= -0.2241335 C39= -6.9063887E-02 C40= 6.9052085E-02

F1A1R0= 1.2999708E-05 F2A2R0= 1.6548733E-04
 F1A1R1= 2.1723192E-05 F2A2R1= 1.6818334E-04
 F1B1R1= 2.1723183E-05 F2B2R1= 1.6818337E-04
 F1B1R2= 2.4425080E-05 F2B2R2= 1.4422169E-04
 F1C1R2= 2.4425262E-05 F2C2R2= 1.4422127E-04
 F1C1R3= 2.0592241E-05 F2C2R3= 1.2118864E-04
 F1D1R3= 2.0591486E-05 F2D2R3= 1.2119042E-04
 F1D1R4= 1.3473132E-05 F2D2R4= 9.6771757E-05
 F1E1R4= 1.3473727E-05 F2E2R4= 9.6769487E-05
 F1E1R5= 3.0980829E-08 F2E2R5= 1.7805222E-06
 F1PR5 = 1.6247104E-07 F2PR5 = 1.7970256E-06

 XJA1R1= -3.4504319E-06 XJA2R1= 2.4610861E-07
 XJB1R1= -3.4504296E-06 XJB2R1= 2.4610554E-07
 XJB1R2= 9.1269175E-07 XJB2R2= 4.4711755E-06
 XJC1R2= 9.1264258E-07 XJC2R2= 4.4712301E-06
 XJC1R3= 2.7908141E-06 XJC2R3= 5.9612007E-06
 XJD1R3= 2.7910403E-06 XJD2R3= 5.9609579E-06
 XJD1R4= 5.1159645E-06 XJD2R4= 6.5477966E-06
 XJE1R4= 5.1157822E-06 XJE2R4= 6.5480335E-06
 XJE1R5= 2.7150682E-08 XJE2R5= 9.8573651E-07

 ABA1= 3.7053344E-03 ABA2= 2.3773177E-02
 ABB1= 3.3812936E-02 ABB2= 0.1601947
 ABC1= 2.9536251E-02 ABC2= 0.1305947
 ABD1= 3.0285241E-02 ABD2= 0.1475186
 ABE1= 3.0013472E-02 ABE2= 0.3007824
 ABT1= 0.1273532 ABT2= 0.7628637 ABTO= 0.8902169

 FGT1= 9.1026239E-03 FGT2= 0.1006804 FGTO= 0.1097830 ABFG= 1.000000

 XKEFA1= 9.0341922E-03 XKEFA2= 3.3729970E-03
 XKEFB1= 9.5102035E-02 XKEFB2= 0.2581880
 XKEFC1= 8.5123628E-02 XKEFC2= 0.2384442 DIF= 6.7242395E-06
 XKEFD1= 8.9195162E-02 XKEFD2= 0.2963074
 XKEFE1= 7.3177598E-02 XKEFE2= 4.2675752E-02
 XKEF1 = 0.3516326 XKEF2= 0.8389883

 XKEFC= 1.190621 XKEF= 1.190620

b) VALORES CALCULADOS-FBR2OUTSIS-2Gp de Energia-Vazio Região "A"

T=623K

AET1= 7.3633902E-02 AEA1= 5.6421398E-03 AVF1= 1.3869700E-02 ACH1= 0.5681200
 BET1= 9.7403601E-02 BEA1= 8.9806803E-03 BVF1= 2.5258999E-02 BCH1= 0.5907190
 CET1= 9.7553097E-02 CEA1= 1.0042800E-02 CVF1= 2.8943401E-02 CCH1= 0.5909200
 DET1= 9.7694002E-02 DEA1= 1.1238200E-02 DVF1= 3.3098400E-02 DCH1= 0.5910510
 EET1= 9.7071700E-02 EEA1= 5.6466800E-03 EVF1= 1.3767500E-02 ECH1= 0.5681220

 AET2= 0.1722390 AEA2= 3.2504301E-03 AVF2= 4.4542001E-04 ACH2= 0.4318800
 BET2= 0.2177160 BEA2= 6.6640102E-03 BVF2= 1.0787600E-02 BCH2= 0.4092810
 CET2= 0.2147990 CEA2= 7.5913202E-03 CVF2= 1.3896400E-02 CCH2= 0.4090800
 DET2= 0.2120140 DEA2= 8.6658001E-03 DVF2= 1.7432701E-02 DCH2= 0.4089490
 EET2= 0.2310380 EEA2= 3.8785201E-03 EVF2= 5.5029400E-04 ECH2= 0.4318780

 AS12= 2.5196200E-02 BS12= 2.8838800E-02 CS12= 2.8106401E-02
 DS12= 2.7253799E-02 ES12= 3.1366799E-02

 R1= 20.58200 R2= 35.58300 R3= 42.35400 R4= 48.39500 R5= 94.42900

 XK1= 7.4455328E-02 XK2= 3.7577789E-02 XK3= 0.1068861 XMU1= 4.5476876E-02
 XK4= 0.1089800 XMU2= 5.5289526E-02 XK5= 0.1110256 XMU3= 6.4074256E-02
 XK6= 9.5742501E-02 XK7= 4.7554675E-02

 C1 = 1.8318988E-04 C3 = 7.0896764E-05 C5 = -7.2417938E-04 C7 = 5.9963958E-03
 C9 = 8.4327976E-04 C10= -2.2880307E-04 C11= 7.7489420E-04 C12= -7.7330472E-04
 C13= 5.1423041E-03 C14= -1.3952368E-03 C15= -2.0005247E-03 C16= 1.9964210E-03
 C17= 8.3285326E-04 C18= -5.4314133E-04 C19= 3.5248958E-03 C20= -3.5262827E-03
 C21= 4.1690837E-03 C22= -2.7188484E-03 C23= -8.5924454E-03 C24= 8.5958261E-03
 C25= 6.1816181E-04 C26= -9.2463440E-04 C27= 1.1026653E-02 C28= -1.1028955E-02
 C29= 2.5992326E-03 C30= -3.8878815E-03 C31= -2.5507987E-02 C32= 2.5513312E-02
 C33= -5.8782939E-02 C34= 5.8782939E-02 C35= -7.9437171E-04 C36= 7.9422200E-04
 C37= 0.2237383 C38= -0.2237383 C39= -6.9145568E-02 C40= 6.9132537E-02

F1A1R0= 1.6303607E-05 F2A2R0= 1.7141229E-04
 F1A1R1= 2.2578741E-05 F2A2R1= 1.7083419E-04
 F1B1R1= 2.2578770E-05 F2B2R1= 1.7083413E-04
 F1B1R2= 2.4493696E-05 F2B2R2= 1.4487769E-04
 F1C1R2= 2.4493011E-05 F2C2R2= 1.4487936E-04
 F1C1R3= 2.0561485E-05 F2C2R3= 1.2137420E-04
 F1D1R3= 2.0561065E-05 F2D2R3= 1.2137512E-04
 F1D1R4= 1.3426692E-05 F2D2R4= 9.6760494E-05
 F1E1R4= 1.3435356E-05 F2E2R4= 9.6728043E-05
 F1E1R5= 2.3646603E-08 F2E2R5= 2.0584991E-06
 F1PR5 = 2.6130463E-08 F2PR5 = 2.0803550E-06

 XJA1R1= -3.0720819E-06 XJA2R1= 4.9944799E-07
 XJB1R1= -3.0720871E-06 XJB2R1= 4.9945538E-07
 XJB1R2= 9.8702287E-07 XJB2R2= 4.6116388E-06
 XJC1R2= 9.8721057E-07 XJC2R2= 4.6114305E-06
 XJC1R3= 2.8192726E-06 XJC2R3= 6.0390212E-06
 XJD1R3= 2.8194029E-06 XJD2R3= 6.0388884E-06
 XJD1R4= 5.1080988E-06 XJD2R4= 6.5773743E-06
 XJE1R4= 5.1058855E-06 XJE2R4= 6.5809299E-06
 XJE1R5= 8.3866077E-08 XJE2R5= 7.9265573E-07

 ABA1= 4.1109342E-03 ABA2= 2.0348424E-02
 ABB1= 3.4216691E-02 ABB2= 0.1612077
 ABC1= 2.9547179E-02 ABC2= 0.1307505
 ABD1= 3.0202517E-02 ABD2= 0.1474416
 ABE1= 3.1229034E-02 ABE2= 0.2929273
 ABT1= 0.1293064 ABT2= 0.7526755 ABTO= 0.8819818

 FGT1= 1.4639888E-03 FGT2= 0.1165542 FGTO= 0.1180182 ABFG= 1.000000

 XKEFA1= 1.0105639E-02 XKEFA2= 2.7884296E-03
 XKEFB1= 9.6237630E-02 XKEFB2= 0.2609606
 XKEFC1= 8.5155122E-02 XKEFC2= 0.2393472 DIF= 1.8629719E-06
 XKEFD1= 8.8951521E-02 XKEFD2= 0.2966033
 XKEFE1= 7.6141335E-02 XKEFE2= 4.1561253E-02
 XKEF1 = 0.3565913 XKEF2= 0.8412607

 XKEFC= 1.197852 XKEF= 1.197851

 ALFA= 8.6374223E-02 XKEF0= 1.190620 VzNa= 5.870000

c) VALORES CALCULADOS-FBR2OUTSIS-2Gp de Energia-Vazio Região "B"

T=623K

AET1= 9.7071700E-02 AEA1= 5.6466800E-03 AVF1= 1.3767500E-02 ACH1= 0.5681220
 BET1= 9.1052301E-02 BEA1= 8.9714602E-03 BVF1= 2.5269501E-02 BCH1= 0.5907200
 CET1= 9.7552903E-02 CEA1= 1.0042800E-02 CVF1= 2.8943401E-02 CCH1= 0.5909200
 DET1= 9.7693801E-02 DEA1= 1.1238200E-02 DVF1= 3.3098400E-02 DCH1= 0.5910510
 EET1= 9.7071700E-02 EEA1= 5.6466800E-03 EVF1= 1.3767500E-02 ECH1= 0.5681220

 AET2= 0.2310380 AEA2= 3.8785201E-03 AVF2= 5.5029400E-04 ACH2= 0.4318780
 BET2= 0.2028340 BEA2= 6.5160799E-03 BVF2= 1.0665500E-02 BCH2= 0.4092810
 CET2= 0.2147820 CEA2= 7.6043098E-03 CVF2= 1.3884200E-02 CCH2= 0.4090800
 DET2= 0.2119960 DEA2= 8.6760502E-03 DVF2= 1.7426800E-02 DCH2= 0.4089490
 EET2= 0.2310380 EEA2= 3.8785201E-03 EVF2= 5.5029400E-04 ECH2= 0.4318780

 AS12= 3.1366799E-02 BS12= 2.7176900E-02 CS12= 2.8106401E-02
 DS12= 2.7253799E-02 ES12= 3.1366799E-02

 R1= 20.58200 R2= 35.58300 R3= 42.35400 R4= 48.39500 R5= 94.42900

 XK1= 9.5713727E-02 XK2= 4.7534492E-02 XK3= 0.1009090 XMU1= 4.4557322E-02
 XK4= 0.1089874 XMU2= 5.5443749E-02 XK5= 0.1110377 XMU3= 6.4278901E-02
 XK6= 9.5713727E-02 XK7= 4.7534492E-02

 C1 = 1.1419784E-04 C3 = 5.0249080E-05 C5 = -4.3520299E-04 C7 = 4.3547284E-03
 C9 = 8.7502046E-04 C10= -2.4022350E-04 C11= 7.5572543E-04 C12= -7.5448328E-04
 C13= 5.1235477E-03 C14= -1.4065916E-03 C15= -1.9521770E-03 C16= 1.9489683E-03
 C17= 8.3007093E-04 C18= -5.5320415E-04 C19= 3.2095821E-03 C20= -3.2109800E-03
 C21= 4.1444800E-03 C22= -2.7621055E-03 C23= -7.8291828E-03 C24= 7.8325933E-03
 C25= 6.0919212E-04 C26= -9.3480508E-04 C27= 1.0694783E-02 C28= -1.0697097E-02
 C29= 2.5552120E-03 C30= -3.9209719E-03 C31= -2.4744013E-02 C32= 2.4749365E-02
 C33= -5.9123922E-02 C34= 5.9123922E-02 C35= -7.9988729E-04 C36= 7.9973688E-04
 C37= 0.2253187 C38= -0.2253187 C39= -6.9320507E-02 C40= 6.9307469E-02

F1A1R0= 1.3318865E-05 F2A2R0= 1.6534490E-04
 F1A1R1= 2.2293985E-05 F2A2R1= 1.6730391E-04
 F1B1R1= 2.2293987E-05 F2B2R1= 1.6730389E-04
 F1B1R2= 2.4735033E-05 F2B2R2= 1.4443080E-04
 F1C1R2= 2.4735236E-05 F2C2R2= 1.4443032E-04
 F1C1R3= 2.0711892E-05 F2C2R3= 1.2138404E-04
 F1D1R3= 2.0712940E-05 F2D2R3= 1.2138164E-04
 F1D1R4= 1.3517842E-05 F2D2R4= 9.6905518E-05
 F1E1R4= 1.3530912E-05 F2E2R4= 9.6856602E-05
 F1E1R5= 2.4981375E-07 F2E2R5= 2.1042620E-06
 F1PR5 = 3.1907554E-08 F2PR5 = 2.0787247E-06

 XJA1R1= -3.5506871E-06 XJA2R1= 3.7335420E-07
 XJB1R1= -3.5506869E-06 XJB2R1= 3.7335442E-07
 XJB1R2= 1.0526236E-06 XJB2R2= 4.4528633E-06
 XJC1R2= 1.0525678E-06 XJC2R2= 4.4529252E-06
 XJC1R3= 2.8539646E-06 XJC2R3= 5.9760800E-06
 XJD1R3= 2.8536510E-06 XJD2R3= 5.9764129E-06
 XJD1R4= 5.1466191E-06 XJD2R4= 6.5611389E-06
 XJE1R4= 5.1432517E-06 XJE2R4= 6.5664913E-06
 XJE1R5= 2.7992609E-08 XJE2R5= 1.0192433E-06

 ABA1= 3.8006317E-03 ABA2= 2.3694346E-02
 ABB1= 3.4330860E-02 ABB2= 0.1556757
 ABC1= 2.9792156E-02 ABC2= 0.1308051
 ABD1= 3.0418867E-02 ABD2= 0.1477295
 ABE1= 3.1428907E-02 ABE2= 0.2940733
 ABT1= 0.1297714 ABT2= 0.7519780 ABTO= 0.8817494

 FGT1= 1.7876569E-03 FGT2= 0.1164629 FGTO= 0.1182506 ABFG= 0.9999999

 XKEFA1= 9.2665423E-03 XKEFA2= 3.3618123E-03
 XKEFB1= 9.6698157E-02 XKEFB2= 0.2548095
 XKEFC1= 8.5861146E-02 XKEFC2= 0.2388283 DIF= -3.6333800E-05
 XKEFD1= 8.9588709E-02 XKEFD2= 0.2967309
 XKEFE1= 7.6628655E-02 XKEFE2= 4.1723847E-02
 XKEF1 = 0.3580432 XKEF2= 0.8354543

 XKEFC= 1.193498 XKEF= 1.193503

 ALFA= 3.4563795E-02 XKEF0= 1.190620 VzNa= 5.870000

d) VALORES CALCULADOS-FBR2OUTSIS-2Gp de Energia-Vazio Região "C"

T=623K

AET1= 9.7071700E-02 AEA1= 5.6466800E-03 AVF1= 1.3767500E-02 ACH1= 0.5681220
 BET1= 9.7403400E-02 BEA1= 8.9806803E-03 BVF1= 2.5258999E-02 BCH1= 0.5907200
 CET1= 9.0837397E-02 CEA1= 1.0031100E-02 CVF1= 2.8950701E-02 CCH1= 0.5909190
 DET1= 9.7693801E-02 DEA1= 1.1238200E-02 DVF1= 3.3098400E-02 DCH1= 0.5910510
 EET1= 9.7071700E-02 EEA1= 5.6466800E-03 EVF1= 1.3767500E-02 ECH1= 0.5681220

 AET2= 0.2310380 AEA2= 3.8785201E-03 AVF2= 5.5029400E-04 ACH2= 0.4318780
 BET2= 0.2177060 BEA2= 6.6802199E-03 BVF2= 1.0766600E-02 BCH2= 0.4092800
 CET2= 0.1992850 CEA2= 7.4410900E-03 CVF2= 1.3787800E-02 CCH2= 0.4090810
 DET2= 0.2119960 DEA2= 8.6760502E-03 DVF2= 1.7426800E-02 DCH2= 0.4089490
 EET2= 0.2310380 EEA2= 3.8785201E-03 EVF2= 5.5029400E-04 ECH2= 0.4318780

 AS12= 3.1366799E-02 BS12= 2.8838800E-02 CS12= 2.6354499E-02
 DS12= 2.7253799E-02 ES12= 3.1366799E-02

 R1= 20.58200 R2= 35.58300 R3= 42.35400 R4= 48.39500 R5= 94.42900

 XK1= 9.5694102E-02 XK2= 4.7520701E-02 XK3= 0.1068865 XMU1= 4.5717347E-02
 XK4= 0.1026496 XMU2= 5.4045539E-02 XK5= 0.1110425 XMU3= 6.4452618E-02
 XK6= 9.5694102E-02 XK7= 4.7520701E-02

 C1 = 1.1063790E-04 C3 = 4.9844348E-05 C5 = -4.2199722E-04 C7 = 4.3067550E-03
 C9 = 8.3398388E-04 C10= -2.4489409E-04 C11= 8.3776761E-04 C12= -8.3583832E-04
 C13= 5.0642970E-03 C14= -1.4870986E-03 C15= -2.1658859E-03 C16= 2.1608979E-03
 C17= 8.5949735E-04 C18= -5.5159512E-04 C19= 3.2395544E-03 C20= -3.2417334E-03
 C21= 4.1113114E-03 C22= -2.6384946E-03 C23= -7.8816675E-03 C24= 7.8869686E-03
 C25= 6.0075911E-04 C26= -9.4337005E-04 C27= 1.0277477E-02 C28= -1.0279792E-02
 C29= 2.5160997E-03 C30= -3.9510229E-03 C31= -2.3772338E-02 C32= 2.3777695E-02
 C33= -5.9454013E-02 C34= 5.9454013E-02 C35= -8.0419064E-04 C36= 8.0404128E-04
 C37= 0.2267707 C38= -0.2267707 C39= -6.9485351E-02 C40= 6.9472447E-02

F1A1R0= 1.2956033E-05 F2A2R0= 1.6427737E-04
 F1A1R1= 2.1654490E-05 F2A2R1= 1.6683766E-04
 F1B1R1= 2.1654456E-05 F2B2R1= 1.6683777E-04
 F1B1R2= 2.4477558E-05 F2B2R2= 1.4265043E-04
 F1C1R2= 2.4478091E-05 F2C2R2= 1.4264914E-04
 F1C1R3= 2.0871961E-05 F2C2R3= 1.2133086E-04
 F1D1R3= 2.0873591E-05 F2D2R3= 1.2132707E-04
 F1D1R4= 1.3621497E-05 F2D2R4= 9.6999371E-05
 F1E1R4= 1.3621615E-05 F2E2R4= 9.6999058E-05
 F1E1R5= 2.5515062E-08 F2E2R5= 2.2022202E-06
 F1PR5 = 3.2951213E-08 F2PR5 = 2.0720940E-06

 XJA1R1= -3.4405946E-06 XJA2R1= 2.6431366E-07
 XJB1R1= -3.4405871E-06 XJB2R1= 2.6430604E-07
 XJB1R2= 8.4759517E-07 XJB2R2= 4.5108895E-06
 XJC1R2= 8.4745022E-07 XJC2R2= 4.5110519E-06
 XJC1R3= 2.8881159E-06 XJC2R3= 5.9087561E-06
 XJD1R3= 2.8876311E-06 XJD2R3= 5.9092745E-06
 XJD1R4= 5.1756001E-06 XJD2R4= 6.5476079E-06
 XJE1R4= 5.1755937E-06 XJE2R4= 6.5476579E-06
 XJE1R5= 2.8029246E-08 XJE2R5= 1.0174463E-06

 ABA1= 3.6933818E-03 ABA2= 2.3590121E-02
 ABB1= 3.3780884E-02 ABB2= 0.1587089
 ABC1= 2.9730950E-02 ABC2= 0.1270827
 ABD1= 3.0649012E-02 ABD2= 0.1477901
 ABE1= 3.1618569E-02 ABE2= 0.2954178
 ABT1= 0.1294728 ABT2= 0.7525896 ABTO= 0.8820624

 FGT1= 1.8461291E-03 FGT2= 0.1160914 FGTO= 0.1179375 ABFG= 1.000000

 XKEFA1= 9.0050502E-03 XKEFA2= 3.3470246E-03
 XKEFB1= 9.5011882E-02 XKEFB2= 0.2557932
 XKEFC1= 8.5806318E-02 XKEFC2= 0.2354751 DIF= -2.1287001E-06
 XKEFD1= 9.0266526E-02 XKEFD2= 0.2968526
 XKEFE1= 7.7091083E-02 XKEFE2= 4.1914608E-02
 XKEF1 = 0.3571809 XKEF2= 0.8333825

 XKEFC= 1.190563 XKEF= 1.190556

 ALFA= -7.6791615E-04 XKEF0= 1.190620 VzNa= 5.870000

e) VALORES CALCULADOS-FBR2OUTSIS-2Gp de Energia-Vazio Região "D"

T=623K

AET1= 9.7071700E-02 AEA1= 5.6466800E-03 AVF1= 1.3767500E-02 ACH1= 0.5681220
 BET1= 9.7403400E-02 BEA1= 8.9806803E-03 BVF1= 2.5258999E-02 BCH1= 0.5907200
 CET1= 9.7552903E-02 CEA1= 1.0042800E-02 CVF1= 2.8943401E-02 CCH1= 0.5909200
 DET1= 9.2325799E-02 DEA1= 1.1227100E-02 DVF1= 3.3100698E-02 DCH1= 0.5910500
 EET1= 9.7071700E-02 EEA1= 5.6466800E-03 EVF1= 1.3767500E-02 ECH1= 0.5681220

 AET2= 0.2310380 AEA2= 3.8785201E-03 AVF2= 5.5029400E-04 ACH2= 0.4318780
 BET2= 0.2177060 BEA2= 6.6802199E-03 BVF2= 1.0766600E-02 BCH2= 0.4092800
 CET2= 0.2147820 CEA2= 7.6043098E-03 CVF2= 1.3884200E-02 CCH2= 0.4090800
 DET2= 0.1997910 DEA2= 8.5557103E-03 DVF2= 1.7362600E-02 DCH2= 0.4089500
 EET2= 0.2310380 EEA2= 3.8785201E-03 EVF2= 5.5029400E-04 ECH2= 0.4318780

 AS12= 3.1366799E-02 BS12= 2.8838800E-02 CS12= 2.8106401E-02
 DS12= 2.5856899E-02 ES12= 3.1366799E-02

 R1= 20.58200 R2= 35.58300 R3= 42.35400 R4= 48.39500 R5= 94.42900

 XK1= 9.5673643E-02 XK2= 4.7506295E-02 XK3= 0.1068888 XMU1= 4.5893777E-02
 XK4= 0.1089951 XMU2= 5.5788975E-02 XK5= 0.1059613 XMU3= 6.3050799E-02
 XK6= 9.5673643E-02 XK7= 4.7506295E-02

 C1 = 1.1060265E-04 C3 = 5.0107097E-05 C5 = -4.2223948E-04 C7 = 4.3160100E-03
 C9 = 8.3407777E-04 C10= -2.4644806E-04 C11= 8.4047514E-04 C12= -8.3884905E-04
 C13= 5.0554392E-03 C14= -1.4937496E-03 C15= -2.1726387E-03 C16= 2.1684354E-03
 C17= 8.1510248E-04 C18= -5.5975525E-04 C19= 3.5610825E-03 C20= -3.5624178E-03
 C21= 4.0561925E-03 C22= -2.7855088E-03 C23= -8.6832074E-03 C24= 8.6864624E-03
 C25= 6.3948007E-04 C26= -9.2597585E-04 C27= 9.8634195E-03 C28= -9.8664844E-03
 C29= 2.5870972E-03 C30= -3.7461519E-03 C31= -2.2744983E-02 C32= 2.2752052E-02
 C33= -5.9754699E-02 C34= 5.9754699E-02 C35= -8.0804806E-04 C36= 8.0789311E-04
 C37= 0.2281211 C38= -0.2281211 C39= -6.9601789E-02 C40= 6.9588438E-02

 F1A1R0= 1.2962160E-05 F2A2R0= 1.6464046E-04
 F1A1R1= 2.1653685E-05 F2A2R1= 1.6724686E-04
 F1B1R1= 2.1653683E-05 F2B2R1= 1.6724685E-04
 F1B1R2= 2.4324554E-05 F2B2R2= 1.4312129E-04
 F1C1R2= 2.4324176E-05 F2C2R2= 1.4312222E-04
 F1C1R3= 2.0498543E-05 F2C2R3= 1.1999280E-04
 F1D1R3= 2.0497271E-05 F2D2R3= 1.1999576E-04
 F1D1R4= 1.3696380E-05 F2D2R4= 9.7012911E-05

F1E1R4= 1.3704988E-05 F2E2R4= 9.6979333E-05
 F1E1R5= 2.3563967E-08 F2E2R5= 2.0304401E-06
 F1PR5 = 3.7445343E-08 F2PR5 = 2.0910622E-06

 XJA1R1= -3.4375259E-06 XJA2R1= 2.5722079E-07
 XJB1R1= -3.4375259E-06 XJB2R1= 2.5722019E-07
 XJB1R2= 9.1540011E-07 XJB2R2= 4.4914477E-06
 XJC1R2= 9.1550487E-07 XJC2R2= 4.4913299E-06
 XJC1R3= 2.7796334E-06 XJC2R3= 5.9852514E-06
 XJD1R3= 2.7800083E-06 XJD2R3= 5.9848462E-06
 XJD1R4= 5.2058726E-06 XJD2R4= 6.5268350E-06
 XJE1R4= 5.2036817E-06 XJE2R4= 6.5304384E-06
 XJE1R5= 2.8462294E-08 XJE2R5= 1.0299032E-06

 ABA1= 3.6938633E-03 ABA2= 2.3645384E-02
 ABB1= 3.3688676E-02 ABB2= 0.1591516
 ABC1= 2.9406041E-02 ABC2= 0.1294645
 ABD1= 3.0365027E-02 ABD2= 0.1448581
 ABE1= 3.1761538E-02 ABE2= 0.2947132
 ABT1= 0.1289151 ABT2= 0.7518328 ABTO= 0.8807479

 FGT1= 2.0979177E-03 FGT2= 0.1171541 FGTO= 0.1192521 ABFG= 1.000000

 XKEFA1= 9.0062236E-03 XKEFA2= 3.3548654E-03
 XKEFB1= 9.4752535E-02 XKEFB2= 0.2565068
 XKEFC1= 8.4748365E-02 XKEFC2= 0.2363805 DIF= 3.5646849E-06
 XKEFD1= 8.9524776E-02 XKEFD2= 0.2939690
 XKEFE1= 7.7439658E-02 XKEFE2= 4.1814633E-02
 XKEF1 = 0.3554716 XKEF2= 0.8320258

 XKEFC= 1.187497 XKEF= 1.187497

 ALFA= -3.7628584E-02 XKEF0= 1.190620 VzNa= 5.870000