

AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

# ANÁLISES NEUTRÔNICA E TERMO-HIDRÁULICA DE UM DISPOSITIVO PARA IRRADIAÇÃO DE ALVOS TIPO LEU DE UAI<sub>x</sub>-AI PARA PRODUÇÃO DE <sup>99</sup>Mo NO REATOR IEA-R1

Pedro Júlio Batista de Oliveira Nishiyama

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Reatores

Orientador: Prof. Dr. Antonio Teixeira e Silva

São Paulo 2012



## INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES

Autarquia Associada à Universidade de São Paulo

# ANÁLISES NEUTRÔNICA E TERMO-HIDRÁULICA DE UM DISPOSITIVO PARA IRRADIAÇÃO DE ALVOS TIPO LEU DE UAI<sub>x</sub>-AI PARA PRODUÇÃO DE <sup>99</sup>MO NO REATOR IEA-R1

Pedro Júlio Batista de Oliveira Nishiyama

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

Orientador: Dr. Antonio Teixeira e Silva

São Paulo 2012

Dedico este trabalho aos meus pais Julio e Célia e à minha irmã Yara. Sem eles nada disso teria acontecido.

#### AGRADECIMENTOS

Ao Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP) pelas horas que me foram concedidas.

Ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN-SP) pelo fornecimento de salas e equipamentos utilizados e aos professores da Comissão de Pós-Graduação que foram essenciais para meu aprendizado.

Ao Prof. Dr. Antonio Teixeira e Silva pela orientação, ensinamento e dedicação, bem como pelo incentivo e apoio que foram fundamentais para conciliar o mestrado com o trabalho.

Aos amigos do CEN que foram uma família na grande São Paulo e por tornarem esta etapa percorrida muito mais prazerosa: Rodrigo Viana, Felipe Cintra, Rafael Possani, Milena Giglioli, Talita Salles, Felipe Massicano, Paula Antunes, Ariane Tada, Gregório Soares, Leonardo Peres, Gabriel Paiva, Gaianê, Francine, Vinicius Castro, Rafael Muniz, Tássio, Rosane e em especial ao Douglas Borges pelo apoio técnico e por acompanhar de perto a realização deste trabalho.

Aos amigos do CTMSP, Nelson, Daniel, Bia, Cláudia, Monique, Lisandra, Alessandra, Vitor, Tati, Marcel, Selma, Débora e Appas, pelos conselhos, lições, broncas, e principalmente pelo apoio e encorajamento.

E em especial aos meus pais e familiares que sempre me apoiaram e compreenderam durante entes anos.

"Nada é pequeno no amor. Quem espera as grandes ocasiões para provar a sua ternura não sabe amar."

Laure Conan

# ANÁLISES NEUTRÔNICA E TERMO-HIDRÁULICA DE UM DISPOSITIVO PARA IRRADIAÇÃO DE ALVOS TIPO LEU DE UAI<sub>x</sub>-AI PARA PRODUÇÃO DE MO<sup>99</sup> NO REATOR IEA-R1

Pedro Júlio Batista de Oliveira Nishiyama

#### RESUMO

Tecnécio-99m (<sup>99m</sup>Tc), o produto de decaimento do molibdênio-99 (<sup>99</sup>Mo), é um dos radioisótopos mais utilizados na medicina nuclear, abrangendo cerca de 80% de todos os procedimentos de radiodiagnóstico médico pelo mundo. Atualmente o Brasil necessita de uma quantidade de aproximadamente 450 Ci de <sup>99</sup>Mo por semana. Devido à crise e à escassez em seu fornecimento que vem sendo observada no cenário mundial desde 2008, o IPEN decidiu desenvolver um projeto próprio para produção de <sup>99</sup>Mo através da fissão do urânio-235. O objetivo deste trabalho de dissertação foi desenvolver cálculos neutrônicos e temo-hidráulicos para avaliar a segurança operacional de um dispositivo para produção de <sup>99</sup>Mo a ser irradiado no núcleo do reator IEA-R1. Neste dispositivo serão alojados dez alvos do tipo dispersão de UAl<sub>x</sub>-Al com baixo enriquecimento de urânio (LEU) e densidade de 2,889 gU/cm<sup>3</sup>. Para o cálculo neutrônico foram utilizados os programas computacionais HAMMER-TECHNION e CITATION e as temperaturas máximas atingidas nos alvos foram calculadas com o código MTRCR-IEAR1. Os cálculos demonstram que a irradiação do dispositivo deverá ocorrer sem consequências adversas à operação do reator. A quantidade total de <sup>99</sup>Mo foi calculada com o programa SCALE e considerando que o tempo necessário para o processamento químico e recuperação do <sup>99</sup>Mo será de cinco dias após a irradiação, teremos disponível para distribuição uma atividade de <sup>99</sup>Mo de 176 Ci para 3 dias de irradiação, 236 Ci para 5 dias de irradiação e 272 Ci para 7 dias de irradiação dos alvos.

# NEUTRONIC AND THERMAL-HYDRAULIC ANALYSIS OF A DEVICE FOR IRRADIATION OF LEU UAI<sub>X</sub>-AI TARGETS FOR <sup>99</sup>Mo PRODUCTION IN THE IEA-R1 REACTOR

Pedro Júlio Batista de Oliveira Nishiyama

#### ABSTRACT

Technetium-99m (<sup>99m</sup>Tc), the product of radioactive decay of molybdenum-99 (<sup>99</sup>Mo), is one of the most widely used radioisotope in nuclear medicine, covering approximately 80% of all radiodiagnosis procedures in the world. Nowadays, Brazil requires an amount of about 450 Ci of <sup>99</sup>Mo per week. Due to the crisis and the shortage of <sup>99</sup>Mo supply chain that has been observed on the world since 2008, IPEN/CNEN-SP decided to develop a project to produce <sup>99</sup>Mo through fission of uranium-235. The objective of this dissertation was the development of neutronic and thermal-hydraulic calculations to evaluate the operational safety of a device for <sup>99</sup>Mo production to be irradiated in the IEA-R1 reactor core at 5 MW. In this device will be placed ten targets of UAl<sub>x</sub>-Al dispersion fuel with low enriched uranium (LEU) and density of 2.889 gU/cm<sup>3</sup>. For the neutronic calculations were utilized the computer codes HAMMER-TECHNION and CITATION and the maximum temperatures reached in the targets were calculated with the code MTRCR-IEAR1. The analysis demonstrated that the device irradiation will occur without adverse consequences to the operation of the reactor. The total amount of <sup>99</sup>Mo was calculated with the program SCALE and considering that the time needed for the chemical processing and recovering of the <sup>99</sup>Mo will be five days after the irradiation, we have that the <sup>99</sup>Mo activity available for distribution will be 176 Ci for 3 days of irradiation, 236 Ci for 5 days of irradiation and 272 Ci for 7 days of targets irradiation.

# SUMÁRIO

Dá	aina
I a	igina

1	INTR	ODUÇÃO	9	
2	REVI	SÃO BIBLIOGRÁFICA	13	
2.1	Uso do molibdênio-99 na medicina nuclear			
2.2	Produção de molibdênio-99			
2.3	Alvos do tipo LEU em alguns países			
2.4	Códig	os para análises neutrônica e termo-hidráulica	20	
3	REAT	FOR IEA-R1 E ALVOS DO TIPO LEU DE UAI <sub>x</sub> -Al	22	
3.1	Reato	r IEA-R1	22	
3.2	Dispo	sitivo para irradiação dos alvos tipo LEU de UAl <sub>x</sub> -Al	24	
3.3	Alvos	de UAl <sub>x</sub> -Al na forma de miniplacas	26	
3.4	Espec	ificações técnicas para fabricação de alvos de UAl <sub>x</sub> -Al	27	
	3.4.1	Diâmetro da partícula combustível		
	3.4.2	Morfologia da partícula combustível		
	3.4.3	Massa específica da partícula combustível	31	
	3.4.4	Área da superfície específica da partícula combustível	31	
	3.4.5	Fração em volume do combustível	32	
4	MET	ODOLOGIA PARA AS ANÁLISES NEUTRÔNICA E		
	TERN	MO-HIDRÁULICA	37	
4.1	Avalia	ação neutrônica	37	
	4.1.1	Programas computacionais HAMMER-TECHNION e CITATION	37	
	4.1.2	Teoria da difusão	40	
4.2	Avalia	ação termo-hidráulica	41	
	4.2.1	Modelo térmico MTRCR-IEAR1	42	
	4.2.2	Equações de transferência de calor	44	
	4.2.3	Velocidade crítica de escoamento do fluido refrigerante	50	
	4.2.4	Inicio de ebulição nucleada	52	
	4.2.5	Instabilidade no escoamento do fluido refrigerante	52	
	4.2.6	Fluxo de calor crítico	53	

5	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	
5.1	Resultados das análises neutrônicas	54
5.2	Resultados das análises termo-hidráulicas	62
6	CONCLUSÕES	67
I	APÊNDICES	69
APÊN	DICE A – Dados de entrada do programa CITATION	69
APÊN	DICE B – Dados de entrada do programa MTRCR-IEAR1	
II	ANEXOS	93
ANEX	XO A – Unidade 6- <i>day Ci</i> utilizada na comercialização do <sup>99</sup> Mo	
ANEX	XO B – Especificação técnica para fabricação dos alvos de UAl <sub>x</sub> Al	95
REFE	RÊNCIAS	100

## 1. INTRODUÇÃO

Tecnécio-99m (<sup>99m</sup>TC – o "m" indica que o radionuclídeo é metaestável), o produto do decaimento do molibdênio-99 (<sup>99</sup>Mo), é utilizado anualmente em mais de 30 milhões de procedimentos de diagnóstico médico no mundo, abrangendo cerca de 80% de todos os procedimentos na medicina nuclear. As características nucleares do <sup>99m</sup>Tc permite o processamento de imagens de alta qualidade com baixas doses de radiação aos pacientes. Suas características químicas o tornam muito versátil para se combinar quimicamente com substâncias diferentes, de modo que ele pode ser utilizado para alcançar diferentes órgãos e doenças tal como exigido por diferentes procedimentos de diagnóstico /1/.

Atualmente, 95-99% de todo o <sup>99</sup>Mo é produzido em reatores de pesquisa, teste de materiais e de produção de radioisótopos pela irradiação de alvos de urânio altamente enriquecido (*High Enriched Uranium* - HEU, geralmente 93% de <sup>235</sup>U). Alvos para este tipo de produção são geralmente de:

- miniplacas e varetas (*pin*) revestidas de Al, contendo ligas de U-Al ou dispersão do tipo UAl<sub>x</sub> /2,11/ ou;
- um filme fino de UO<sub>2</sub> envolvendo a parede interna de um tubo de aço inox /12,13/.

De 1-5% da produção mundial remanescente de <sup>99</sup>Mo é obtida pela irradiação de alvos com baixo enriquecimento de urânio (*Low Enriched Uranium* - LEU). A *Comisión Nacional de Energia Atómica* (CNEA), da Argentina, converteu os seus alvos para LEU em 2002 /14,15/ e a *Australian Nuclear Science and Technology Organization* (ANSTO) sempre usou LEU em seus alvos para a produção de <sup>99</sup>Mo /16/. Adicionalmente, pequenas quantidades de <sup>99</sup>Mo são produzidas pela irradiação de molibdênio natural (por ativação neutrônica do <sup>98</sup>Mo). Índia, China e Cazaquistão utilizam esta técnica /17/.

Após a irradiação, o <sup>99</sup>Mo é separado do urânio e dos outros produtos de fissão através de processos químicos e preparado para distribuição aos centros de consumo /8/. Outros isótopos médicos importantes tais como o <sup>131</sup>I e o <sup>133</sup>Xe podem ser recuperados durante o processo de obtenção do <sup>99</sup>Mo. Estes radioisótopos estão sendo usados em aplicações diagnósticas e terapêuticas e têm aplicações promissoras na área da radioimunoterapia /2/.

O Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) em São Paulo fornece radiofármacos para mais de 300 hospitais e clínicas no país, atingindo mais de 3,5 milhões de procedimentos médicos por ano. O uso de radiofármacos no país tem crescido a uma taxa de 10% ao ano na última década e o IPEN/CNEN-SP é o principal responsável por esta distribuição. Os geradores de <sup>99m</sup>Tc (dispositivo blindado que contém o <sup>99</sup>Mo, Figura 2-1) são os mais utilizados e são responsáveis por mais de 80% das aplicações de radiofármacos no Brasil.

O IPEN/CNEN-SP importa todo o <sup>99</sup>Mo usado no pais, que atinge 450 Ci por semana e cerca de 24.000 Ci por ano, sendo que até 2009, o principal fornecedor era a MDS Nordian do Canadá. O <sup>99</sup>Mo importado pelo Brasil representa 4% da produção mundial.

Devido à crescente necessidade da medicina nuclear do país e devido à escassez no fornecimento de <sup>99</sup>Mo observada desde 2008 no cenário mundial, o IPEN/CNEN-SP decidiu desenvolver um projeto próprio para produzir <sup>99</sup>Mo através da fissão do <sup>235</sup>U, tendo como base três metas principais:

- pesquisa e desenvolvimento para a produção de <sup>99</sup>Mo por fissão em alvos do tipo LEU;
- discussão e decisão sobre a melhor rota técnica de produção e;
- estudo da exequibilidade do IPEN/CNEN-SP em atender a demanda rotineira de cerca de 450 Ci de <sup>99</sup>Mo por semana e uma necessidade futura, após sete anos, de 1.000 Ci por semana no país.

Dentre as pesquisas programadas neste projeto, está o estudo da caracterização e especificação técnica de alvos dos seguintes tipos:

- UAl<sub>2</sub> disperso em Al com 3,0 gU/cm<sup>3</sup>;
- folhas finas de urânio metálico em diferentes processos de produção e revestimento de alumínio e;
- folhas finas de UO<sub>2</sub> em diferentes processos de produção e revestimentos.

Também serão desenvolvidos, pelo IPEN/CNEN-SP, estudos laboratoriais para

os seguintes processos a frio:

- processo de dissolução alcalina;
- processo de dissolução ácida;

- processo de dissolução Cintichen modificado;
- otimização da recuperação do <sup>99</sup>Mo em todos os processos e;
- tratamento de rejeitos e processos de imobilização.

O objetivo desta dissertação de mestrado é desenvolver os estudos relativos à caracterização e a especificação técnica de alvos do tipo LEU de UAl<sub>x</sub>-Al para produção de <sup>99</sup>Mo, avaliando através de análises neutrônica e termo-hidráulica os impactos de sua inserção no núcleo do reator IEA-R1 e estimando a quantidade de <sup>99</sup>Mo produzida por irradiação neste núcleo. Os alvos dos outros tipos propostos acima serão objeto de estudo em outros trabalhos /18,19/.

Nos cálculos, será utilizado para alojar os alvos durante a irradiação no reator um Dispositivo de Irradiação de Miniplacas (DIM). Esse dispositivo possui a geometria externa semelhante a um elemento combustível padrão do reator IEA-R1, sendo que, no seu interior, é inserido um estojo com a capacidade de alojar até 10 miniplacas de UAl<sub>x</sub>-Al.

A inserção de qualquer dispositivo de irradiação no núcleo do reator deve ser devidamente analisada, de forma a avaliar o seu impacto na reatividade e no resfriamento do núcleo, garantindo assim a sua colocação sem o comprometimento da segurança operacional do reator. A introdução do DIM com os alvos do tipo LEU de UAl<sub>x</sub>-Al no núcleo do reator IEA-R1 é avaliada através de análises neutrônicas e termo-hidráulicas.

Os cálculos neutrônicos são desenvolvidos para avaliar o impacto da inserção do dispositivo de irradiação com os alvos do tipo LEU no núcleo do reator (reatividade inserida) e para calcular a quantidade de <sup>99</sup>Mo produzida por fissão em uma posição de irradiação no centro do núcleo do reator. Para esta análise, serão utilizados os programas computacionais CITATION /20/, HAMMER-TECHNION /21/ e SCALE /22/. A obtenção de dados nucleares dos constituintes do núcleo e do DIM será realizada com o programa HAMMER-TECHNION. O código CITATION será utilizado para o cálculo tridimensional, modelando o núcleo do reator para obter o k-efetivo, o fluxo de nêutrons e a densidade de potência. O cálculo da queima do urânio nas miniplacas e, consequentemente, a produção de <sup>99</sup>Mo será feito com o programa SCALE, através dos módulos ORIGIN-S, OPUS e KENO.

As análises termo-hidráulicas serão desenvolvidas com o programa computacional MTRCR-IEAR1 /23/. Este programa permite calcular as variáveis térmicas e hidráulicas do núcleo e do dispositivo de irradiação e compará-las a limites e critérios de projeto estabelecidos para este tipo de alvo.

Após estas análises e geração das especificações técnica dos alvos, as miniplacas serão fabricadas, inseridas e irradiadas no reator e seus resultados avaliados em trabalhos posteriores.

O Capitulo 2 desta dissertação apresenta o levantamento bibliográfico relativo ao cenário da produção de <sup>99</sup>Mo no mundo, resumindo aos métodos e tipos de alvos utilizados. No Capitulo 3 é feita uma descrição do alvo utilizado neste trabalho, assim como uma apresentação do Dispositivo de Irradiação de Miniplacas (DIM) e do reator IEA-R1. No Capítulo 3 são também apresentados os estudos para gerar as especificações técnica para fabricação técnica de alvos para produção de <sup>99</sup>Mo do tipo UAl<sub>x</sub>-Al. No Capitulo 4 é apresentada a metodologia utilizada e o desenvolvimento das avaliações neutrônica e termo-hidráulica. Os resultados finais são apresentados no Capitulo 5 e as conclusões no Capitulo 6.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Uso do molibdênio-99 na medicina nuclear

O produto de decaimento de <sup>99</sup>Mo, <sup>99m</sup>Tc, é o principal isótopo utilizado em procedimentos na medicina nuclear para o diagnóstico por imagem. Ele também é utilizado para a detecção de doenças e para o estudo da estrutura e da função de órgãos. O <sup>99m</sup>Tc é especialmente útil porque pode ser quimicamente incorporado em moléculas ligantes que se concentram em determinados órgãos ou tecidos quando injetadas no corpo /1/. O isótopo tem uma meia vida de cerca de 6 horas e emite fótons com energia de 140 keV ao decair para o Tecnécio-99, um isótopo radioativo com cerca de 214.000 anos de meia vida. Esta energia do fóton é ideal para a detecção eficaz por instrumentos de cintilografia, tais como câmeras gama /24/. Os dados coletados pela câmera são analisados para produzir imagens estruturais e funcionais detalhadas /25/.

Geralmente, o <sup>99m</sup>Tc é produzido através de um processo de múltiplos passos, começando com a irradiação de alvos contendo <sup>235</sup>U em um reator nuclear. Esta irradiação faz com que ocorra a fissão do <sup>235</sup>U e a produção de <sup>99</sup>Mo, e muitos outros produtos de fissão, incluindo I-131 e Xe-133 /25/. Após a irradiação, os alvos são processados quimicamente para separar o <sup>99</sup>Mo dos outros produtos de fissão. Após a separação, ele é então adsorvido em uma coluna de alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), que é enviada para as clínicas e hospitais em dispositivos blindados, conhecidos como geradores de tecnécio (Figura 2-1).

O <sup>99</sup>Mo decai com cerca de 66 horas de meia vida no <sup>99m</sup>Tc, que é recuperado pela passagem de uma solução salina através da coluna de alumina do gerador, um processo conhecido como eluição do gerador /26/. A solução salina remove o <sup>99m</sup>Tc, mas mantém o <sup>99</sup>Mo, ainda não decaído, no seu lugar (Figura 2-2). Um gerador de tecnécio pode ser eluído várias vezes por dia, durante cerca de uma semana, quando é necessário fazer sua substituição.

Devido à sua meia vida relativamente curta (66 horas), o <sup>99</sup>Mo não pode ser estocado para uso. Ele deve ser produzido em uma base semanal ou mais frequente para garantir disponibilidade contínua. Os processos para a produção de <sup>99</sup>Mo e entrega dos

geradores de tecnécio aos clientes são rigidamente programados e altamente dependente do tempo. Uma interrupção em qualquer ponto da produção, transporte ou fornecimento de <sup>99</sup>Mo ou geradores de tecnécio pode gerar impactos significativos sobre o atendimento ao paciente.



FIGURA 2-1: Gerador de tecnécio produzido pelo IPEN/CNEN-SP



FIGURA 2-2: Estrutura interna típica de um gerador de tecnécio

Existem duas abordagens principais para a produção do isótopo médico <sup>99</sup>Mo: uma pela fissão de <sup>235</sup>U, o qual produz <sup>99</sup>Mo e outros isótopos clinicamente importantes, tais como <sup>131</sup>I e <sup>133</sup>Xe /8/, e outra pela captura de nêutrons pelo molibdênio-98 (<sup>98</sup>Mo) para produzir <sup>99</sup>Mo. Este processo não é tão eficiente quanto o primeiro, no entanto, pode ser utilizado para fazer pequenas quantidades de <sup>99</sup>Mo e garantir um suprimento estável doméstico /27,28/.

### 2.2 Produção de molibdênio-99

Os alvos utilizados para a produção de <sup>99</sup>Mo são materiais que contêm <sup>235</sup>U, projetados para serem irradiados em um reator nuclear, satisfazendo vários requisitos. Em primeiro lugar, tem de ser de tamanho adequado para se encaixar na posição de irradiação no interior do reator. Em segundo lugar, tem de conter uma quantidade suficiente de <sup>235</sup>U para produzir a quantidade requerida de <sup>99</sup>Mo quando irradiado. Em terceiro lugar, tem de ter boas propriedades de transferência de calor para evitar o sobreaquecimento (o que pode resultar em falha do alvo) durante a irradiação. Em quarto lugar, o alvo deve proporcionar uma barreira para impedir a liberação de produtos radioativos, em especial os gases de fissão, durante e após a irradiação. Em quinto lugar, o material alvo tem de ser compatível com os passos de processamento químico que serão utilizados para recuperar e purificar o <sup>99</sup>Mo, após o alvo ser irradiado /27/.

Para satisfazer estes critérios, existe uma grande variedade de formas e composições pelas quais os alvos são fabricados, dependendo das necessidades individuais de cada produtor. Os alvos podem ser em forma de placas (Figura 2-3), varetas (pin) ou cilindros.



FIGURA 2-3: Alvo do tipo placa utilizado pela CNEA /27/

As composições do alvo incluem urânio metálico, óxidos de urânio e ligas de urânio, quase sempre com alumínio /2,13/. Alvos metálicos são geralmente encapsulados em alumínio ou aço inoxidável para proteger o urânio metálico e as ligas das reações químicas externas e para conter os produtos de fissão produzidos durante a irradiação. Este encapsulamento é conhecido como revestimento (*cladding*) do alvo. A Tabela 2-1 resume os tipos de alvos utilizados ou planejados para serem utilizados no futuro por diferentes produtores.

Os alvos são irradiados com nêutrons térmicos, alguns dos núcleos de <sup>235</sup>U absorvem estes nêutrons, que podem provocar a sua fissão. A fissão do núcleo produz dois ou até três núcleos de massa menor, conhecidos como fragmentos de fissão. Cerca de 6% destes fragmentos de fissão são átomos de <sup>99</sup>Mo /29/.

Geometria do Alvo	Material	Produtores
Placas	Ligas de U-Al ou dispersões do tipo UAl <sub>x</sub>	Mallinckrodt, Institut National dês Radioéléments, Nuclear Technology Products, CNEA, Australian Nuclear Science and Technology Organisation (ANSTO, OPAL reactor)
Varetas (pin)	Ligas de U-Al	MDS-Nordion (National Research Universal reactor)
Cilindros	Filme fino de UO <sub>2</sub> envolvido por dois tubos de aço inox	Indonesian National Atomic Energy Agency (BATAN), MDS- Nordion (Maple reactors)

**TABELA 2-1:** Alvos de urânio utilizados para produção de <sup>99</sup>Mo

Reatores nucleares fornecem uma eficiente fonte de nêutrons térmicos, é por esta razão que todos os principais produtores de <sup>99</sup>Mo irradiam seus alvos em reatores nucleares. A quantidade de <sup>99</sup>Mo produzida em um alvo é uma função do tempo de irradiação, da seção de choque de fissão térmica do <sup>235</sup>U, do fluxo de nêutrons térmicos sobre o alvo, da massa de <sup>235</sup>U no alvo e da meia vida do <sup>99</sup>Mo. Geralmente o fluxo de nêutrons térmicos nos reatores é da ordem de 10<sup>14</sup> nêutrons/cm<sup>2</sup>.s e o tempo de irradiação necessário para atingir a máxima produção de <sup>99</sup>Mo nos alvos é de 5 a 7 dias /27/.

Para tempos de irradiação maiores, a quantidade de <sup>99</sup>Mo produzida nos alvos aproxima-se da quantidade a ser perdida pelo decaimento radioativo. Logo a irradiação já

não é mais produtiva (Anexo A). Mesmo à produção máxima, apenas cerca de 3% do <sup>235</sup>U no alvo é tipicamente consumido. O restante, juntamente com os outros produtos de fissão e materiais do alvo, é tratado como resíduo /25/.

Até 2009, os quatro maiores produtores de <sup>99</sup>Mo, todos eles utilizando alvos HEU e instalações de processamento dedicadas, eram: 1) MDS-Nordion (Canadá), 2) Malinckrodt (Paises Baixos), 3) IRE (*Institut National des Radioelements*, Bélgica) e 4) *NTP Radioisotopes (PTy) Ltd* (África do Sul) (ver Tabela 2-2). Estes produtores garantiam entre 95-98% do abastecimento mundial de <sup>99</sup>Mo. O restante do fornecimento é proporcionado por produtores regionais: a ANSTO (Austrália) e a CNEA (Argentina), utilizando alvos do tipo LEU e o *Karpov Institute of Physical Chemistry* (Rússia) que utiliza alvos do tipo HEU /27/.

PRODUTOR	PAÍS	PORCENTAGEM DO SUPRIMENTO MUNDIAL
MDS-Nordion	Canadá	40
Mallinckrodt	Países Baixos	25
IRE	Bélgica	20
NTP	África do Sul	10
Outros	Argentina, Austrália e Rússia	5

TABELA 2-2: Principais Produtores de Molibdênio-99

A preocupação mundial com a utilização de alvos do tipo HEU para a produção de <sup>99</sup>Mo tem sido um dos motores do Programa *Reduced Enrichment for Research and Test Reactors* (RERTR) /30,31/. Em 1986, o desenvolvimento de combustíveis de siliceto de urânio e de novos programas computacionais e análises tornaram possível a conversão do núcleo de vários reatores no mundo de combustíveis HEU para combustíveis LEU. Com a conversão dos reatores, a produção de <sup>99</sup>Mo tornouse aproximadamente 20% do HEU exportado tendo um crescimento continuo de 10% ao ano. Além disso, havia outra preocupação com a utilização de alvos HEU na produção do <sup>99</sup>Mo: somente uma pequena quantidade do <sup>235</sup>U é queimada durante a irradiação, tornando o material altamente atraente.

Um dos maiores colaboradores do programa RERTR é o Argonne National Laboratory (ANL) dos Estados Unidos da America (EUA). Desde 1995, o ANL vem concentrando esforços em pelo menos três áreas principais: 1) cooperação com a Argentina para demonstrar o uso de alvos de folhas finas de urânio metálico LEU em processos de produção de <sup>99</sup>Mo com dissolução alcalina; 2) cooperação com a Indonésia na conversão do processo Cintichen de alvos HEU para alvos de folhas finas de urânio metálico LEU; 3) participação em um CRP (*Coordinated Research Project*) da IAEA (*International Atomic Energy Agency*) para a produção doméstica de <sup>99</sup>Mo.

O alvo de folhas finas de urânio metálico LEU proposto para utilização no CRP da IAEA é feito de dois tubos concêntricos de alumínio. Entre estes dois tubos é colocada uma folha fina de urânio metálico LEU recoberta nos dois lados por uma folha de níquel que atua como uma barreira para os produtos de fissão gerados durante a irradiação. Após a irradiação do alvo, ele é desmontado em células quentes de alta atividade usando uma máquina de corte para liberar as folhas de urânio metálico e de níquel. O processo químico Cintichen modificado é utilizado para a dissolução das folhas irradiadas no ácido nítrico, recuperando o <sup>99</sup>Mo por técnicas de precipitação e posterior purificação da solução através de colunas de troca iônica /32/. Vários procedimentos de controle de qualidade da solução de <sup>99</sup>Mo purificada são aplicados para verificar se o <sup>99</sup>Mo está apto para uso médico. A seguir são produzidos os geradores de tecnécio.

Cintichen Inc. era o maior fornecedor de <sup>99</sup>Mo para uso médico nos EUA até 1989, quando a produção foi paralisada devido a questões operacionais e custos associados para reparos. O processo de produção estabelecido pela Cintichen (processo Cintichen /32/) começou com a irradiação de alvos de óxidos HEU envolvendo a parte interna de um tubo de aço inox e irradiados em um reator de 5 MW na cidade de Tuxedo em Nova Iorque. O oxido de urânio irradiado era, então, dissolvido em uma solução de ácidos nítrico e sulfúrico. O <sup>99</sup>Mo era purificado por precipitação, seguido de passos de purificação em colunas iônicas. Este processo estabelecido serviu como um ponto de partida para o desenvolvimento dos processos de produção de <sup>99</sup>Mo com LEU que ficou conhecido como processo Cintichen modificado.

A CNEA é um forte parceiro do programa RERTR e está em estreita cooperação com o ANL. A conversão dos alvos HEU para LEU em 2002 foi feita com pequenas modificações nas posições de irradiação do reator. Este alvo LEU permitiu a Argentina continuar a produção de <sup>99</sup>Mo na mesma quantidade que vinha sendo obtida com alvos HEU. A longo prazo, entretanto, havia o interesse em desenvolver, em cooperação com o ANL, a produção de <sup>99</sup>Mo através de folhas finas de urânio metálico do tipo LEU. Isto permitiria triplicar a produção caso fossem utilizadas as mesmas posições de

irradiação dos alvos tipo dispersão e poderia reduzir de seis a dez vezes o rejeito líquido da produção e por pelo menos 4 horas o tempo de processamento /33/.

A Agencia de Energia Atômica da Indonésia, *BADAN Tenaga Atom Nasional* (BATAN) tem cooperado com o ANL a vários anos e a expectativa é converter seus alvos e o processamento Cintichen de alvos altamente enriquecidos para alvos de folhas finas tipo LEU e para o processo Cintichen modificado para LEU /34/.

Em vista do interesse mundial na produção de <sup>99</sup>Mo, desde 2004 a IAEA tem desenvolvido e implementado um Projeto de Pesquisa Coordenado (CRP) para ajudar os países interessados a iniciar uma produção doméstica em pequena escala de <sup>99</sup>Mo e de forma a encontrar os requisitos da medicina nuclear local /35/. O objetivo do CRP é fornecer aos países interessados o acesso a tecnologias não proprietárias e métodos para produção de <sup>99</sup>Mo usando alvos de folhas finas de urânio metálico LEU , miniplacas LEU, ou pela ativação neutrônica (n,gama) /36/. O Brasil através do IPEN/CNEN-SP iniciou a sua participação neste CRP no final de 2009.

No passado, o IPEN/CNEN-SP desenvolveu a rota de produção de <sup>99</sup>Mo por ativação neutrônica de alvos de <sup>98</sup>Mo no reator IEA-R1. Entretanto, a quantidade produzida não atendeu as necessidades brasileiras deste isótopo.

#### 2.3 Alvos do tipo LEU em alguns países

A CNEA da Argentina utiliza alvos na forma de miniplacas de UAl<sub>x</sub>-Al revestidas com alumínio, irradiados no reator RA3, com uma potência térmica de 5 MW (atualmente 10 MW), moderado e refrigerado à água leve. O reator possui entre 25-27 elementos combustíveis do tipo MTR com 19 placas. O fluxo de nêutrons térmicos máximo é de  $1 \times 10^{14}$  n/cm<sup>2</sup>.s /14/.

Os alvos têm um volume total de 6,825 cm<sup>3</sup> com 1,5 mm de espessura, 35 mm de largura e 130 mm de comprimento. O volume total do cerne de UAl<sub>x</sub>-Al é de 2,415 cm<sup>3</sup> com 0,7 mm de espessura, 30 mm de largura e 115 mm de comprimento /33/. A massa de  $^{235}$ U no alvo argentino é de 1,4 g, que para um volume de 2,415 cm<sup>3</sup> fornece uma densidade de  $^{235}$ U igual a 0,58 g  $^{235}$ U/cm<sup>3</sup>. Considerando-se um enriquecimento de 19,9% em massa de  $^{235}$ U, a densidade do urânio no cerne do alvo é de 2,91 gU/cm<sup>3</sup>. Este valor corresponde a uma fração, em volume, de 45% de UAl<sub>x</sub> na dispersão e uma fração, em volume, de 55% de alumínio. Estes valores indicam que os argentinos estão construindo os

alvos no limite tecnológico para este tipo de dispersão em combustíveis nucleares (45% da fase físsil em volume dispersa em 55% da fase não físsil em volume /37/). Este conceito já era esperado devido à necessidade de se ter em alvos do tipo LEU uma quantidade de urânio cinco vezes maior do que os alvos do tipo HEU, para manter a mesma quantidade de  $^{235}$ U. Os alvos são irradiados durante 108-120 horas, com um fluxo de nêutrons de 1x10<sup>14</sup> n/cm<sup>2</sup>.s e mantidos para resfriamento por dez horas após a irradiação na piscina do reator /14/. A CNEA garante com estes alvos sua necessidade semanal de 170 Ci de <sup>99</sup>Mo.

No Chile, a *Comisión Chilena de Energía Nuclear* CCHEN estuda a utilização de alvos de folhas finas de urânio metálico revestidas com uma camada de níquel. Estas folhas são colocadas entre dois tubos concêntricos de alumínio e irradiadas no reator RECH-01, de potência térmica de 5 MW, moderado e refrigerado à água leve, com berílio como elemento refletor. O reator contém 32 elementos combustíveis do tipo MTR de  $U_3Si_2$ -Al, na densidade de 3,4 gU/cm<sup>3</sup>. O fluxo de nêutrons térmicos na potência máxima é de 8x10<sup>13</sup> n/cm<sup>2</sup>.s /38/.

A folha tem as dimensões de 50 mm x 100 mm e 0,13 mm de espessura, recoberta em ambos os lados com uma camada de 0,015 mm de níquel /39/, contendo 13 g de urânio enriquecido a 19,75%. Isto corresponde a uma densidade de 20 gU/cm<sup>3</sup> e uma massa de 2,57 g de <sup>235</sup>U. Assumindo um período de irradiação de 48 horas na potência máxima do reator, pode ser obtida uma atividade de 155 Ci de <sup>99</sup>Mo ao final da irradiação /40/. A temperatura máxima atingida na parede do alvo foi de 81,3 °C, sendo que a temperatura necessária para início da ebulição nucleada é de 123 °C e a velocidade média do fluído refrigerante no canal central é de 2,84 m/s /38,39/.

## 2.4 Códigos para análises neutrônica e termo-hidráulica

A realização de estudos referentes aos reatores nucleares requer que todo o conjunto de materiais e elementos que o compõem sejam modelados através de programas computacionais.

Para a análise neutrônica, a metodologia utilizada e bem definida pelo Centro de Engenharia Nuclear do IPEN/CNEN-SP consiste nos programas CITATION /20/, HAMMER-TECHNION /21/ e SCALE /22/, que estão descritos no Capitulo 4 deste trabalho. Para a análise termo-hidráulica existem três programas computacionais implementados no IPEN/CNEN-SP: o COBRA 3C/RERTR /41/, o PARET /42/ e o MTRCR-IEAR1 /23/.

O programa COBRA 3C/RERTR foi desenvolvido em 1980 pelo "Argonne National Laboratory" para reatores de pesquisa com combustível tipo placa ou vareta operando a baixas pressões e baixas temperaturas. O programa faz as verificações relativas às margens de segurança termo-hidráulicas recomendadas pela Safety Series 35-Gl /43/ e faz as análises termo-hidráulicas considerando tanto a existência de escoamento monofásico como de escoamento bifásico nos canais internos do elemento combustível.

O programa PARET foi desenvolvido em 1969 pelo "Idaho National Engineering Laboratory" para a análise dos experimentos de medidas de temperatura e pressão em reatores de potência. Posteriormente, várias modificações foram realizadas no programa, sendo introduzidas correlações para cálculo de instabilidade de fluxo, fluxo crítico de calor, correlações de transferência de calor em escoamento monofásico e bifásico e tabelas de propriedades físicas em baixas pressões e temperaturas.

O modelo térmico MTRCR-IEAR1 foi desenvolvido no ano de 2000 pelo IPEN/CNEN-SP utilizando o pacote "Engineering Equation Solver" (EES). Este modelo foi desenvolvido inicialmente para análise termo-hidráulica de canais com diferentes condições de resfriamento e/ou diferentes geometrias, que é o caso dos canais formados entre elementos combustíveis. Posteriormente, foram introduzidas as correlações para cálculo da instabilidade de fluxo, fluxo de calor crítico e temperatura de ONB. Além disso, o modelo permite fazer estudos paramétricos para diferentes condições de operação muito mais rapidamente, e com resultados com a mesma precisão dos programas PARET e COBRA 3C/RERTR.

Para desenvolver as análises termo-hidráulicas neste trabalho, foi utilizado o modelo MTRCR-IEAR1 sendo que os parâmetros calculados ao longo dos canais de refrigeração estão descritos no Capitulo 4.

#### **3. REATOR IEA-R1 E ALVOS DO TIPO LEU DE UAl<sub>x</sub>-Al**

#### 3.1 Reator IEA-R1

O reator IEA-R1 é um reator de pesquisa do tipo piscina aberta, projetado e construído pela empresa norte-americana Babcock & Wilcox Co. seguindo as especificações fornecidas pela Comissão de Energia Atômica dos EUA, dentro do programa *Atoms for Peace* (Átomos pela Paz), que incentivava os países a aderirem à tecnologia nuclear para fins pacíficos /44/. A Figura 3-1 mostra o núcleo do reator IEA-R1.



FIGURA 3-1: Núcleo do reator IEA-R1

O núcleo do reator tem hoje a forma de um paralelepípedo composto por 24 elementos combustíveis e um elemento de irradiação feito de berílio (EIBE), dispostos em uma configuração 5x5, e por elementos refletores de berílio ou de grafite revestidos em

alumínio, posicionados ao redor dos elementos combustíveis. Estes elementos estão montados sobre uma placa matriz de alumínio com dimensões de 82,86 cm x 63,97 cm x 11,43 cm. A placa matriz possui 80 furos, segundo um arranjo 8x10. A Figura 3-2 apresenta esquematicamente a configuração número 236 do núcleo do reator IEA-R1, utilizada como referência para as análises desenvolvidas nesta dissertação.



FIGURA 3-2: Configuração 236 do núcleo do reator IEA-R1

Os elementos combustíveis são do tipo *Materials Testing Reactor* (MTR) e possuem as seguintes dimensões externas: 7,61 cm x 7,976 cm e 87,3 cm de altura. Quatro desses elementos são projetados para permitir a movimentação e inserção de barras de controle, sendo denominados elementos combustíveis de controle (ECT). Cada ECT possui um total de 12 placas combustíveis. Os outros 20 elementos combustíveis são denominados elementos combustíveis padrão (EC) e possuem 18 placas combustíveis cada. As placas combustíveis possuem a altura de 62,5 cm, 6,71 cm de largura e espessura de 0,152 cm /45/.

O núcleo do reator é totalmente composto por combustíveis do tipo dispersão de  $U_3O_8$ -Al e  $U_3Si_2$ -Al com densidades de 2,3 gU/cm<sup>3</sup> e 3,0 gU/cm<sup>3</sup>, respectivamente, com grau de enriquecimento de 19,9% em <sup>235</sup>U, podendo operar a uma potência de até 5 MW. Quando o reator se encontra em operação à potência máxima, o fluxo de nêutrons térmicos (energia cinética menor ou igual a 0,625 eV) no núcleo ativo totaliza 3,45x10<sup>13</sup> n/cm<sup>2</sup>.s, enquanto o fluxo médio de nêutrons rápidos (energia cinética maior que 0,625 eV) totaliza 9,45x10<sup>13</sup> n/cm<sup>2</sup>.s /44/.

A refrigeração do núcleo é feita através da circulação forçada de água no sentido descendente (de cima para baixo), promovida pela bomba principal, que fornece uma vazão no circuito primário de 772,2 m<sup>3</sup>/h (3400 gpm). A vazão fornecida pela bomba é distribuída nos diversos elementos combustíveis padrão e de controle, nos irradiadores que permitem a passagem de água, nos furos secundários não tamponados da placa matriz, nos canais entre elementos combustíveis e nos canais entre refletores e irradiadores, fornecendo uma vazão em cada EC de aproximadamente 23,0 m<sup>3</sup>/h /46/. Após passar pelo núcleo a água é resfriada em um trocador de calor e retorna para a piscina do reator.

#### **3.2** Dispositivo para irradiação dos alvos tipo LEU de UAl<sub>x</sub>-Al

Para alojar os alvos no desenvolvimento dos cálculos neutrônicos e termohidráulicos desta dissertação, será utilizado um Dispositivo de Irradiação de Miniplacas (DIM) de UAl<sub>x</sub>-Al, que foi projetado pelo Centro de Engenharia Nuclear do IPEN/CNEN-SP e posteriormente fabricado pelo Centro do Combustível Nuclear do IPEN/CNEN-SP. Este dispositivo será posteriormente colocado no reator IEA-R1 para proceder a irradiação dos alvos de UAl<sub>x</sub>-Al. O DIM possui geometria externa semelhante a um elemento combustível padrão do reator IEA-R1, diferenciando-se internamente, onde será alojado um estojo de alumínio projetado para ser capaz de alojar até dez alvos de UAl<sub>x</sub>-Al para irradiação /45,46/. A Figura 3-3 apresenta uma foto do DIM e dos seus componentes: tubo de seção quadrada com bocal inferior, estojo para o suporte dos alvos e placa limitadora de vazão (PLV).



FIGURA 3-3: Dispositivo para irradiação de miniplacas - DIM

A seção transversal do DIM é apresentada na Figura 3-4, onde se destaca o posicionamento dos dez alvos e dos canais de refrigeração.



FIGURA 3-4: Seção transversal do DIM (dimensões em mm)

#### 3.3 Alvos de UAl<sub>x</sub>-Al na forma de miniplacas

Os alvos de dispersão de  $UAl_x$ -Al, com baixo enriquecimento de urânio (LEU), propostos e analisados neste trabalho, tem a forma de miniplacas revestidas de alumínio. Cada miniplaca terá as dimensões de 52 mm de largura, 170 mm de comprimento e 1,52 mm de espessura, como apresentado na Figura 3-5, correspondendo a um volume total de 13,437 cm<sup>3</sup>. O cerne de UAl<sub>x</sub>-Al terá 40 mm de largura, 118 mm de comprimento e 0,76 mm de espessura, correspondendo a um volume de 3,587 cm<sup>3</sup>.

Considerando-se que a densidade de urânio no  $UAl_x$  é de 6,42 g U/cm<sup>3</sup>, e utilizando-se a relação de que 45% em volume da fase físsil está dispersa em 55% em volume da fase não físsil (limite tecnológico para esta dispersão /37/), tem-se que a densidade de urânio no cerne é de:

$$\rho_{\rm U} = 0.45 \text{ x } 6.42 = 2.89 \text{ gU/cm}^3$$



FIGURA 3-5: Dimensões da miniplaca (em mm)

Considerando-se um enrique cimento de 19,9% de  $^{235}$ U, tem-se que a densidade de  $^{235}$ U no cerne será de:

$$\rho_{U-235} = 0,199 \text{ x } 2,889 = 0,575 \text{ g}^{235} \text{U/cm}^3$$

Isto corresponde que para o volume de 3,587 cm<sup>3</sup> do cerne, a massa de <sup>235</sup>U por miniplaca será de 2,06 g.

#### 3.4 Especificações técnicas para fabricação dos alvos de UAl<sub>x</sub>-Al

As especificações técnicas dos alvos de UAl<sub>x</sub>-Al foram baseadas nas especificações técnicas desenvolvidas para combustíveis nucleares do tipo UAl<sub>x</sub>-Al. Como o material dos alvos são os mesmos utilizados nos combustíveis nucleares do tipo dispersão de UAl<sub>x</sub>-Al, a especificação técnica dos alvos seguirá os mesmos procedimentos utilizados para geração da especificação dos combustíveis tipo dispersão de UAl<sub>x</sub>-Al.

Um combustível a dispersão é composto pela conjugação de pelo menos dois materiais (um material físsil e uma matriz) com propriedades distintas e com diferentes funções a desempenhar no reator. Algumas etapas de fabricação e a irradiação podem afetar estas propriedades através de mudanças na microestrutura dos componentes da dispersão, alterando consequentemente o desempenho dos mesmos. Estas mudanças

podem favorecer (ou não) a ocorrência de variações dimensionais nas placas combustíveis, provocando em alguns casos o bloqueio dos canais de refrigeração /47/.

No momento de sua fabricação o material da dispersão de UAl<sub>x</sub>-Al é composto exclusivamente de partículas de UAl<sub>2</sub> (material físsil) e partículas de Al (matriz), durante as etapas de laminação essas partículas irão reagir entre si e formar partículas de UAl<sub>3</sub> e UAl<sub>4</sub>, tipicamente alvos finalizados consistem de 60% de UAl<sub>3</sub> e 40% de UAl<sub>4</sub>/48/.

As principais variáveis de fabricação que influenciam no desempenho sobre irradiação das placas combustíveis do tipo dispersão MTR são:

- 1. Diâmetro da partícula combustível;
- 2. Morfologia da partícula combustível (forma);
- 3. Massa específica da partícula combustível;
- 4. Área de superfície específica da partícula combustível;
- 5. Fração em volume de combustível.

### 3.4.1 Diâmetro da partícula combustível

Quando um átomo de urânio fissiona, dois novos nuclídeos são formados e mais de 80% da energia liberada pela fissão é fornecida a estes dois nuclídeos em forma de energia cinética e na relação inversa de suas massas relativas. Estes nuclídeos, também, chamados de fragmentos de fissão, podem permanecer na partícula combustível (dissipando toda a sua energia na mesma) ou podem recuar para a matriz metálica que a envolve. Se o diâmetro da partícula combustível for menor que o alcance médio dos fragmentos de fissão nos materiais que a compõem, todos os fragmentos de fissão gerados irão recuar para a matriz. Em contrapartida, se o diâmetro da partícula combustível for maior, menor será o número de fragmentos que deixarão esta partícula e recuarão para a matriz /49/.

A energia adquirida pelos fragmentos de fissão é alta e a dissipação desta energia é feita através de inúmeras colisões entre estes fragmentos e os átomos pertencentes ao combustível e a matriz, proporcionando desta forma a criação de uma quantidade significativa de defeitos pontuais. Muitos destes átomos de fragmentos de fissão são grandes e incompatíveis com o material da matriz, afetando consequentemente as suas propriedades ao longo da queima. As principais alterações verificadas no material da matriz são: a) diminuição da condutividade térmica; b) aumento da tensão de escoamento; e c) diminuição da ductilidade /49,50/.

Uma condição essencial para que as propriedades da matriz sejam preservadas é que a região não danificada pelos fragmentos de fissão seja contínua. É necessário que haja uma distância (a') entre as partículas combustíveis (como visto na Figura 3-6) para garantir que estas regiões não se toquem ou se sobreponham ao longo da queima /50,51,52,53/.



FIGURA 3-6: Representação esquemática da microestrutura de um combustível a dispersão com partículas combustíveis de tamanhos diferentes

A distância média entre as partículas varia de acordo com a fração em volume de combustível existente na placa. Para uma fração em volume de combustível constante, esta distância varia com o diâmetro da partícula combustível (D), sendo maior a distância quanto maior for o diâmetro da partícula /52/.

Independente do valor especificado para o diâmetro da partícula, a espessura danificada ( $\lambda_m$ ) pelos fragmentos de fissão que recuam para a matriz é constante ao longo da queima /53/. Esta espessura nada mais é do que o alcance médio dos fragmentos de fissão no material que compõe a matriz.

Dada a impossibilidade de se obter um único diâmetro de partícula, especificase normalmente uma faixa granulométrica na qual as partículas combustíveis devam estar inseridas /49/. É comum a utilização de partículas combustíveis na faixa de 44 a 150  $\mu$ m (75 a 85% em peso) com apenas uma quantidade limitada (15 a 25% em peso) de pó mais fino (< 44  $\mu$ m) /50,51/. O limite superior desta faixa é adotado para garantir que as partículas combustíveis sejam menores que a espessura final do cerne (760  $\mu$ m no caso das miniplacas), se fragmentem pouco durante as etapas de fabricação das miniplacas e transmitam da melhor forma possível o calor gerado pelas fissões. O limite inferior é adotado para garantir que as dispersões apresentem uma melhor estabilidade sobre irradiação /49/. A razão pela qual se permite a presença de uma quantidade de finos nas placas é unicamente de ordem econômica /54/.

#### **3.4.2** Morfologia da partícula combustível

Durante a laminação, devido as condições a que são submetidas (esforços de tração e compressão), as partículas combustíveis têm grande probabilidade de se fragmentar, originando desta forma partículas menores /54/. Se estas partículas se dispuserem de uma forma contínua na direção de laminação, elas provocarão um extensivo alinhamento de óxido, prejudicando o desempenho da placa combustível devido:

- Aumento da superfície específica do óxido (ocasionando maior reatividade do mesmo);
- Textura fibrosa da dispersão laminada, resultando na direcionalidade de propriedades mecânicas e;
- Segregação da fase físsil, ocasionando heterogeneidade na distribuição desta fase (placas combustíveis empolam através destas áreas quando gases de fissão são coletados durante a irradiação).

A influência da morfologia sobre a resistência destas partículas pode ser analisada sob o seguinte aspecto: quanto maior a angulosidade das partículas maior será a probabilidade desta se fragmentar durante a deformação mecânica. Uma partícula angulosa apresenta regiões que facilmente se rompem durante os passos de laminação. Partículas combustíveis que se aproximam mais da forma esférica, além de atenderem às características de uma dispersão ideal, podem "rolar" por entre a matriz durante a deformação, diminuindo a probabilidade de fragmentação /54/.

#### 3.4.3 Massa específica da partícula combustível

A massa específica pode ser a priori uma indicação direta de sua resistência quando a sua forma for esférica /55/. Partículas combustíveis com alta concentração de poros interconectados tem maior facilidade de se romper face à pequena resistência das áreas de contato das regiões que envolvem esses poros. A fragmentação destas partículas pouco densas não é desejável em termos do desempenho sobre irradiação, pois proporciona um aumento da sua área de superfície específica, com um consequente aumento da probabilidade de ocorrência de reações químicas matriz-partícula /55/.

Apesar de tornar as partículas combustíveis mais frágeis, uma pequena quantidade de poros deve existir nestas partículas para que as mesmas possam armazenar ao longo da queima os gases gerados pelas fissões. Ao armazenarem estes gases, as partículas estarão contribuindo para uma redução do inchamento das placas combustíveis durante a irradiação /56/.

A massa específica das partículas combustíveis deve ser alta para evitar a sua fragmentação durante as etapas de fabricação. Entretanto, nunca deve atingir 100% da densidade teórica, garantindo desta forma a existência de uma pequena quantidade de vazios para acomodar os produtos de fissão gerados ao longo da queima /57/. Sendo assim, o valor de massa específica para as partículas de UAl<sub>x</sub> (UAl<sub>3</sub> + UAl<sub>4</sub>) deve ser superior a  $6,3 \text{ g/cm}^3$  /58,59/.

## 3.4.4 Área da superfície específica da partícula combustível

Superfície específica dos grãos é a área superficial do grão em relação ao seu volume. Quanto menor o tamanho do grão, maior é a superfície específica. A área de superfície da partícula combustível tem grande influência sobre a quantidade de reação entre elas e a matriz metálica que as envolvem. O aumento da área de superfície específica proporciona um melhor contato entre os reagentes, aumentando a probabilidade de reação sob condições apropriadas /55/.

Partículas combustíveis de forma irregular e de cantos vivos, com porosidade aberta e superfície rugosa, apresentam maior área de superfície específica do que partículas arredondadas, superficialmente lisas e com alta densidade aparente /54/.

A área de superfície específica das partículas combustíveis deve ser baixa para evitar a ocorrência de reações químicas matriz-partícula durante as etapas de fabricação e ao longo da queima das placas combustíveis. O valor de área da superfície específica para as partículas de UAl<sub>x</sub> deve ser inferior a 0,13 m<sup>2</sup>/g /55/.

#### **3.4.5 Fração em volume do combustível**

Placas combustíveis com uma baixa fração em volume de combustível apresentam um menor número de partículas combustíveis por unidade de volume do cerne do que uma placa com uma fração em volume de combustível mais alta (se o diâmetro da partícula combustível for mantido constante), como pode ser observado na Figura 3-7 /47/. A distância média entre as partículas tende a ser maior no primeiro caso do que no segundo.



FIGURA 3-7: Placas combustíveis compostas de dispersões U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>-Al com diferentes concentrações em volume da fase físsil: A) 27% em volume de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>; B) 45% em volume de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>

Como foi visto anteriormente, quanto menor a distância entre partículas, maior será a probabilidade das regiões danificadas pelos fragmentos de fissão (ao redor das partículas) se sobreporem ao longo da queima, logo, uma maior concentração em volume de combustível no cerne pode comprometer as propriedades da matriz.

O aumento da porcentagem em volume de combustível também causa problemas às placas combustíveis durante as etapas de fabricação (que afetarão, consequentemente, o desempenho das mesmas sobre irradiação). Estes problemas estão relacionados ao "dogboning" e aos "white spots" /60/.

O "dogboning" (Figura 3-8) é um espessamento de combustível de grande magnitude nas extremidades da placa, em decorrência das etapas de laminação (devido à existência de alta concentração em peso do material físsil na placa combustível).



FIGURA 3-8: Placa combustível com ocorrência de "dogboning"

Estes espessamentos são prejudiciais, pois proporcionam uma diminuição da espessura do revestimento da placa e resultam em aumentos de temperatura significativos nestas regiões durante a irradiação (em função de acumular maiores quantidades de combustíveis nesta região).

Os "white spots" são partículas combustíveis fora do cerne da placa combustível. Estas partículas ficam localizadas entre a moldura e o revestimento, podendo ser detectadas apenas nas radiografias das placas (como pontos brancos nestas regiões). A ocorrência deste fenômeno pode proporcionar escape de produtos de fissão ao longo da queima /60/. Para prevenir a formação do "dogboning" e dos "white spots" a fração em volume do combustível na placa deve ser limitada em 45-50% /37/.

Além das variáveis acima, as seguintes especificações técnicas podem ser descritas para as partículas combustíveis:

#### - Concentração isotópica:

Por imposição da Agência Internacional de Energia Atômica a concentração isotópica deve ser sempre inferior a 20% em peso de  $^{235}$ U /60/.

### -Conteúdo de urânio:

Para o UAl<sub>x</sub> (UAl<sub>3</sub> + UAl<sub>4</sub>) deve ser: Al + (69,0 $\pm$ 3,0)% em peso de urânio /60,61,62/.

### -Teor de umidade:

O teor de umidade nas partículas combustíveis deve ser menor que 1% /56/.

#### -Limitação de impurezas:

As impurezas são limitadas principalmente por razões neutrônicas, para evitar a ocorrência de absorções parasíticas de nêutrons durante a irradiação. A Tabela 3-1 apresentam os limites máximos de impurezas especificados para as partículas de  $UAl_x$ /48,60,63/.

Elemento	Valor Especificado (ppm)
В	5-10
С	2000-3000
Cd	10
Со	10
Cu	80
Fe	1500
Н	200
Li	10
Ν	500
0	7000-7500
Si	2000
Zn	1000

TABELA 3-1: Limites de impurezas nas partículas de UAl<sub>x</sub>

As variáveis relativas às partículas combustíveis (diâmetro, morfologia, área de superfície específica e densidade) devem ser devidamente combinadas para favorecer a mistura destas com as partículas de alumínio e ao mesmo tempo para impedir que as mesmas segreguem durante a etapa de homogeneização. Heterogeneidades na dispersão, originadas nesta etapa, provocarão anisotropia de propriedades no cerne compactado e laminado, podendo comprometer desta forma o desempenho das placas combustíveis durante a irradiação /54/.

Para alcançar boa homogeneidade na fase de mistura das partículas combustíveis e das partículas de alumínio, as seguintes especificações devem ser previstas para a partícula de alumínio:

#### -Diâmetro da partícula de alumínio:

O diâmetro das partículas de alumínio deve ser inferior a 150  $\mu$ m para garantir que seja atingido um elevado grau de homogeneidade quando estas partículas forem misturadas com as partículas combustíveis. Para as partículas de alumínio, no entanto, é permitida a presença de um porcentual de finos (< 44  $\mu$ m) de até 90% em peso /54/.

#### -Limitação de impurezas na partícula de alumínio:

As impurezas são limitadas por razões neutrônicas para evitar a ocorrência de absorções parasitárias de nêutrons durante a irradiação a Tabela 3-2 apresenta o limite de impurezas especificado para as partículas de alumínio /48/.

O Centro de Engenharia Nuclear (CEN) gerou as especificações técnicas preliminares para a fabricação das miniplacas contendo em seu interior a dispersão de UAl<sub>x</sub>-Al com revestimento de alumínio para serem empregadas em testes no Reator IPEN-MB/01. Na especificação técnica apresentada no Anexo B é feita uma descrição dos materiais e requisitos a serem utilizados na fabricação dos componentes das miniplacas pelo Centro do Combustível Nuclear (CCN) do IPEN/CNEN-SP.
Elemento	Valor especificado (ppm)					
В	10					
Cd	10					
Со	10-30					
Cu	80-200					
Fe	3500-4000					
Li	10-80					
Mg	150-500					
Mn	300-500					
Si	2500-3000					
Ti	200-300					
Zn	300-1000					

TABELA 3-2: Limites de impurezas nas partículas de alumínio

# 4. METODOLOGIA PARA AS ANÁLISES NEUTRÔNICA E TERMO-HIDRÁULICA

#### 4.1 Avaliação neutrônica

A inserção do DIM, com dez alvos de  $UAl_x$ -Al na forma de miniplacas, no núcleo do reator IEA-R1 acarretará em mudanças nas características neutrônicas do reator (k-efetivo, densidade de potência e fluxo de nêutrons), de forma que essas mudanças podem influenciar diretamente nos parâmetros de operação do reator. Portanto, a realização de qualquer irradiação de alvos em um reator nuclear deve ser precedida por uma análise neutrônica, a fim de avaliar o impacto destes alvos no mesmo.

## 4.1.1 Programa computacional HAMMER-TECHNION e CITATION

O núcleo do reator IEA-R1 é composto por combustíveis e materiais que estão distribuídos em diferentes regiões do mesmo. Cada material possui uma seção de choque característica para cada faixa de energia dos nêutrons incidentes, de forma que para se calcular essas seções de choque é necessário discretizar o maior número de materiais e regiões para se gerar um maior banco de dados de seções de choque para uma faixa de energia dos nêutrons.

O programa computacional HAMMER-TECHNION /21/ faz cálculos celulares em multigrupos de energia para obter seções de choque colapsadas e parâmetros macroscópicos de célula unitária homogeneizada para poucos grupos de energia (2, 3 ou 4). Utilizando o programa HAMMER-TECHNION /21/ foram modeladas quatro regiões para gerar os parâmetros celulares do DIM:

- coeficiente de difusão médio D;
- seção de choque de absorção Σ<sub>a</sub>; e
- seção de choque de fissão  $\Sigma_{f.}$

Esses parâmetros serviram como dados de entrada para o programa CITATION /20/ que a partir dos mesmos gera o k-efetivo, fluxo de nêutrons e densidade de potência, parâmetros estes que, como dito anteriormente, irão determinar o impacto da inserção do DIM na placa matriz do reator.

O código CITATION /20/ é um programa desenvolvido para ser operacional em um computador do tipo IBM 360/75. Este código tem como linguagem de programação o FORTRAN IV. O CITATION é projetado para resolver problemas envolvendo a teoria de difusão de nêutrons em multigrupo sob a representação de diferenças finitas, tratando problemas em até três dimensões com espalhamento de grupo para grupo. Podem ser tratadas as seguintes geometrias: x-y-z,  $\theta$ -r-z, hexagonal-z e triagonal-z /45/.

O método de solução empregado pelo código é o de aproximações de diferenças finitas do espaço /64/. Problemas de autovalor do fluxo de nêutrons são resolvidos por iteração direta para determinar o fator de multiplicação ou densidades de nuclídeos para um sistema crítico /64,65/.

Para definir o impacto no núcleo devido à inserção do DIM, contendo 10 alvos tipo miniplacas de UAl<sub>x</sub>-Al com 2,899 gU/cm<sup>3</sup>, na placa matriz do reator, foi analisada a situação crítica de operação do reator que ocorre com o DIM posicionado no local do irradiador de berílio (posição central do núcleo) e o reator operando a 5 MW. Foi escolhida a posição central no núcleo para alojar o DIM durante a irradiação por ser o local de maior fluxo neutrônico, a fim de se obter um maior número de fissões do  $^{235}$ U e consequentemente uma maior produção de  $^{99}$ Mo.

As regiões modeladas no CITATION foram dispostas em uma geometria x-y-z sendo cada eixo divido em mechas, de forma que:

- x, que corresponde à largura do núcleo de 109,672 cm, foi divido em 136 mechas;
- y, que corresponde ao comprimento do núcleo de 129,00 cm, foi dividido em 148 mechas; e
- z, que corresponde à altura de 122,74 cm dos elementos combustíveis e irradiadores fixos na placa matriz por um bocal, foi divido em 82 mechas.

O Apêndice A apresenta os dados de entrada (input) da modelagem utilizada no programa CITATION para o cálculo tridimensional do núcleo. Com esta modelagem foi possível determinar o fluxo de nêutrons e a densidade de potência dissipada pelas miniplacas. Os resultados são apresentados no Capitulo 5.

A origem dos eixos x-y-z ficou posicionada num plano situado 18,14 cm acima da extremidade superior do DIM (o eixo z é orientado de forma descendente), de forma que as mechas consideradas na modelagem ficaram posicionadas no cerne das miniplacas conforme a Figura 4-1.



FIGURA 4-1: Posicionamento das mechas (eixo z) nas miniplacas

Como pode ser observada na Figura 4-1, a parte ativa das miniplacas (cerne) se encontra entre as mechas 37 e 47 (região tracejada em negrito), a densidade de potência dissipada nesta região é a que será verificada a fim de serem feitas as análises termohidráulicas.

#### 4.1.2 Teoria da difusão

Os nêutrons movem-se em um reator em complicados trajetos de zigue-zague devido às reações de espalhamento, absorção e fissão com os núcleos dos materiais que compõem o reator. Em consequência dessa movimentação, nêutrons que estavam originalmente em uma parte do reator movendo-se em uma direção particular e com uma energia particular, após espalhamentos, fissões e absorções, aparecem um tempo depois em outra parte do sistema, movendo-se em outra direção com alguma outra energia. Esse fenômeno pode ser descrito pela equação de transporte de Boltzmann /29/. Em reatores nucleares devido a prevalência de reações de espalhamento uma aproximação da teoria de transporte é utilizada: a teoria da difusão de nêutrons, baseada na lei de Fick /66/.

Mas embora seja uma aproximação da equação de transporte, o uso da equação da difusão fornece resultados suficientemente precisos para a solução exata da equação de transporte e, devido à sua simplicidade, é comumente usada em muitos problemas de projetos de reatores /66/.

De acordo com a lei de Fick, nas situações nas quais existem gradientes de concentração de uma substância, ou de temperatura, produz-se um fluxo de partículas ou de calor que tende a homogeneizar a dissolução e uniformizar a concentração ou a temperatura. Assim, os processos físicos de difusão podem ser vistos como processos físicos ou termodinâmicos irreversíveis.

A lei de Fick fornece a relação entre fluxo e corrente:

$$J = -D\nabla\phi \tag{4-1}$$

onde **J** é a corrente de nêutrons em n/cm<sup>2</sup>.s, D é o coeficiente de difusão e  $\nabla \phi$  representa o gradiente de fluxo de nêutrons.

Em situações onde o meio que os nêutrons se difundem é uniforme ou homogênio, a equação de difusão de nêutrons é dada como:

$$D\nabla^2 \phi - \Sigma_a \phi + \upsilon \Sigma \phi = \frac{1}{\upsilon} \frac{\partial \phi}{\partial t}$$
(4-2)

A maioria dos problemas de projeto necessita de soluções em estado estacionário. Normalmente, elimina-se a dependência temporal introduzindo um fator k, denominado fator efetivo de multiplicação, para realizar o balanço de nêutrons dividindo o termo de fissão. A equação de difusão se transforma em uma equação de autovalor, cuja solução fornece o fluxo de nêutrons e o autovalor fornece o fator efetivo de multiplicação.

$$-D\nabla^2 \phi + \Sigma_a \phi = \frac{\upsilon}{k} \sigma_f \phi \tag{4-3}$$

onde,

 $\nabla^2$  é o operador Laplaciano em geometria retangular;  $\Sigma_a$  é a seção de choque macroscópica de absorção em cm<sup>-1</sup>; e v é o número de nêutrons produzidos por fissão.

Esta equação é resolvida na aproximação de multigrupos de energia pelo código CITATION /20/.

## 4.2 Avaliação termo-hidráulica

Como visto anteriormente o núcleo do reator IEA-R1 é composto por EC, ECT, elementos irradiadores e refletores que são acoplados em uma placa matriz e imersos em uma piscina de água leve desmineralizada, que além de moderador para os nêutrons rápidos é utilizada para refrigeração dos componentes do reator.

Com a irradiação do DIM e fissão do material combustível uma certa quantidade de calor será gerada e deverá ser refrigerada. Para refrigerar as miniplacas, parte do fluido refrigerante que circula pelo núcleo será destinado a passar pelo DIM, que também está alojado na placa matriz do reator IEA-R1. Desta forma é necessário desenvolver uma análise termo-hidráulica do dispositivo, a fim de determinar qual a vazão mínima suficiente para refrigerar as miniplacas sem que o resfriamento dos elementos combustíveis que compõem o núcleo do reator seja prejudicado.

#### 4.2.1 Modelo térmico MTRCR-IEAR1

O modelo termo-hidráulico MTRCR-IEAR1 foi desenvolvido no IPEN/CNEN-SP em 2000 usando o programa comercial Engineering Equation Solver (EES) /23/. Ele consiste de um conjunto de equações de balanço de fluxo de calor, correlações para cálculo do coeficiente de película, número de Reynolds, número de Prandt e condições de contorno que são resolvidas simultaneamente.

O uso desse modelo computacional permite uma análise termo-hidráulica de reatores de pesquisa com elementos combustíveis do tipo MTR, tendo os seguintes parâmetros calculados ao longo dos canais dos elementos combustíveis:

- temperatura no centro do combustível T<sub>c</sub>;
- temperatura no revestimento T<sub>r</sub>;
- temperatura no fluido refrigerante T<sub>f</sub>;
- temperatura para inicio de ebulição nucleada (Onset of Nucleate Boiling -ONB) T<sub>onb</sub>;
- fluxo crítico de calor (Departure of Nucleate Boiling DNB);
- instabilidade do fluxo e as margens de segurança termo-hidráulicas MDNBR e FIR.

As margens de segurança termo-hidráulicas MDNBR e FIR são calculadas como a relação entre, respectivamente, o fluxo de calor crítico e o fluxo de calor para instabilidade do fluxo, e o fluxo de calor local. Além disso, o modelo MTCR-IEAR1 também utiliza no cálculo as incertezas envolvidas no cálculo termo-hidráulico, por exemplo, incertezas de fabricação do combustível, erro no cálculo de distribuição de densidade de potência, na distribuição de vazão no núcleo e nas margens de segurança para os coeficientes de transferência de calor.

Para efetuar os estudos de projeto de elementos combustíveis do tipo placa MTR certos critérios e limites termo-hidráulicos são estabelecidos, de forma a não ocorrer uma mudança geométrica acentuada no elemento combustível e permitir o seu correto funcionamento durante o tempo de permanência no reator. Estes critérios são baseados na metodologia do TECDOC 231 da IAEA /67/, seguindo as orientações estabelecidas no "Safety Series SS35" /68/. Com base nessas premissas, os seguintes critérios e limites de projeto são considerados nas análises de miniplacas para qualificação de combustíveis /45/:

- temperatura de mistura do refrigerante < 100 °C;
- temperatura média na superfície do revestimento da miniplaca combustível
   < 95 °C, para evitar uma probabilidade alta de corrosão do revestimento;</li>
- temperatura máxima na superfície do revestimento da miniplaca combustível inferior à temperatura de ONB (T<sub>ONB</sub>);
- velocidade de escoamento no canal de refrigeração inferior à velocidade crítica de instabilidade mecânica da miniplaca combustível;
- a margem de segurança para o inicio da instabilidade de fluxo (FIR) deve ser superior a 2,0, ou seja, a relação entre o fluxo de calor para instabilidade de fluxo e o fluxo de calor local deve ser superior a 2,0; e
- a margem de segurança para o fluxo de calor crítico (MDNBR) deve ser superior a 2,0, ou seja, a relação entre o fluxo de calor crítico e o fluxo de calor local deve ser superior a 2,0.

No caso dos alvos utilizados neste trabalho, foram considerados os seguintes limites: 1) nenhum material deverá atingir uma temperatura maior do que ½ da temperatura de fusão. A menor temperatura de fusão entre os materiais do alvo é a do alumínio no revestimento, que é de 660 °C. Então, a máxima temperatura permitida no alvo é de 330 °C; 2) o fluido refrigerante deverá ser mantido abaixo de sua temperatura de saturação. Neste caso, a temperatura limite na superfície do revestimento deverá ser inferior à temperatura para inicio de ebulição nucleada (T<sub>ONB</sub>).

As curvas de densidades de potência geradas com o programa CITATION (Capitulo 5) foram utilizadas como parte dos dados de entrada no código MTRCR-IEAR1. O Apêndice B apresenta esses dados de entrada para o programa fonte do MTRCR-IEAR1 adaptado. As adaptações foram necessárias, pois originalmente o modelo foi desenvolvido para a análise de um EC padrão do reator IEA-R1, que possui 17 canais internos de refrigeração /23/, mas no caso do estojo que aloja as miniplacas no interior do DIM existem 9 canais internos. Os resultados obtidos nas análises são descritos no Capitulo 5 desta dissertação.

A Tabela 4-1 apresenta os dados geométricos relativos ao DIM que foram usados no MTRCR-IEAR1.

Largura do Canal de Refrigeração (mm)	47
Largura Ativa da Miniplaca (mm)	40
Espessura do Canal (mm)	3,7
Espessura da Miniplaca (mm)	1,52
Espessura do Cerne da Miniplaca (mm)	0,76
Espessura do Revestimento (mm)	0,38
Altura Total do Canal (mm)	170
Número de Canais	9

**TABELA 4-1:** Dados geométricos do DIM

#### 4.2.2 Equações de transferência de calor

A Figura 4-2 representa esquematicamente uma placa combustível de um elemento combustível tipo MTR como os utilizados no reator IEA-R1 /44/. Nesta, as dimensões na direção y e z são grandes comparadas com aquela na direção x e o fluxo de calor pode ser considerado unidimensional (direção x, somente). O estudo abrange apenas condições de operação estacionárias do reator, de maneira que as temperaturas são independentes do tempo. Como a intensidade da fonte de calor volumétrica (q"') é constante, através de uma seção transversal elementar, o calor é conduzido igualmente nas direções +x e -x, e no plano médio x = 0 ocorre a maior temperatura. Por simplificação, o fluxo de calor será tratado em uma única metade do elemento na direção +x.

A equação de Fourier que define a relação entre o fluxo de calor e o gradiente de temperatura para condução de calor unidimensional é dada por:

$$Q = -kA \frac{dT}{dx}$$
(4-4)

onde Q é a taxa de transferência de calor (Joule/s = W), A é a área através da qual o calor é transferido (m<sup>2</sup>), dT/dx é o gradiente de temperatura no ponto considerado (°C/m) e k é a

condutividade térmica do material (W/m°C). O sinal negativo indica que o calor é transferido na direção de temperaturas decrescentes.

A equação (4-4) pode ser reescrita como:

$$\frac{Q}{A} = q'' = -k\frac{dT}{dx}$$
(4-5)

onde q" é o fluxo de calor (W/m<sup>2</sup>). A perda de calor por intermédio da condução pode ser generalizada para abranger um meio tridimensional, resultando:

Taxa de perda de calor por condução / unidade de volume = 
$$-k \cdot \nabla^2 T$$
 (4-6)

onde o operador laplaciano  $\nabla^2$  pode ser escrito em coordenadas retangulares, cilíndricas ou esféricas de acordo com a forma geométrica do meio no qual ocorre a condução de calor.

A equação geral para condução de calor em um meio tridimensional no qual energia é liberada (por exemplo, como resultado de fissão nuclear) resulta, por unidade de volume:

$$\begin{pmatrix} \text{Taxa da variação da} \\ \text{energia interna do meio} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{Taxa de geração} \\ \text{de energia do meio} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \text{Taxa de condução de} \\ \text{calor para fora do meio} \end{pmatrix}$$

ou, em termos matemáticos:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = q^{\prime \prime \prime} + \nabla . (k \nabla T)$$
(4-7)

onde  $\rho$  é a massa específica do material (kg/m<sup>3</sup>), c é o calor específico do material (J/kg.°C), q''' é a taxa de liberação de energia no meio (W/m<sup>3</sup>) e  $\nabla$  é o operador gradiente.

Considerando-se apenas as condições estacionárias em um reator, de maneira que as temperaturas são independentes do tempo, e se além deste fato, a condutividade térmica k do meio material também é considerada constante, a equação (4-7) pode ser simplificada, resultando:

$$\nabla^2 T = \frac{q'''}{k} \tag{4-8}$$

A figura 4-2 mostra um elemento combustível tipo placa, no qual o combustível nuclear de espessura 2a se encontra emoldurado em ambos os lados por um revestimento de espessura b.

No combustível nuclear a equação (4-8) é escrita como:

$$\frac{\mathrm{d}^2 \mathrm{T}}{\mathrm{d} \mathrm{x}^2} = -\frac{\mathrm{q}^{\prime\prime\prime}}{\mathrm{k}_\mathrm{F}} \tag{4-9}$$

onde,

k<sub>F</sub> é a condutividade térmica do material combustível em W/m°C;

T é temperatura em °C e;

q''' é a intensidade da fonte de calor volumétrica em W/cm<sup>3</sup>.



FIGURA 4-2: Representação esquemática de uma placa combustível

Considerando os valores da condutividade térmica e da taxa de liberação de energia como sendo constantes em meio ao combustível nuclear, a equação (4-9) pode ser integrada, resultando:

$$\frac{\mathrm{dT}}{\mathrm{dx}} = -\frac{\mathrm{x.q}^{\prime\prime\prime}}{\mathrm{k_F}} + \mathcal{C} \tag{4-10}$$

Quando x=0, (dT/dx) = 0 e portanto C=0. Integrando a equação (4-10) entre x=0 e x=a, é encontrado o resultado:

$$\Delta T_{\rm F} = \frac{a^2 \cdot q^{\prime\prime\prime}}{2k_{\rm F}} \tag{4-11}$$

onde  $\Delta T_F$  é a diminuição de temperatura do centro para a superfície do combustível nuclear. A distribuição de temperatura no interior do combustível nuclear é parabólica.

Não há liberação de energia no revestimento e o calor conduzido por unidade de volume através do mesmo em cada lado do combustível é igual a q''' (em unidades W/m<sup>3</sup>). Usando a equação (4-5) neste caso específico, resulta a expressão:

$$\frac{\mathrm{dT}}{\mathrm{dx}} = -\frac{\mathrm{a.q}^{\prime\prime\prime}}{\mathrm{k_{cl}}} \tag{4-12}$$

que integrada entre x = a e x = a + b, fornece:

$$\Delta T_{cl} = \frac{a.b.q'''}{k_{cl}}$$
(4-13)

onde  $\Delta T_{cl}$  é a diminuição de temperatura da superfície interna (em contato com o combustível nuclear) para a superfície externa (em contato com o refrigerante) do revestimento.

A diminuição total de temperatura do centro do combustível nuclear para a superfície externa do revestimento (desprezando qualquer variação de temperatura através da interface combustível nuclear/revestimento) é dada por:

$$\Delta T_{\rm F} + \Delta T_{\rm cl} = a. q^{\prime\prime\prime}. \left(\frac{a}{2k_{\rm F}} + \frac{b}{k_{\rm cl}}\right)$$
(4-14)

A equação geral para transferência de calor por convecção entre uma superfície e um fluido que escoa ao longo desta superfície é dada pela equação de Newton do resfriamento:

$$q = h. A. \Delta T \tag{4-15}$$

ou ainda,

$$q'' = h.\,\Delta T \tag{4-16}$$

onde,

q é a energia transferida para o fluido por unidade de tempo (J/s = W);

 $\Delta T$  é a diferença entre a temperatura da superfície e a temperatura da massa de fluido que escoa ao longo da superfície (°C);

h é o coeficiente de transferência de calor  $(W/m^{2\circ}C)$ ;

A é a área da superfície em contato com o fluido  $(m^2)$  e;

q" é a energia transferida para o fluido por unidade de tempo e por unidade de área (J/s.m<sup>2</sup> = W/m<sup>2</sup>).

Um balanço de energia para o refrigerante que escoa passando por uma seção do combustível de comprimento dz em z (Figura 4-3) é dada por:

$$Q. c_p. dT_F = q'''. A_n. dz$$
 (4-17)

onde,

Q é a vazão mássica do refrigerante que escoa passando pela seção mencionada (Kg/s);

 $c_p$  é o calor específico do refrigerante (J/Kg.°C);

 $dT_F$  é o aumento de temperatura do refrigerante no comprimento dz (°C);

 $A_n$  é a área transversal do elemento combustível (m<sup>2</sup>) e;

q"" é a intensidade da fonte térmica volumétrica (W/cm<sup>3</sup>).



FIGURA 4-3: Seção diferencial da placa combustível (dz)

A equação (4-17) expressa a transferência de calor por convecção da superfície externa do revestimento para o refrigerante. O principal problema que surge ao utilizá-la consiste em determinar o coeficiente de transferência de calor h. O método mais comum para correlacionar dados de transferência de calor por convecção utiliza equações adimensionais nas quais as propriedades do fluido, dimensões do sistema e outras características relevantes são arranjadas em grupos adimensionais. As constantes que aparecem nestas equações são determinadas experimentalmente. O escoamento em um reator nuclear ocorre por meio da convecção forçada uma vez que o fluido é bombeado através do núcleo do reator. Os grupos adimensionais geralmente usados em equações que descrevem a convecção forçada são:

O número de Reynolds – 
$$Re = \rho. v. D_h/\mu$$
 (4-18)

O número de Prandtl – 
$$Pr = c_p \cdot \mu / k_{fluido}$$
 (4-19)

O número de Nusselt – 
$$Nu = h. D_h/k_{fluido}$$
 (4-20)

As quantidades envolvidas são a viscosidade do fluido ( $\mu$ ), a condutividade térmica do fluido ( $k_{fluido}$ ), a massa específica do fluido ( $\rho$ ), o calor específico ( $c_p$ ), a

velocidade de escoamento do fluido (v) e o diâmetro efetivo do canal no qual o fluido escoa. O diâmetro hidráulico,  $D_h$ , é definido como sendo:

 $D_h = 4.$ Área de escoamento/perímetro em contato com o fluido (perímetro molhado)

O número de Reynolds, que constitui uma medida da razão entre a inércia e as forças viscosas em um fluido em circulação, caracteriza o escoamento. Em particular, a transição entre escoamento laminar e turbulento ocorre para valores de Re da ordem de 2000. O número de Prandtl depende apenas das propriedades do fluido, sendo dado pela razão entre a viscosidade cinemática e a difusividade térmica. Esse número determina a maneira pela qual a temperatura e velocidade do fluido variam próximo da parede em que o mesmo escoa e no qual está sendo aquecido e resfriado.

Para a placa combustível e de acordo com a equação (4-15), o calor transferido entre o refrigerante e a superfície do revestimento é dado por:

$$q_s = h.A.(T_r - T_{fluido})$$
(4-21)

onde, h é o coeficiente de transferência de calor por convecção (W/cm<sup>2</sup>°C), T<sub>r</sub> é a temperatura da superfície externa do revestimento e  $T_{fluido}$  é a temperatura do refrigerante. Para reatores MTR, a correlação de Dittus-Boelter é utilizada /69/, fornecendo:

$$h = (Nu. k_{fluido} / D_h) = 0.023 (k_{fluido} / D_h) Re^{0.8} Pr^{0.4}$$
(4-22)

# 4.2.3 Velocidade crítica de escoamento do fluido refrigerante

Nos canais de refrigeração pode não existir um paralelismo perfeito entre as placas combustíveis devido às tolerâncias existentes na fabricação e/ou pelo inchamento do combustível causado pelos produtos de fissão produzidos durante o período de irradiação, de forma que alguns canais poderão ficar mais fechados que outros. Pela Equação da Continuidade

$$\mathbf{A}_1 \mathbf{v}_1 = \mathbf{A}_2 \mathbf{v}_2 \tag{4-23}$$

onde,

 $A_1 e A_2 s$ ão áreas distintas em um mesmo canal (m<sup>2</sup>) e; v<sub>1</sub> e v<sub>2</sub> as velocidades de escoamento em A<sub>1</sub> e A<sub>2</sub> (m/s).

e pelo princípio de Bernoulli:

$$p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} + \rho g h_1 = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho g h_2$$
(4-24)

onde,

 $p_1$  e  $p_2$  são as pressões em bar, respectivamente, nas alturas  $h_1$  e  $h_2$  em m ao longo do canal;

 $\rho$  é a densidade do fluido refrigerante em kg/m<sup>3</sup> e;

g é a aceleração da gravidade em m/s<sup>2</sup>.

Conclui-se que num estreitamento de canal, ocorre um aumento de velocidade do fluido refrigerante e queda de pressão estática. A velocidade crítica do refrigerante é definida como aquela que torna o gradiente de pressão na placa combustível da ordem de sua carga crítica de flambagem. A esta velocidade, as placas tornam-se instáveis e grandes deflexões podem ocorrer. Estas deflexões causam um sobreaquecimento das placas combustíveis, com possível bloqueio do fluido refrigerante. Um critério de projeto estabelecido é manter a velocidade do fluido refrigerante abaixo de 2/3 da velocidade crítica /70/.

A velocidade critica é dada pela formula de Miller /70/:

$$\mathbf{v}_{\rm crit} = \left[\frac{15*10^5 \mathrm{E}(\mathrm{e}_{\mathrm{p}}^3 - \mathrm{e}_{\rm cer}^3)\mathrm{e}_{\mathrm{c}}}{\rho \mathrm{L}_{\mathrm{c}}^4 (1 - \mathrm{v}^2)}\right]^{1/2} \tag{4-25}$$

onde,

E é o módulo de elasticidade de Young (bar); e<sub>p</sub> é a espessura da placa combustível (cm); e<sub>cer</sub> é a espessura do cerne combustível (cm);  $e_c$  é a espessura do canal de refrigeração (cm);

- L<sub>c</sub> é a largura do canal de refrigeração (cm);
- v é a razão de Poisson (adimensional).

# 4.2.4 Inicio de ebulição nucleada

O fluxo de calor para o qual se tem o início da ebulição nucleada ("Onset of Nucleate Bolling" - ONB) é um regime de transferência de calor que deve ser identificado por considerações hidráulicas e de transferência de calor, isto é, escoamento bifásico versus escoamento monofásico, pois causa oscilações no fluido refrigerante, induzindo a um fluxo de calor crítico prematuro.

Em condições de ONB, a temperatura na superfície do revestimento na qual ocorre ebulição nucleada para uma dada pressão local do refrigerante e fluxo de calor superficial pode ser expressa pela correlação de Bergies e Rohsenow /71/:

$$T_{s} = T_{sat} + \frac{5}{9} \left[ \frac{9,23 \, q''}{P^{1,56}} \right]^{\frac{P^{0,0234}}{2,16}}$$
(4-26)

onde,

 $T_s$  é a temperatura da superfície do revestimento (°C);  $T_{sat}$  é a temperatura de saturação da água na pressão P (°C); q" é o fluxo de calor local (W/cm<sup>2</sup>) e;

P é a pressão na saída do canal (bar abs).

#### 4.2.5 Instabilidade no escoamento do fluido refrigerante

Um aumento da potência fornecida ao canal de refrigeração pode levar a formação de bolhas (ebulição sub-resfriada). As bolhas maiores podem obstruir o canal de refrigeração forçando a fase liquida a acelerar para que a vazão mantenha-se constante. O aumento na velocidade do fluido refrigerante pode levar a um bloqueio completo do canal devido à queda de pressão.

O fluxo de calor médio para partida da instabilidade no escoamento do fluido pode ser expresso em termos da velocidade, geometria do canal e propriedades do fluido por /71/:

$$q_{m\acute{e}dio}^{\prime\prime} = \rho \frac{Rc_p V D_h}{4L_c} (T_{sat} - T_{in})$$
(4-27)

onde,

q"médio é o fluxo de calor médio para instabilidade de fluxo (w/cm<sup>2</sup>);

 $\rho$  é a densidade da água (g/cm<sup>3</sup>);

R é a razão entre a subida da temperatura da água na condição de pressão mínima e a diferença entre a temperatura de saturação na saída do canal e a temperatura de entrada;

 $c_p$  é o calor específico da água (J/g°C);

V é a velocidade da água no canal (m/s);

D<sub>h</sub> é o diâmetro hidráulico (m); e

 $T_{in}$  é a temperatura de entrada do fluido no canal em °C.

# 4.2.6 Fluxo de calor crítico

O fluxo de calor crítico (Departure from Nucleate Boiling – DNB) para regimes descendentes pode ser determinado pela correlação de Labunstov /72/:

$$\mathbf{q_{c}^{\prime\prime}} = 145,4 \,\theta(\mathbf{p}) \left[\frac{1+2,5V^{2}}{\theta(\mathbf{p})}\right]^{\frac{1}{4}} \left[\frac{1+15,1c_{\mathbf{p}}\Delta T_{sub}}{\lambda P^{0,5}}\right]$$
(4-28)

$$\theta(p) = 0.99531 P^{\frac{1}{3}} \left(1 - \frac{P}{P_c}\right)^{\frac{4}{3}}$$
 (4-29)

$$\Delta T_{sub} = T_{sat} - T_{in} - \Delta T_c \tag{4-30}$$

onde,

P<sub>c</sub> é a pressão crítica (bar);

 $\lambda$  é o coeficiente de vaporização (J/g°C); e

 $\Delta T_c$  é a subida de temperatura no canal de refrigeração (°C).

## 5. **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

#### 5.1 Resultados das análises neutrônicas

Os alvos de UAl<sub>x</sub>-Al foram modelados e simulados na posição central do núcleo do reator IEA-R1, no local onde se encontra o Elemento Irradiador de Berílio (EIBE). Essa posição proporcionará um alto "burnup" e uma maior atividade de <sup>99</sup>Mo produzida ao final da irradiação.

Para definir o impacto no núcleo devido à inserção do DIM na placa matriz do reator e a quantidade de <sup>99</sup>Mo produzida, foi analisada a situação crítica de operação do reator que ocorre com o DIM contendo 10 miniplacas alvos de UAl<sub>x</sub>-Al com 2,889 gU/cm<sup>3</sup>, irradiadas na posição central do núcleo do reator operando na potência de 5 MW.

Com a modelagem tridimensional do núcleo no CITATION foi possível determinar o k-efetivo, o fluxo de nêutrons e a densidade de potência para qualquer posição ao longo do eixo z do DIM.

A verificação da influência do DIM sobre o k-efetivo do núcleo foi obtida considerando dois casos: no primeiro sem o DIM estar inserido e no segundo, com o DIM (com os 10 alvos) inserido no reator.

No primeiro caso, o valor do k-efetivo foi de 1,0613 e no segundo foi de 1,0652, dando uma diferença de +390 pcm. Ou seja, há uma inserção de reatividade positiva quando o DIM é posicionado no núcleo do reator. Essa reatividade inserida é pequena e inferior ao máximo admitido por experimentos (< 1000 pcm /73/).

A quantidade de <sup>99</sup>Mo produzida em reatores nucleares é uma função do tempo de irradiação; da massa e da seção de choque de fissão do <sup>235</sup>U; do fluxo de nêutrons no alvo; e da meia vida do <sup>99</sup>Mo (65,94 horas). Um tempo de irradiação de cerca de 5 a 7 dias é necessário para atingir as quantidades máximas de <sup>99</sup>Mo produzida nos alvos. Além desses tempos a quantidade produzida chega próximo ao equilíbrio com a quantidade perdida devido ao decaimento radioativo /27/. Com o intuito de comparar a potência dissipada e a quantidade de molibdênio produzida nas miniplacas, foram simulados três períodos diferentes de irradiação, sendo eles de 3, 5 e 7 dias.

As Tabelas 5-1, 5-2 e 5-3 apresentam as densidades de potência e os fluxos de nêutrons rápidos e térmicos no interior do DIM, calculados com o programa CITATION, para 3, 5 e 7 dias de irradiação, respectivamente.

Das tabelas pode ser observado que só existem densidades de potência dissipada entre as alturas de 60,23 e 70,85 cm (entre as mechas 38 e 47). Isso já era esperado, pois é nesta região que se encontra modelada a parte ativa (cerne) das miniplacas, e também, pode ser observado que a densidade de potência diminui com o aumento do tempo de irradiação.

Masha	= (	Densidade de Potência	Fluxo de nêutrons	Fluxo de nêutrons
		(W/cm <sup>3</sup> )	rápidos	térmicos
1	1.0000	0.0000E+00	9.4394E+10	1.4057E+11
2	3.0000	0.0000E+00	1.6285E+11	3.3700E+11
3	5.0000	0.0000E+00	2.5871E+11	5.7097E+11
4	7.0000	0.0000E+00	3.9801E+11	8.8932E+11
5	9.0000	0.0000E+00	6.0392E+11	1.3448E+12
6	11.0000	0.0000E+00	9.1043E+11	2.0047E+12
7	13.0000	0.0000E+00	1.3677E+12	2.9562E+12
8	15.0000	0.0000E+00	2.0493E+12	4.3070E+12
9	17.0000	0.0000E+00	3.0633E+12	6.1740E+12
10	19.0000	0.0000E+00	4.5651E+12	8.6458E+12
11	21.0000	0.0000E+00	6.7735E+12	1.1705E+13
12	23.0000	0.0000E+00	9.9777E+12	1.5146E+13
13	24.8567	0.0000E+00	1.4101E+13	1.8279E+13
14	26.5700	0.0000E+00	1.8705E+13	2.2200E+13
15	28.2833	0.0000E+00	2.4381E+13	2.7751E+13
16	29.8375	0.0000E+00	3.0486E+13	3.4161E+13
17	31.2325	0.0000E+00	3.6270E+13	4.0372E+13
18	32.6275	0.0000E+00	4.2143E+13	4.6752E+13
19	34.0225	0.0000E+00	4.8000E+13	5.3160E+13
20	35.4175	0.0000E+00	5.3788E+13	5.9521E+13
21	36.8125	0.0000E+00	5.9475E+13	6.5788E+13
22	38.2075	0.0000E+00	6.5038E+13	7.1932E+13
23	39.6025	0.0000E+00	7.0461E+13	7.7932E+13
24	40.9975	0.0000E+00	7.5731E+13	8.3771E+13
25	42.3925	0.0000E+00	8.0839E+13	8.9436E+13
26	43.7875	0.0000E+00	8.5775E+13	9.4917E+13
27	45.1825	0.0000E+00	9.0532E+13	1.0020E+14
28	46.5775	0.0000E+00	9.5106E+13	1.0528E+14
29	47.9725	0.0000E+00	9.9493E+13	1.1014E+14

TABELA 5-1: Parâmetros neutrônicos gerados pelo CITATION para 3 dias de irradiação

30 $49.3675$ $0.0000E+00$ $1.0370E+14$ $1.1476E+14$ 31 $50.7625$ $0.0000E+00$ $1.157E+14$ $1.230E+14$ 32 $52.1575$ $0.0000E+00$ $1.153E+14$ $1.233E+14$ 33 $53.5525$ $0.0000E+00$ $1.153E+14$ $1.2638E+14$ 34 $54.9475$ $0.0000E+00$ $1.2702E+14$ $1.2870E+14$ 35 $55.5425$ $0.0000E+00$ $1.2702E+14$ $1.2528E+14$ 36 $57.6900$ $0.0000E+00$ $1.370E+14$ $1.2027E+14$ 37 $58.9900$ $0.0000E+00$ $1.370E+14$ $1.003E+14$ 38 $60.2300$ $9.4661E+01$ $1.3774E+14$ $1.1003E+14$ 39 $61.4100$ $9.1569E+01$ $1.4401E+14$ $1.0426E+14$ 40 $62.5900$ $8.9993E+01$ $1.4301E+14$ $1.0223E+14$ 41 $63.7000$ $8.8045E+01$ $1.4378E+14$ $1.0232E+14$ 42 $64.3500$ $8.8694E+01$ $1.4738E+14$ $1.0232E+14$ 43 $66.1300$ $8.8519E+01$ $1.4378E+14$ $1.0232E+14$ 44 $67.3100$ $8.8519E+01$ $1.4325E+14$ $1.0223E+14$ 45 $68.4900$ $8.8519E+01$ $1.4325E+14$ $1.0276E+14$ 47 $7.8500$ $9.1807E+01$ $1.332E+14$ $1.0673E+14$ 48 $72.0900$ $0.0000E+00$ $1.2020E+14$ $1.1921E+14$ 49 $73.3900$ $0.0000E+00$ $1.0818E+14$ $1.1845E+14$ 51 $76.4400$ $0.0000E+00$ $1.0818E+14$ $1.1842E+14$ 52 $78.4000$					
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	30	49.3675	0.0000E+00	1.0370E+14	1.1476E+14
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	31	50.7625	0.0000E+00	1.0772E+14	1.1909E+14
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	32	52.1575	0.0000E+00	1.1159E+14	1.2303E+14
34 $54.9475$ $0.0000E+00$ $1.1907E+14$ $1.2870E+14$ 35 $56.3425$ $0.0000E+00$ $1.2291E+14$ $1.2896E+14$ 36 $57.6900$ $0.0000E+00$ $1.2702E+14$ $1.2528E+14$ 37 $58.9900$ $0.0000E+00$ $1.3170E+14$ $1.2027E+14$ 38 $60.2300$ $9.4661E+01$ $1.3774E+14$ $1.1003E+14$ 39 $61.4100$ $9.1569E+01$ $1.4401E+14$ $1.0621E+14$ 40 $62.5900$ $8.993E+01$ $1.4301E+14$ $1.0426E+14$ 41 $63.7700$ $8.9166E+01$ $1.4404E+14$ $1.0232E+14$ 42 $64.9500$ $8.8694E+01$ $1.4428E+14$ $1.0223E+14$ 43 $66.1300$ $8.8405E+01$ $1.4325E+14$ $1.0232E+14$ 44 $67.3100$ $8.8295E+01$ $1.4255E+14$ $1.0232E+14$ 45 $68.4900$ $8.819E+01$ $1.3323E+14$ $1.0025E+14$ 46 $69.6700$ $8.948E+01$ $1.3323E+14$ $1.0025E+14$ 47 $70.8500$ $9.1807E+01$ $1.3323E+14$ $1.0673E+14$ 48 $72.9900$ $0.0000E+00$ $1.2611E+14$ $1.1529E+14$ 49 $73.3900$ $0.0000E+00$ $1.2611E+14$ $1.1529E+14$ 50 $74.8400$ $0.0000E+00$ $1.2611E+14$ $1.1322E+14$ 51 $76.4400$ $0.0000E+00$ $1.098E+14$ $1.1322E+14$ 52 $78.400$ $0.0000E+00$ $1.098E+14$ $1.1322E+14$ 53 $79.6400$ $0.0000E+00$ $8.8667E+13$ $9.9372E+13$ 56 $84.$	33	53.5525	0.0000E+00	1.1535E+14	1.2638E+14
35 $56.3425$ $0.0000E+00$ $1.2291E+14$ $1.2896E+14$ $36$ $57.6900$ $0.0000E+00$ $1.3170E+14$ $1.2227E+14$ $37$ $58.9900$ $0.0000E+00$ $1.3170E+14$ $1.2027E+14$ $38$ $60.2300$ $9.4661E+01$ $1.3774E+14$ $1.1003E+14$ $39$ $61.4100$ $9.1569E+01$ $1.4101E+14$ $1.0621E+14$ $40$ $62.5900$ $8.9993E+01$ $1.4401E+14$ $1.0426E+14$ $41$ $63.7700$ $8.9166E+01$ $1.4404E+14$ $1.0023E+14$ $42$ $64.9500$ $8.8694E+01$ $1.4428E+14$ $1.0023E+14$ $44$ $67.3100$ $8.8595E+01$ $1.4255E+14$ $1.0023E+14$ $45$ $68.4900$ $8.8519E+01$ $1.3751E+14$ $1.0223E+14$ $45$ $68.4900$ $8.8519E+01$ $1.3323E+14$ $1.0673E+14$ $47$ $70.8500$ $9.1807E+01$ $1.3323E+14$ $1.0673E+14$ $48$ $72.0900$ $0.0000E+00$ $1.2020E+14$ $1.1559E+14$ $49$ $73.3900$ $0.0000E+00$ $1.2020E+14$ $1.1322E+14$ $51$ $76.4400$ $0.0000E+00$ $1.0818E+14$ $1.1845E+14$ $52$ $78.0400$ $0.0000E+00$ $9.5502E+13$ $1.0670E+14$ $53$ $79.6400$ $0.0000E+00$ $8.86072E+13$ $9.9372E+13$ $55$ $82.8400$ $0.0000E+00$ $8.3667E+13$ $9.9372E+13$ $55$ $82.9400$ $0.0000E+00$ $8.3667E+13$ $9.9372E+13$ $56$ $84.400$ $0.0000E+00$ $8.3667E+13$ <td< td=""><td>34</td><td>54.9475</td><td>0.0000E+00</td><td>1.1907E+14</td><td>1.2870E+14</td></td<>	34	54.9475	0.0000E+00	1.1907E+14	1.2870E+14
36 $57.6900$ $0.0000E+00$ $1.2702E+14$ $1.2528E+14$ $37$ $58.9900$ $0.0000E+00$ $1.3170E+14$ $1.2027E+14$ $38$ $60.2300$ $9.4661E+01$ $1.3774E+14$ $1.10031E+14$ $40$ $62.5900$ $8.9993E+01$ $1.4401E+14$ $1.0621E+14$ $40$ $62.5900$ $8.9993E+01$ $1.4404E+14$ $1.023E+14$ $41$ $63.7700$ $8.9166E+01$ $1.4404E+14$ $1.0232E+14$ $42$ $64.9500$ $8.8694E+01$ $1.4428E+14$ $1.0232E+14$ $44$ $67.3100$ $8.849E+01$ $1.4378E+14$ $1.0232E+14$ $44$ $67.3100$ $8.8395E+01$ $1.4325E+14$ $1.0232E+14$ $45$ $68.4900$ $8.8319E+01$ $1.3325E+14$ $1.0673E+14$ $47$ $70.8500$ $9.1807E+01$ $1.3322E+14$ $1.0673E+14$ $47$ $70.8500$ $9.1807E+01$ $1.3322E+14$ $1.1212E+14$ $50$ $74.8400$ $0.0000E+00$ $1.2611E+14$ $1.1559E+14$ $50$ $74.8400$ $0.0000E+00$ $1.0198E+14$ $1.1322E+14$ $51$ $76.4400$ $0.0000E+00$ $1.0198E+14$ $1.1845E+14$ $52$ $78.0400$ $0.0000E+00$ $8.867E+13$ $9.9372E+13$ $55$ $82.8400$ $0.0000E+00$ $8.7777E+13$ $8.57861E+13$ $57$ $86.0400$ $0.0000E+00$ $8.7767E+13$ $8.9983E+13$ $59$ $89.2400$ $0.0000E+00$ $8.3706E+13$ $3.9343E+13$ $59$ $89.2400$ $0.0000E+00$ $8.867E+13$	35	56.3425	0.0000E+00	1.2291E+14	1.2896E+14
37 $58.9900$ $0.0000E+00$ $1.3170E+14$ $1.2027E+14$ $38$ $60.2300$ $9.4661E+01$ $1.3774E+14$ $1.0021E+14$ $39$ $61.4100$ $9.1569E+01$ $1.4101E+14$ $1.0621E+14$ $40$ $62.5900$ $8.993E+01$ $1.4301E+14$ $1.0426E+14$ $41$ $63.7700$ $8.9166E+01$ $1.4404E+14$ $1.0323E+14$ $42$ $64.9500$ $8.8694E+01$ $1.4428E+14$ $1.0226E+14$ $43$ $66.1300$ $8.849E+01$ $1.4758E+14$ $1.0223E+14$ $45$ $68.4900$ $8.8519E+01$ $1.4051E+14$ $1.025E+14$ $47$ $70.8500$ $9.1807E+01$ $1.3322E+14$ $1.0073E+14$ $48$ $72.0900$ $0.0000E+00$ $1.2611E+14$ $1.1559E+14$ $49$ $73.3900$ $0.0000E+00$ $1.2020E+14$ $1.1921E+14$ $50$ $74.8400$ $0.0000E+00$ $1.2020E+14$ $1.1322E+14$ $51$ $76.4400$ $0.0000E+00$ $1.0198E+14$ $1.1322E+14$ $52$ $78.0400$ $0.0000E+00$ $8.8667E+13$ $9.9372E+13$ $55$ $82.8400$ $0.0000E+00$ $8.144EE+13$ $9.9372E+13$ $56$ $84.4400$ $0.0000E+00$ $7.3848E+13$ $8.2998E+13$ $57$ $86.0400$ $0.0000E+00$ $7.3848E+13$ $8.2998E+13$ $58$ $87.6400$ $0.0000E+00$ $7.377E+13$ $6.5077E+13$ $59$ $89.2400$ $0.0000E+00$ $2.3286E+13$ $2.548E+13$ $64$ $99.5567$ $0.0000E+00$ $2.3286E+13$ $2.5$	36	57.6900	0.0000E+00	1.2702E+14	1.2528E+14
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	37	58.9900	0.0000E+00	1.3170E+14	1.2027E+14
39 $61.4100$ $9.1569E+01$ $1.4101E+14$ $1.0621E+14$ 40 $62.5900$ $8.9993E+01$ $1.4301E+14$ $1.0426E+14$ 41 $63.7700$ $8.9166E+01$ $1.4404E+14$ $1.023E+14$ 42 $64.9500$ $8.869E+01$ $1.4428E+14$ $1.0232E+14$ 43 $66.1300$ $8.8405E+01$ $1.4428E+14$ $1.0232E+14$ 44 $67.3100$ $8.8295E+01$ $1.4255E+14$ $1.0232E+14$ 45 $68.4900$ $8.8519E+01$ $1.4051E+14$ $1.0232E+14$ 46 $69.6700$ $8.9448E+01$ $1.3751E+14$ $1.0376E+14$ 47 $70.8500$ $9.1807E+01$ $1.3322E+14$ $1.0673E+14$ 48 $72.0900$ $0.0000E+00$ $1.2611E+14$ $1.1559E+14$ 50 $74.8400$ $0.0000E+00$ $1.2020E+14$ $1.1921E+14$ 51 $76.4400$ $0.0000E+00$ $1.0198E+14$ $1.1322E+14$ 52 $78.0400$ $0.0000E+00$ $1.0198E+14$ $1.1322E+14$ 53 $79.6400$ $0.0000E+00$ $8.1440E+13$ $9.9372E+13$ 56 $84.4400$ $0.0000E+00$ $7.3848E+13$ $8.2998E+13$ 57 $86.0400$ $0.0000E+00$ $4.9263E+13$ $5.5861E+13$ 61 $92.2733$ $0.0000E+00$ $2.3094E+13$ $3.3769E+13$ 57 $86.0400$ $0.0000E+00$ $2.3094E+13$ $3.3769E+13$ 61 $92.2733$ $0.0000E+00$ $2.8094E+13$ $2.5342E+13$ 62 $93.5400$ $0.0000E+00$ $2.8094E+13$ $2.5342E+13$ 64	38	60.2300	9.4661E+01	1.3774E+14	1.1003E+14
4062.5900 $8.9993E+01$ $1.4301E+14$ $1.0426E+14$ 4163.7700 $8.9166E+01$ $1.440E+14$ $1.0323E+14$ 4264.9500 $8.8694E+01$ $1.4428E+14$ $1.0226E+14$ 4366.1300 $8.8495E+01$ $1.4428E+14$ $1.0223E+14$ 4467.3100 $8.8495E+01$ $1.4255E+14$ $1.0232E+14$ 4568.4900 $8.8519E+01$ $1.4255E+14$ $1.0232E+14$ 4669.6700 $8.9448E+01$ $1.3751E+14$ $1.0673E+14$ 4770.8500 $9.1807E+01$ $1.332E+14$ $1.0673E+14$ 4872.0900 $0.0000E+00$ $1.2020E+14$ $1.1921E+14$ 5074.8400 $0.0000E+00$ $1.1432E+14$ $1.2130E+14$ 5176.4400 $0.0000E+00$ $1.0198E+14$ $1.1322E+14$ 5278.0400 $0.0000E+00$ $8.8667E+13$ $9.9372E+13$ 55 $82.8400$ $0.0000E+00$ $8.8667E+13$ $9.9372E+13$ 56 $84.4400$ $0.0000E+00$ $8.8667E+13$ $9.9372E+13$ 57 $86.0400$ $0.0000E+00$ $6.5905E+13$ $7.4177E+13$ 58 $87.6400$ $0.0000E+00$ $4.9263E+13$ $5.5681E+13$ 61 $92.2733$ $0.0000E+00$ $2.8094E+13$ $3.3769E+13$ 62 $93.5400$ $0.0000E+00$ $2.8094E+13$ $3.3769E+13$ 64 $95.9567$ $0.0000E+00$ $2.8094E+13$ $2.5349E+13$ 65 $96.9900$ $0.0000E+00$ $1.6800E+13$ $2.1636E+13$ 66 $98.0233$ $0.000$	39	61.4100	9.1569E+01	1.4101E+14	1.0621E+14
41 $63.7700$ $8.9166E+01$ $1.4404E+14$ $1.0323E+14$ 42 $64.9500$ $8.8694E+01$ $1.4428E+14$ $1.0256E+14$ 43 $66.1300$ $8.8405E+01$ $1.4378E+14$ $1.0232E+14$ 44 $67.3100$ $8.8295E+01$ $1.425E+14$ $1.0232E+14$ 45 $68.4900$ $8.8519E+01$ $1.425E+14$ $1.0232E+14$ 46 $69.6700$ $8.9448E+01$ $1.3751E+14$ $1.025E+14$ 47 $70.8500$ $9.1807E+01$ $1.3323E+14$ $1.0673E+14$ 48 $72.0900$ $0.0000E+00$ $1.2611E+14$ $1.1529E+14$ 50 $74.8400$ $0.0000E+00$ $1.2020E+14$ $1.1921E+14$ 51 $76.4400$ $0.0000E+00$ $1.0188E+14$ $1.1322E+14$ 52 $78.0400$ $0.0000E+00$ $9.5502E+13$ $1.0670E+14$ 54 $81.2400$ $0.0000E+00$ $8.8667E+13$ $9.9372E+13$ 55 $82.8400$ $0.0000E+00$ $8.848E+13$ $8.2998E+13$ 56 $84.4400$ $0.0000E+00$ $6.5905E+13$ $7.4177E+13$ 58 $87.6400$ $0.0000E+00$ $4.9263E+13$ $5.5801E+13$ 60 $90.8400$ $0.0000E+00$ $4.263E+13$ $3.3769E+13$ 61 $92.2733$ $0.0000E+00$ $2.3284E+13$ $2.9492E+13$ 62 $93.5400$ $0.0000E+00$ $2.3284E+13$ $2.9492E+13$ 64 $95.9567$ $0.0000E+00$ $2.3284E+13$ $2.9192E+13$ 65 $96.9900$ $0.0000E+00$ $1.2598E+13$ $2.1439E+13$ 66 $98$	40	62.5900	8.9993E+01	1.4301E+14	1.0426E+14
42 $64.9500$ $8.8694E+01$ $1.4428E+14$ $1.0266E+14$ 43 $66.1300$ $8.8405E+01$ $1.4378E+14$ $1.0232E+14$ 44 $67.3100$ $8.8295E+01$ $1.4255E+14$ $1.0223E+14$ 45 $68.4900$ $8.8519E+01$ $1.4255E+14$ $1.0223E+14$ 46 $69.6700$ $8.9448E+01$ $1.3751E+14$ $1.0235E+14$ 47 $70.8500$ $9.1807E+01$ $1.3323E+14$ $1.0673E+14$ 48 $72.0900$ $0.0000E+00$ $1.2020E+14$ $1.1921E+14$ 50 $74.8400$ $0.0000E+00$ $1.2020E+14$ $1.1921E+14$ 51 $76.4400$ $0.0000E+00$ $1.0432E+14$ $1.1322E+14$ 52 $78.0400$ $0.0000E+00$ $1.0198E+14$ $1.1322E+14$ 53 $79.6400$ $0.0000E+00$ $8.667E+13$ $9.9372E+13$ 54 $81.2400$ $0.0000E+00$ $8.8667E+13$ $9.9372E+13$ 55 $82.8400$ $0.0000E+00$ $5.7677E+13$ $6.507E+13$ 56 $84.4400$ $0.0000E+00$ $5.7677E+13$ $6.577E+13$ 57 $86.0400$ $0.0000E+00$ $4.9263E+13$ $7.4177E+13$ 58 $87.6400$ $0.0000E+00$ $4.9263E+13$ $3.9343E+13$ 60 $90.8400$ $0.0000E+00$ $2.3286E+13$ $4.6808E+13$ 61 $92.2733$ $0.0000E+00$ $2.3286E+13$ $2.5349E+13$ 64 $95.9567$ $0.0000E+00$ $1.2582E+13$ $2.5349E+13$ 65 $96.9900$ $0.0000E+00$ $1.2582E+13$ $1.3450E+13$ 66	41	63.7700	8.9166E+01	1.4404E+14	1.0323E+14
4366.13008.8405E+011.4378E+141.0232E+144467.31008.8295E+011.4255E+141.0223E+144568.49008.8519E+011.4051E+141.0255E+144669.67008.9448E+011.3751E+141.0376E+144770.85009.1807E+011.3323E+141.0673E+144872.09000.0000E+001.2611E+141.1559E+144973.39000.0000E+001.2020E+141.1921E+145074.84000.0000E+001.0138E+141.1322E+145176.44000.0000E+001.0198E+141.1322E+145279.64000.0000E+009.5502E+131.0670E+145481.24000.0000E+008.8667E+139.9372E+135582.84000.0000E+007.3848E+138.2998E+135684.44000.0000E+005.7677E+136.5077E+135786.04000.0000E+004.9263E+137.4177E+135887.64000.0000E+003.3706E+133.9343E+136192.27330.0000E+002.8286E+132.9192E+136394.80670.0000E+001.6800E+132.1630E+136495.95670.0000E+001.2598E+131.3450E+136596.99000.0000E+001.2598E+131.3450E+136495.95670.0000E+001.2598E+131.3450E+136596.99000.0000E+001.2598E+131.3450E+136698.02330.0000E+001.2598E+131.3450E+13<	42	64.9500	8.8694E+01	1.4428E+14	1.0266E+14
4467.3100 $8.8295E+01$ $1.4255E+14$ $1.0223E+14$ 45 $68.4900$ $8.8519E+01$ $1.4051E+14$ $1.023E+14$ 46 $69.6700$ $8.9448E+01$ $1.3751E+14$ $1.0076E+14$ 47 $70.8500$ $9.1807E+01$ $1.3323E+14$ $1.0673E+14$ 48 $72.0900$ $0.0000E+00$ $1.2611E+14$ $1.1559E+14$ 49 $73.3900$ $0.0000E+00$ $1.2020E+14$ $1.1921E+14$ 50 $74.8400$ $0.0000E+00$ $1.0818E+14$ $1.1845E+14$ 51 $76.4400$ $0.0000E+00$ $1.098E+14$ $1.1322E+14$ 52 $78.0400$ $0.0000E+00$ $9.5502E+13$ $1.0670E+14$ 53 $79.6400$ $0.0000E+00$ $8.8667E+13$ $9.9372E+13$ 55 $82.8400$ $0.0000E+00$ $8.8667E+13$ $9.9372E+13$ 56 $84.4400$ $0.0000E+00$ $6.5905E+13$ $7.4177E+13$ 57 $86.0400$ $0.0000E+00$ $4.9263E+13$ $5.5861E+13$ 58 $87.6400$ $0.0000E+00$ $4.9263E+13$ $5.5861E+13$ 60 $90.8400$ $0.0000E+00$ $2.3286E+13$ $2.9192E+13$ 61 $92.2733$ $0.0000E+00$ $2.8094E+13$ $3.3769E+13$ 62 $93.5400$ $0.0000E+00$ $2.8094E+13$ $3.3769E+13$ 63 $94.8067$ $0.0000E+00$ $2.8094E+13$ $2.5349E+13$ 64 $95.9567$ $0.0000E+00$ $1.2598E+13$ $2.5349E+13$ 65 $96.9900$ $0.0000E+00$ $1.2598E+13$ $1.3450E+13$ 68 $1$	43	66.1300	8.8405E+01	1.4378E+14	1.0232E+14
4568.49008.8519E+01 $1.4051E+14$ $1.0255E+14$ 4669.67008.9448E+01 $1.3751E+14$ $1.0376E+14$ 4770.8500 $9.1807E+01$ $1.3232E+14$ $1.0673E+14$ 4872.0900 $0.0000E+00$ $1.2611E+14$ $1.1559E+14$ 49 $73.3900$ $0.0000E+00$ $1.2020E+14$ $1.1912E+14$ 50 $74.8400$ $0.0000E+00$ $1.1432E+14$ $1.2130E+14$ 51 $76.4400$ $0.0000E+00$ $1.0198E+14$ $1.1322E+14$ 52 $78.0400$ $0.0000E+00$ $1.0198E+14$ $1.1322E+14$ 53 $79.6400$ $0.0000E+00$ $8.667E+13$ $9.9372E+13$ 55 $82.8400$ $0.0000E+00$ $8.1446E+13$ $9.1429E+13$ 56 $84.4400$ $0.0000E+00$ $6.5905E+13$ $7.4177E+13$ 57 $86.0400$ $0.0000E+00$ $4.9263E+13$ $6.5077E+13$ 59 $89.2400$ $0.0000E+00$ $4.9263E+13$ $3.9343E+13$ 60 $90.8400$ $0.0000E+00$ $2.8094E+13$ $3.3769E+13$ 61 $92.2733$ $0.0000E+00$ $2.3286E+13$ $2.9192E+13$ 62 $93.5400$ $0.0000E+00$ $1.6800E+13$ $2.5349E+13$ 63 $94.8067$ $0.0000E+00$ $1.260E+13$ $2.5349E+13$ 64 $95.9567$ $0.0000E+00$ $1.2598E+13$ $1.3450E+13$ 65 $96.9900$ $0.0000E+00$ $1.2598E+13$ $1.3450E+13$ 68 $100.6700$ $0.0000E+00$ $1.2598E+12$ $1.3450E+13$ 69 $102.0900$ <	44	67.3100	8.8295E+01	1.4255E+14	1.0223E+14
4669.6700 $8.9448E+01$ $1.3751E+14$ $1.0376E+14$ 4770.8500 $9.1807E+01$ $1.3323E+14$ $1.0673E+14$ 4872.0900 $0.0000E+00$ $1.2611E+14$ $1.1559E+14$ 4973.3900 $0.0000E+00$ $1.2020E+14$ $1.1921E+14$ 5074.8400 $0.0000E+00$ $1.1432E+14$ $1.2130E+14$ 5176.4400 $0.0000E+00$ $1.01818E+14$ $1.1845E+14$ 5278.0400 $0.0000E+00$ $9.5502E+13$ $1.0670E+14$ 5379.6400 $0.0000E+00$ $8.8667E+13$ $9.9372E+13$ 54 $81.2400$ $0.0000E+00$ $8.1446E+13$ $9.1429E+13$ 55 $82.8400$ $0.0000E+00$ $7.3848E+13$ $8.2998E+13$ 56 $84.4400$ $0.0000E+00$ $5.7677E+13$ $6.5077E+13$ 57 $86.0400$ $0.0000E+00$ $5.7677E+13$ $6.5077E+13$ 59 $89.2400$ $0.0000E+00$ $4.9263E+13$ $5.5861E+13$ 60 $90.8400$ $0.0000E+00$ $2.8094E+13$ $3.3769E+13$ 61 $92.2733$ $0.0000E+00$ $2.3286E+13$ $2.9192E+13$ 63 $94.8067$ $0.0000E+00$ $1.2598E+13$ $2.5349E+13$ 64 $95.9567$ $0.0000E+00$ $1.2598E+13$ $2.5349E+13$ 65 $96.9900$ $0.0000E+00$ $1.2598E+13$ $1.3450E+13$ 66 $98.0233$ $0.0000E+00$ $1.2598E+13$ $1.3450E+13$ 67 $99.2500$ $0.0000E+00$ $1.2598E+12$ $7.1479E+12$ 70 $103.5100$ <td>45</td> <td>68.4900</td> <td>8.8519E+01</td> <td>1.4051E+14</td> <td>1.0255E+14</td>	45	68.4900	8.8519E+01	1.4051E+14	1.0255E+14
4770.85009.1807E+011.3323E+141.0673E+144872.0900 $0.0000E+00$ $1.2611E+14$ $1.1559E+14$ 4973.3900 $0.0000E+00$ $1.2020E+14$ $1.1921E+14$ 5074.8400 $0.0000E+00$ $1.1432E+14$ $1.1921E+14$ 5176.4400 $0.0000E+00$ $1.0818E+14$ $1.1845E+14$ 5278.0400 $0.0000E+00$ $1.0198E+14$ $1.1322E+14$ 5379.6400 $0.0000E+00$ $9.5502E+13$ $1.0670E+14$ 54 $81.2400$ $0.0000E+00$ $8.8667E+13$ $9.9372E+13$ 55 $82.8400$ $0.0000E+00$ $8.1446E+13$ $9.1429E+13$ 56 $84.4400$ $0.0000E+00$ $7.3848E+13$ $8.2998E+13$ 57 $86.0400$ $0.0000E+00$ $5.7677E+13$ $6.5077E+13$ 58 $87.6400$ $0.0000E+00$ $5.7677E+13$ $6.5077E+13$ 59 $89.2400$ $0.0000E+00$ $4.9263E+13$ $3.9343E+13$ 60 $90.8400$ $0.0000E+00$ $2.3286E+13$ $2.5349E+13$ 61 $92.2733$ $0.0000E+00$ $2.3286E+13$ $2.5349E+13$ 63 $94.8067$ $0.0000E+00$ $1.2598E+13$ $2.5349E+13$ 64 $95.9567$ $0.0000E+00$ $1.2598E+13$ $1.3450E+13$ 65 $96.9900$ $0.0000E+00$ $1.2598E+13$ $1.3450E+13$ 66 $98.0233$ $0.0000E+00$ $1.2598E+13$ $1.3450E+13$ 67 $99.2500$ $0.0000E+00$ $1.2598E+12$ $7.1479E+12$ 70 $103.5100$ <td< td=""><td>46</td><td>69.6700</td><td>8.9448E+01</td><td>1.3751E+14</td><td>1.0376E+14</td></td<>	46	69.6700	8.9448E+01	1.3751E+14	1.0376E+14
4872.0900 $0.0000E+00$ $1.2611E+14$ $1.1559E+14$ 4973.3900 $0.0000E+00$ $1.2020E+14$ $1.1921E+14$ 5074.8400 $0.0000E+00$ $1.1432E+14$ $1.2130E+14$ 5176.4400 $0.0000E+00$ $1.0198E+14$ $1.1322E+14$ 5278.0400 $0.0000E+00$ $1.0198E+14$ $1.1322E+14$ 5379.6400 $0.0000E+00$ $9.5502E+13$ $1.0670E+14$ 54 $81.2400$ $0.0000E+00$ $8.8667E+13$ $9.9372E+13$ 55 $82.8400$ $0.0000E+00$ $8.1446E+13$ $9.1429E+13$ 56 $84.4400$ $0.0000E+00$ $6.5905E+13$ $7.4177E+13$ 57 $86.0400$ $0.0000E+00$ $5.7677E+13$ $6.5077E+13$ 58 $87.6400$ $0.0000E+00$ $4.9263E+13$ $5.861E+13$ 60 $90.8400$ $0.0000E+00$ $4.0856E+13$ $3.9343E+13$ 61 $92.2733$ $0.0000E+00$ $2.3286E+13$ $2.9192E+13$ 62 $93.5400$ $0.0000E+00$ $2.3286E+13$ $2.9192E+13$ 63 $94.8067$ $0.0000E+00$ $1.2598E+13$ $2.5349E+13$ 64 $95.9567$ $0.0000E+00$ $1.2598E+13$ $1.3450E+13$ 65 $96.9900$ $0.0000E+00$ $1.2598E+13$ $1.3450E+13$ 66 $98.0233$ $0.0000E+00$ $1.2598E+12$ $1.392E+13$ 68 $100.6700$ $0.0000E+00$ $1.2598E+12$ $1.392E+13$ 70 $103.5100$ $0.0000E+00$ $5.7762E+12$ $6.1841E+12$ 71 $104.9300$ <	47	70.8500	9.1807E+01	1.3323E+14	1.0673E+14
49 $73.3900$ $0.0000E+00$ $1.2020E+14$ $1.1921E+14$ 50 $74.8400$ $0.0000E+00$ $1.1432E+14$ $1.2130E+14$ 51 $76.4400$ $0.0000E+00$ $1.0818E+14$ $1.1845E+14$ 52 $78.0400$ $0.0000E+00$ $9.5502E+13$ $1.0670E+14$ 53 $79.6400$ $0.0000E+00$ $9.5502E+13$ $1.0670E+14$ 54 $81.2400$ $0.0000E+00$ $8.8667E+13$ $9.9372E+13$ 55 $82.8400$ $0.0000E+00$ $8.1446E+13$ $9.1429E+13$ 56 $84.4400$ $0.0000E+00$ $7.3848E+13$ $8.2998E+13$ 57 $86.0400$ $0.0000E+00$ $5.7677E+13$ $6.5077E+13$ 58 $87.6400$ $0.0000E+00$ $4.9263E+13$ $5.5861E+13$ 60 $90.8400$ $0.0000E+00$ $4.0856E+13$ $4.6808E+13$ 61 $92.2733$ $0.0000E+00$ $2.3286E+13$ $2.9192E+13$ 62 $93.5400$ $0.0000E+00$ $2.3286E+13$ $2.9192E+13$ 63 $94.8067$ $0.0000E+00$ $1.9605E+13$ $2.1636E+13$ 64 $95.9567$ $0.0000E+00$ $1.2598E+13$ $1.3450E+13$ 65 $96.9900$ $0.0000E+00$ $1.2598E+13$ $1.3450E+13$ 66 $98.0233$ $0.0000E+00$ $1.2598E+13$ $1.3450E+13$ 67 $99.2500$ $0.0000E+00$ $1.2598E+12$ $7.1479E+12$ 70 $103.5100$ $0.0000E+00$ $5.7762E+12$ $6.1841E+12$ 71 $104.9300$ $0.0000E+00$ $5.7762E+12$ $6.1841E+12$ 74	48	72.0900	0.0000E+00	1.2611E+14	1.1559E+14
50 $74.8400$ $0.0000E+00$ $1.1432E+14$ $1.2130E+14$ $51$ $76.4400$ $0.0000E+00$ $1.0818E+14$ $1.1845E+14$ $52$ $78.0400$ $0.0000E+00$ $9.5502E+13$ $1.0670E+14$ $53$ $79.6400$ $0.0000E+00$ $8.8667E+13$ $9.9372E+13$ $54$ $81.2400$ $0.0000E+00$ $8.8667E+13$ $9.9372E+13$ $55$ $82.8400$ $0.0000E+00$ $8.1446E+13$ $9.1429E+13$ $56$ $84.4400$ $0.0000E+00$ $7.3848E+13$ $8.2998E+13$ $57$ $86.0400$ $0.0000E+00$ $6.5905E+13$ $7.4177E+13$ $58$ $87.6400$ $0.0000E+00$ $4.9263E+13$ $5.5861E+13$ $60$ $90.8400$ $0.0000E+00$ $4.9263E+13$ $5.5861E+13$ $61$ $92.2733$ $0.0000E+00$ $2.8094E+13$ $3.9343E+13$ $62$ $93.5400$ $0.0000E+00$ $2.3286E+13$ $2.9192E+13$ $64$ $95.9567$ $0.0000E+00$ $1.2598E+13$ $2.5349E+13$ $64$ $95.9567$ $0.0000E+00$ $1.2598E+13$ $1.7341E+13$ $67$ $99.2500$ $0.0000E+00$ $1.2598E+13$ $1.3450E+13$ $69$ $102.0900$ $0.0000E+00$ $1.2598E+13$ $1.3450E+13$ $69$ $102.0900$ $0.0000E+00$ $7.9804E+12$ $8.3102E+12$ $71$ $104.9300$ $0.0000E+00$ $5.76762E+12$ $6.1841E+12$ $73$ $107.7700$ $0.0000E+00$ $5.7762E+12$ $6.1841E+12$ $74$ $109.1900$ $0.0000E+00$ $5.7762E+12$ </td <td>49</td> <td>73.3900</td> <td>0.0000E+00</td> <td>1.2020E+14</td> <td>1.1921E+14</td>	49	73.3900	0.0000E+00	1.2020E+14	1.1921E+14
51 $76.4400$ $0.0000E+00$ $1.0818E+14$ $1.1845E+14$ $52$ $78.0400$ $0.0000E+00$ $1.0198E+14$ $1.1322E+14$ $53$ $79.6400$ $0.0000E+00$ $9.5502E+13$ $1.0670E+14$ $54$ $81.2400$ $0.0000E+00$ $8.8667E+13$ $9.9372E+13$ $55$ $82.8400$ $0.0000E+00$ $8.1446E+13$ $9.1429E+13$ $56$ $84.4400$ $0.0000E+00$ $7.3848E+13$ $8.2998E+13$ $57$ $86.0400$ $0.0000E+00$ $6.5905E+13$ $7.4177E+13$ $58$ $87.6400$ $0.0000E+00$ $5.7677E+13$ $6.5077E+13$ $59$ $89.2400$ $0.0000E+00$ $4.9263E+13$ $5.5861E+13$ $60$ $90.8400$ $0.0000E+00$ $4.9263E+13$ $3.9343E+13$ $61$ $92.2733$ $0.0000E+00$ $2.8094E+13$ $3.9749E+13$ $62$ $93.5400$ $0.0000E+00$ $2.3286E+13$ $2.9192E+13$ $63$ $94.8067$ $0.0000E+00$ $2.3286E+13$ $2.9192E+13$ $64$ $95.9567$ $0.0000E+00$ $1.6800E+13$ $2.1636E+13$ $65$ $96.9900$ $0.0000E+00$ $1.2598E+13$ $1.3450E+13$ $66$ $98.0233$ $0.0000E+00$ $1.2598E+13$ $1.3450E+13$ $67$ $99.2500$ $0.0000E+00$ $1.2598E+12$ $9.7070E+12$ $70$ $103.5100$ $0.0000E+00$ $5.7762E+12$ $6.1841E+12$ $71$ $104.9300$ $0.0000E+00$ $5.7762E+12$ $6.1841E+12$ $74$ $109.1900$ $0.0000E+00$ $4.0946E+12$	50	74.8400	0.0000E+00	1.1432E+14	1.2130E+14
52 $78.0400$ $0.0000E+00$ $1.0198E+14$ $1.1322E+14$ $53$ $79.6400$ $0.0000E+00$ $9.5502E+13$ $1.0670E+14$ $54$ $81.2400$ $0.0000E+00$ $8.8667E+13$ $9.9372E+13$ $55$ $82.8400$ $0.0000E+00$ $8.1446E+13$ $9.1429E+13$ $56$ $84.4400$ $0.0000E+00$ $7.3848E+13$ $8.2998E+13$ $57$ $86.0400$ $0.0000E+00$ $6.5905E+13$ $7.4177E+13$ $58$ $87.6400$ $0.0000E+00$ $4.9263E+13$ $5.5861E+13$ $59$ $89.2400$ $0.0000E+00$ $4.9263E+13$ $5.5861E+13$ $60$ $90.8400$ $0.0000E+00$ $4.0856E+13$ $4.6808E+13$ $61$ $92.2733$ $0.0000E+00$ $2.3286E+13$ $3.9343E+13$ $62$ $93.5400$ $0.0000E+00$ $2.8094E+13$ $3.3769E+13$ $63$ $94.8067$ $0.0000E+00$ $1.9605E+13$ $2.5349E+13$ $64$ $95.9567$ $0.0000E+00$ $1.9605E+13$ $2.1636E+13$ $65$ $96.9900$ $0.0000E+00$ $1.2598E+13$ $1.3450E+13$ $66$ $98.0233$ $0.0000E+00$ $1.2598E+13$ $1.3450E+13$ $68$ $100.6700$ $0.0000E+00$ $7.9804E+12$ $8.3102E+12$ $71$ $104.9300$ $0.0000E+00$ $5.7762E+12$ $6.1841E+12$ $72$ $106.3500$ $0.0000E+00$ $5.7762E+12$ $6.1841E+12$ $73$ $107.7700$ $0.0000E+00$ $4.8793E+12$ $7.9394E+12$ $74$ $109.1900$ $0.0000E+00$ $4.8793E+12$ <td>51</td> <td>76.4400</td> <td>0.0000E+00</td> <td>1.0818E+14</td> <td>1.1845E+14</td>	51	76.4400	0.0000E+00	1.0818E+14	1.1845E+14
53 $79.6400$ $0.0000E+00$ $9.5502E+13$ $1.0670E+14$ $54$ $81.2400$ $0.0000E+00$ $8.8667E+13$ $9.9372E+13$ $55$ $82.8400$ $0.0000E+00$ $8.1446E+13$ $9.1429E+13$ $56$ $84.4400$ $0.0000E+00$ $7.3848E+13$ $8.2998E+13$ $57$ $86.0400$ $0.0000E+00$ $6.5905E+13$ $7.4177E+13$ $58$ $87.6400$ $0.0000E+00$ $4.9263E+13$ $5.5861E+13$ $59$ $89.2400$ $0.0000E+00$ $4.9263E+13$ $5.5861E+13$ $60$ $90.8400$ $0.0000E+00$ $4.0856E+13$ $4.6808E+13$ $61$ $92.2733$ $0.0000E+00$ $2.8094E+13$ $3.9343E+13$ $62$ $93.5400$ $0.0000E+00$ $2.3286E+13$ $2.9192E+13$ $63$ $94.8067$ $0.0000E+00$ $1.9605E+13$ $2.5349E+13$ $64$ $95.9567$ $0.0000E+00$ $1.6800E+13$ $2.1636E+13$ $65$ $96.9900$ $0.0000E+00$ $1.2598E+13$ $1.3450E+13$ $66$ $98.0233$ $0.0000E+00$ $1.2598E+13$ $1.3450E+13$ $68$ $100.6700$ $0.0000E+00$ $7.9804E+12$ $8.3102E+12$ $70$ $103.5100$ $0.0000E+00$ $5.7762E+12$ $6.1841E+12$ $71$ $104.9300$ $0.0000E+00$ $5.7762E+12$ $6.1841E+12$ $74$ $109.1900$ $0.0000E+00$ $4.0946E+12$ $4.7619E+12$ $74$ $109.1900$ $0.0000E+00$ $4.0946E+12$ $4.7619E+12$ $75$ $110.6100$ $0.0000E+00$ $2.7961E+12$ </td <td>52</td> <td>78.0400</td> <td>0.0000E+00</td> <td>1.0198E+14</td> <td>1.1322E+14</td>	52	78.0400	0.0000E+00	1.0198E+14	1.1322E+14
54 $81.2400$ $0.0000E+00$ $8.8667E+13$ $9.9372E+13$ $55$ $82.8400$ $0.0000E+00$ $8.1446E+13$ $9.1429E+13$ $56$ $84.4400$ $0.0000E+00$ $7.3848E+13$ $8.2998E+13$ $57$ $86.0400$ $0.0000E+00$ $6.5905E+13$ $7.4177E+13$ $58$ $87.6400$ $0.0000E+00$ $5.7677E+13$ $6.5077E+13$ $59$ $89.2400$ $0.0000E+00$ $4.9263E+13$ $5.5861E+13$ $60$ $90.8400$ $0.0000E+00$ $4.0856E+13$ $4.6808E+13$ $61$ $92.2733$ $0.0000E+00$ $2.8094E+13$ $3.9343E+13$ $62$ $93.5400$ $0.0000E+00$ $2.8094E+13$ $3.769E+13$ $63$ $94.8067$ $0.0000E+00$ $2.3286E+13$ $2.9192E+13$ $64$ $95.9567$ $0.0000E+00$ $1.9605E+13$ $2.5349E+13$ $65$ $96.9900$ $0.0000E+00$ $1.6800E+13$ $2.1636E+13$ $66$ $98.0233$ $0.0000E+00$ $1.2598E+13$ $1.3450E+13$ $67$ $99.2500$ $0.0000E+00$ $1.2598E+13$ $1.3450E+13$ $68$ $100.6700$ $0.0000E+00$ $7.9804E+12$ $8.3102E+12$ $70$ $103.5100$ $0.0000E+00$ $5.7762E+12$ $6.1841E+12$ $71$ $104.9300$ $0.0000E+00$ $5.7762E+12$ $6.1841E+12$ $74$ $109.1900$ $0.0000E+00$ $4.0946E+12$ $4.7619E+12$ $74$ $109.1900$ $0.0000E+00$ $3.4053E+12$ $4.2789E+12$ $75$ $110.6100$ $0.0000E+00$ $2.9937E+12$ <td>53</td> <td>79.6400</td> <td>0.0000E+00</td> <td>9.5502E+13</td> <td>1.0670E+14</td>	53	79.6400	0.0000E+00	9.5502E+13	1.0670E+14
5582.84000.0000E+008.1446E+139.1429E+135684.44000.0000E+007.3848E+138.2998E+135786.04000.0000E+006.5905E+137.4177E+135887.64000.0000E+005.7677E+136.5077E+135989.24000.0000E+004.9263E+135.5861E+136090.84000.0000E+004.0856E+134.6808E+136192.27330.0000E+002.8094E+133.9343E+136293.54000.0000E+002.3286E+132.9192E+136394.80670.0000E+001.9605E+132.5349E+136495.95670.0000E+001.6800E+132.1636E+136596.99000.0000E+001.4491E+131.7341E+136799.25000.0000E+001.2598E+131.3450E+1368100.67000.0000E+007.9804E+128.3102E+1270103.51000.0000E+005.7762E+126.1841E+1273107.77000.0000E+005.7762E+126.1841E+1274109.19000.0000E+004.0946E+124.7619E+1275110.61000.0000E+003.4053E+124.2789E+1276112.03000.0000E+002.9937E+123.4970E+1277113.57330.0000E+002.0937E+123.4970E+12	54	81.2400	0.0000E+00	8.8667E+13	9.9372E+13
5684.44000.0000E+007.3848E+138.2998E+135786.04000.0000E+006.5905E+137.4177E+135887.64000.0000E+005.7677E+136.5077E+135989.24000.0000E+004.9263E+135.5861E+136090.84000.0000E+004.0856E+134.6808E+136192.27330.000E+003.3706E+133.9343E+136293.54000.0000E+002.8094E+133.3769E+136394.80670.0000E+002.3286E+132.9192E+136495.95670.0000E+001.9605E+132.5349E+136596.99000.0000E+001.6800E+132.1636E+136698.02330.0000E+001.2598E+131.3450E+136799.25000.0000E+001.0861E+131.1392E+1368100.67000.0000E+007.9804E+128.3102E+1270103.51000.0000E+005.7762E+126.1841E+1273107.77000.0000E+004.8793E+125.3941E+1274109.19000.0000E+003.4053E+124.2789E+1275110.61000.0000E+003.4053E+124.2789E+1276112.03000.0000E+002.7961E+123.4970E+1277113.57330.0000E+002.0937E+123.4970E+12	55	82.8400	0.0000E+00	8.1446E+13	9.1429E+13
57 $86.0400$ $0.0000E+00$ $6.5905E+13$ $7.4177E+13$ $58$ $87.6400$ $0.0000E+00$ $5.7677E+13$ $6.5077E+13$ $59$ $89.2400$ $0.0000E+00$ $4.9263E+13$ $5.5861E+13$ $60$ $90.8400$ $0.0000E+00$ $4.0856E+13$ $4.6808E+13$ $61$ $92.2733$ $0.0000E+00$ $3.3706E+13$ $3.9343E+13$ $62$ $93.5400$ $0.0000E+00$ $2.8094E+13$ $3.3769E+13$ $63$ $94.8067$ $0.0000E+00$ $2.3286E+13$ $2.9192E+13$ $64$ $95.9567$ $0.0000E+00$ $1.9605E+13$ $2.5349E+13$ $65$ $96.9900$ $0.0000E+00$ $1.6800E+13$ $2.1636E+13$ $66$ $98.0233$ $0.0000E+00$ $1.2598E+13$ $1.3450E+13$ $67$ $99.2500$ $0.0000E+00$ $1.2598E+13$ $1.3450E+13$ $68$ $100.6700$ $0.0000E+00$ $1.0861E+13$ $1.1392E+13$ $69$ $102.0900$ $0.0000E+00$ $7.9804E+12$ $8.3102E+12$ $71$ $104.9300$ $0.0000E+00$ $5.7762E+12$ $6.1841E+12$ $72$ $106.3500$ $0.0000E+00$ $4.8793E+12$ $5.3941E+12$ $74$ $109.1900$ $0.0000E+00$ $4.8793E+12$ $5.3941E+12$ $74$ $109.1900$ $0.0000E+00$ $4.8793E+12$ $5.3941E+12$ $75$ $110.6100$ $0.0000E+00$ $2.7961E+12$ $3.9435E+12$ $76$ $112.0300$ $0.0000E+00$ $2.0937E+12$ $3.4970E+12$	56	84.4400	0.0000E+00	7.3848E+13	8.2998E+13
58 $87.6400$ $0.0000E+00$ $5.7677E+13$ $6.5077E+13$ $59$ $89.2400$ $0.0000E+00$ $4.9263E+13$ $5.5861E+13$ $60$ $90.8400$ $0.0000E+00$ $4.0856E+13$ $4.6808E+13$ $61$ $92.2733$ $0.0000E+00$ $3.3706E+13$ $3.9343E+13$ $62$ $93.5400$ $0.0000E+00$ $2.8094E+13$ $3.3769E+13$ $63$ $94.8067$ $0.0000E+00$ $2.3286E+13$ $2.9192E+13$ $64$ $95.9567$ $0.0000E+00$ $1.9605E+13$ $2.5349E+13$ $65$ $96.9900$ $0.0000E+00$ $1.6800E+13$ $2.1636E+13$ $66$ $98.0233$ $0.0000E+00$ $1.2598E+13$ $1.3450E+13$ $67$ $99.2500$ $0.0000E+00$ $1.2598E+13$ $1.3450E+13$ $68$ $100.6700$ $0.0000E+00$ $1.0861E+13$ $1.1392E+13$ $69$ $102.0900$ $0.0000E+00$ $7.9804E+12$ $8.3102E+12$ $71$ $104.9300$ $0.0000E+00$ $5.7762E+12$ $6.1841E+12$ $72$ $106.3500$ $0.0000E+00$ $4.8793E+12$ $5.3941E+12$ $74$ $109.1900$ $0.0000E+00$ $4.0946E+12$ $4.7619E+12$ $75$ $110.6100$ $0.0000E+00$ $2.7961E+12$ $3.9435E+12$ $77$ $113.5733$ $0.0000E+00$ $2.0937E+12$ $3.4970E+12$	57	86.0400	0.0000E+00	6.5905E+13	7.4177E+13
5989.24000.0000E+004.9263E+135.5861E+136090.84000.0000E+004.0856E+134.6808E+136192.27330.0000E+003.3706E+133.9343E+136293.54000.0000E+002.8094E+133.3769E+136394.80670.0000E+002.3286E+132.9192E+136495.95670.0000E+001.9605E+132.5349E+136596.99000.0000E+001.6800E+132.1636E+136698.02330.0000E+001.2598E+131.7341E+136799.25000.0000E+001.2598E+131.3450E+1368100.67000.0000E+009.3269E+129.7070E+1270103.51000.0000E+005.7762E+126.1841E+1271104.93000.0000E+005.7762E+126.1841E+1273107.77000.0000E+004.8793E+125.3941E+1274109.19000.0000E+003.4053E+124.2789E+1275110.61000.0000E+002.7961E+123.9435E+1276112.03000.0000E+002.0937E+123.4970E+12	58	87.6400	0.0000E+00	5.7677E+13	6.5077E+13
6090.84000.0000E+004.0856E+134.6808E+136192.27330.0000E+003.3706E+133.9343E+136293.54000.0000E+002.8094E+133.3769E+136394.80670.0000E+002.3286E+132.9192E+136495.95670.0000E+001.9605E+132.5349E+136596.99000.0000E+001.6800E+132.1636E+136698.02330.0000E+001.4491E+131.7341E+136799.25000.0000E+001.2598E+131.3450E+1368100.67000.0000E+009.3269E+129.7070E+1270103.51000.0000E+007.9804E+128.3102E+1271104.93000.0000E+005.7762E+126.1841E+1273107.77000.0000E+004.8793E+125.3941E+1274109.19000.0000E+003.4053E+124.2789E+1275110.61000.0000E+003.4053E+124.2789E+1276112.03000.0000E+002.7961E+123.9435E+1277113.57330.0000E+002.0937E+123.4970E+12	59	89.2400	0.0000E+00	4.9263E+13	5.5861E+13
6192.27330.0000E+003.3706E+133.9343E+136293.54000.0000E+002.8094E+133.3769E+136394.80670.0000E+002.3286E+132.9192E+136495.95670.0000E+001.9605E+132.5349E+136596.99000.0000E+001.6800E+132.1636E+136698.02330.0000E+001.4491E+131.7341E+136799.25000.0000E+001.2598E+131.3450E+1368100.67000.0000E+009.3269E+129.7070E+1270103.51000.0000E+007.9804E+128.3102E+1271104.93000.0000E+005.7762E+126.1841E+1273107.77000.0000E+004.8793E+125.3941E+1274109.19000.0000E+003.4053E+124.2789E+1275110.61000.0000E+002.7961E+123.9435E+1276112.03000.0000E+002.7961E+123.4970E+1277113.57330.0000E+002.0937E+123.4970E+12	60	90.8400	0.0000E+00	4.0856E+13	4.6808E+13
6293.54000.0000E+002.8094E+133.3769E+136394.80670.0000E+002.3286E+132.9192E+136495.95670.0000E+001.9605E+132.5349E+136596.99000.0000E+001.6800E+132.1636E+136698.02330.0000E+001.4491E+131.7341E+136799.25000.0000E+001.2598E+131.3450E+1368100.67000.0000E+009.3269E+129.7070E+1270103.51000.0000E+007.9804E+128.3102E+1271104.93000.0000E+005.7762E+126.1841E+1273107.77000.0000E+004.8793E+125.3941E+1274109.19000.0000E+003.4053E+124.2789E+1275110.61000.0000E+002.7961E+123.9435E+1276112.03000.0000E+002.0937E+123.4970E+12	61	92.2733	0.0000E+00	3.3706E+13	3.9343E+13
6394.80670.0000E+002.3286E+132.9192E+136495.95670.0000E+001.9605E+132.5349E+136596.99000.0000E+001.6800E+132.1636E+136698.02330.0000E+001.4491E+131.7341E+136799.25000.0000E+001.2598E+131.3450E+1368100.67000.0000E+001.0861E+131.1392E+1369102.09000.0000E+009.3269E+129.7070E+1270103.51000.0000E+007.9804E+128.3102E+1271104.93000.0000E+005.7762E+126.1841E+1273107.77000.0000E+004.8793E+125.3941E+1274109.19000.0000E+003.4053E+124.2789E+1275110.61000.0000E+002.7961E+123.9435E+1276112.03000.0000E+002.0937E+123.4970E+12	62	93.5400	0.0000E+00	2.8094E+13	3.3769E+13
6495.95670.0000E+001.9605E+132.5349E+136596.99000.0000E+001.6800E+132.1636E+136698.02330.0000E+001.4491E+131.7341E+136799.25000.0000E+001.2598E+131.3450E+1368100.67000.0000E+001.0861E+131.1392E+1369102.09000.0000E+009.3269E+129.7070E+1270103.51000.0000E+007.9804E+128.3102E+1271104.93000.0000E+005.7762E+126.1841E+1272106.35000.0000E+004.8793E+125.3941E+1274109.19000.0000E+004.0946E+124.7619E+1275110.61000.0000E+002.7961E+123.9435E+1276112.03000.0000E+002.0937E+123.4970E+12	63	94.8067	0.0000E+00	2.3286E+13	2.9192E+13
6596.99000.0000E+001.6800E+132.1636E+136698.02330.0000E+001.4491E+131.7341E+136799.25000.0000E+001.2598E+131.3450E+1368100.67000.0000E+001.0861E+131.1392E+1369102.09000.0000E+009.3269E+129.7070E+1270103.51000.0000E+007.9804E+128.3102E+1271104.93000.0000E+006.8034E+127.1479E+1272106.35000.0000E+005.7762E+126.1841E+1273107.77000.0000E+004.8793E+125.3941E+1274109.19000.0000E+003.4053E+124.2789E+1275110.61000.0000E+002.7961E+123.9435E+1276112.03000.0000E+002.0937E+123.4970E+12	64	95.9567	0.0000E+00	1.9605E+13	2.5349E+13
6698.02330.0000E+001.4491E+131.7341E+136799.25000.0000E+001.2598E+131.3450E+1368100.67000.0000E+001.0861E+131.1392E+1369102.09000.0000E+009.3269E+129.7070E+1270103.51000.0000E+007.9804E+128.3102E+1271104.93000.0000E+006.8034E+127.1479E+1272106.35000.0000E+005.7762E+126.1841E+1273107.77000.0000E+004.8793E+125.3941E+1274109.19000.0000E+003.4053E+124.2789E+1275110.61000.0000E+002.7961E+123.9435E+1276112.03000.0000E+002.0937E+123.4970E+12	65	96.9900	0.0000E+00	1.6800E+13	2.1636E+13
6799.25000.0000E+001.2598E+131.3450E+1368100.67000.0000E+001.0861E+131.1392E+1369102.09000.0000E+009.3269E+129.7070E+1270103.51000.0000E+007.9804E+128.3102E+1271104.93000.0000E+006.8034E+127.1479E+1272106.35000.0000E+005.7762E+126.1841E+1273107.77000.0000E+004.8793E+125.3941E+1274109.19000.0000E+003.4053E+124.2789E+1275110.61000.0000E+002.7961E+123.9435E+1276112.03000.0000E+002.0937E+123.4970E+12	66	98.0233	0.0000E+00	1.4491E+13	1.7341E+13
68100.67000.0000E+001.0861E+131.1392E+1369102.09000.0000E+009.3269E+129.7070E+1270103.51000.0000E+007.9804E+128.3102E+1271104.93000.0000E+006.8034E+127.1479E+1272106.35000.0000E+005.7762E+126.1841E+1273107.77000.0000E+004.8793E+125.3941E+1274109.19000.0000E+003.4053E+124.2789E+1275110.61000.0000E+002.7961E+123.9435E+1276112.03000.0000E+002.0937E+123.4970E+12	67	99.2500	0.0000E+00	1.2598E+13	1.3450E+13
69102.09000.0000E+009.3269E+129.7070E+1270103.51000.0000E+007.9804E+128.3102E+1271104.93000.0000E+006.8034E+127.1479E+1272106.35000.0000E+005.7762E+126.1841E+1273107.77000.0000E+004.8793E+125.3941E+1274109.19000.0000E+003.4053E+124.2789E+1275110.61000.0000E+003.4053E+124.2789E+1276112.03000.0000E+002.7961E+123.4970E+1277113.57330.0000E+002.0937E+123.4970E+12	68	100.6700	0.0000E+00	1.0861E+13	1.1392E+13
70103.51000.0000E+007.9804E+128.3102E+1271104.93000.0000E+006.8034E+127.1479E+1272106.35000.0000E+005.7762E+126.1841E+1273107.77000.0000E+004.8793E+125.3941E+1274109.19000.0000E+004.0946E+124.7619E+1275110.61000.0000E+003.4053E+124.2789E+1276112.03000.0000E+002.7961E+123.9435E+1277113.57330.0000E+002.0937E+123.4970E+12	69	102.0900	0.0000E+00	9.3269E+12	9.7070E+12
71104.93000.0000E+006.8034E+127.1479E+1272106.35000.0000E+005.7762E+126.1841E+1273107.77000.0000E+004.8793E+125.3941E+1274109.19000.0000E+004.0946E+124.7619E+1275110.61000.0000E+003.4053E+124.2789E+1276112.03000.0000E+002.7961E+123.9435E+1277113.57330.0000E+002.0937E+123.4970E+12	70	103.5100	0.0000E+00	7.9804E+12	8.3102E+12
72106.35000.0000E+005.7762E+126.1841E+1273107.77000.0000E+004.8793E+125.3941E+1274109.19000.0000E+004.0946E+124.7619E+1275110.61000.0000E+003.4053E+124.2789E+1276112.03000.0000E+002.7961E+123.9435E+1277113.57330.0000E+002.0937E+123.4970E+12	71	104.9300	0.0000E+00	6.8034E+12	7.1479E+12
73107.77000.0000E+004.8793E+125.3941E+1274109.19000.0000E+004.0946E+124.7619E+1275110.61000.0000E+003.4053E+124.2789E+1276112.03000.0000E+002.7961E+123.9435E+1277113.57330.0000E+002.0937E+123.4970E+12	72	106.3500	0.0000E+00	5.7762E+12	6.1841E+12
74109.19000.0000E+004.0946E+124.7619E+1275110.61000.0000E+003.4053E+124.2789E+1276112.03000.0000E+002.7961E+123.9435E+1277113.57330.0000E+002.0937E+123.4970E+12	73	107.7700	0.0000E+00	4.8793E+12	5.3941E+12
75110.61000.0000E+003.4053E+124.2789E+1276112.03000.0000E+002.7961E+123.9435E+1277113.57330.0000E+002.0937E+123.4970E+12	74	109.1900	0.0000E+00	4.0946E+12	4.7619E+12
76112.03000.0000E+002.7961E+123.9435E+1277113.57330.0000E+002.0937E+123.4970E+12	75	110.6100	0.0000E+00	3.4053E+12	4.2789E+12
77 113.5733 0.0000E+00 2.0937E+12 3.4970E+12	76	112.0300	0.0000E+00	2.7961E+12	3.9435E+12
	77	113.5733	0.0000E+00	2.0937E+12	3.4970E+12

78	115.2400	0.0000E+00	1.4776E+12	2.7174E+12
79	116.9067	0.0000E+00	1.0353E+12	2.0107E+12
80	118.5733	0.0000E+00	7.1466E+11	1.4072E+12
81	120.2400	0.0000E+00	4.7821E+11	8.8438E+11
82	121.9067	0.0000E+00	2.9809E+11	3.8761E+11

**TABELA 5-2:** Parâmetros neutrônicos gerados pelo CITATION para 5 dias de irradiação

Macha	7 (om)	Densidade de	Fluxo de nêutrons	Fluxo de nêutrons
Meena		Potência (W/cm <sup>3</sup> )	rápidos	térmicos
1	1.0000	0.0000E+00	9.4646E+10	1.4094E+11
2	3.0000	0.0000E+00	1.6328E+11	3.3790E+11
3	5.0000	0.0000E+00	2.5940E+11	5.7249E+11
4	7.0000	0.0000E+00	3.9907E+11	8.9168E+11
5	9.0000	0.0000E+00	6.0552E+11	1.3484E+12
6	11.0000	0.0000E+00	9.1283E+11	2.0100E+12
7	13.0000	0.0000E+00	1.3712E+12	2.9639E+12
8	15.0000	0.0000E+00	2.0547E+12	4.3183E+12
9	17.0000	0.0000E+00	3.0713E+12	6.1901E+12
10	19.0000	0.0000E+00	4.5769E+12	8.6685E+12
11	21.0000	0.0000E+00	6.7909E+12	1.1736E+13
12	23.0000	0.0000E+00	1.0003E+13	1.5186E+13
13	24.8567	0.0000E+00	1.4137E+13	1.8328E+13
14	26.5700	0.0000E+00	1.8752E+13	2.2261E+13
15	28.2833	0.0000E+00	2.4442E+13	2.7829E+13
16	29.8375	0.0000E+00	3.0562E+13	3.4260E+13
17	31.2325	0.0000E+00	3.6359E+13	4.0491E+13
18	32.6275	0.0000E+00	4.2246E+13	4.6890E+13
19	34.0225	0.0000E+00	4.8117E+13	5.3318E+13
20	35.4175	0.0000E+00	5.3918E+13	5.9697E+13
21	36.8125	0.0000E+00	5.9617E+13	6.5981E+13
22	38.2075	0.0000E+00	6.5192E+13	7.2142E+13
23	39.6025	0.0000E+00	7.0626E+13	7.8157E+13
24	40.9975	0.0000E+00	7.5907E+13	8.4010E+13
25	42.3925	0.0000E+00	8.1023E+13	8.9688E+13
26	43.7875	0.0000E+00	8.5967E+13	9.5181E+13
27	45.1825	0.0000E+00	9.0731E+13	1.0048E+14
28	46.5775	0.0000E+00	9.5310E+13	1.0557E+14
29	47.9725	0.0000E+00	9.9701E+13	1.1043E+14
30	49.3675	0.0000E+00	1.0391E+14	1.1506E+14
31	50.7625	0.0000E+00	1.0794E+14	1.1939E+14
32	52.1575	0.0000E+00	1.1180E+14	1.2333E+14
33	53.5525	0.0000E+00	1.1556E+14	1.2669E+14
34	54.9475	0.0000E+00	1.1927E+14	1.2902E+14
35	56.3425	0.0000E+00	1.2310E+14	1.2928E+14
36	57.6900	0.0000E+00	1.2720E+14	1.2560E+14

37	58.9900	0.0000E+00	1.3187E+14	1.2061E+14
38	60.2300	9.4272E+01	1.3790E+14	1.1038E+14
39	61.4100	9.1206E+01	1.4117E+14	1.0657E+14
40	62.5900	8.9641E+01	1.4316E+14	1.0461E+14
41	63.7700	8.8820E+01	1.4419E+14	1.0359E+14
42	64.9500	8.8350E+01	1.4443E+14	1.0301E+14
43	66.1300	8.8062E+01	1.4393E+14	1.0267E+14
44	67.3100	8.7951E+01	1.4269E+14	1.0258E+14
45	68.4900	8.8171E+01	1.4066E+14	1.0290E+14
46	69.6700	8.9090E+01	1.3766E+14	1.0410E+14
47	70.8500	9.1427E+01	1.3338E+14	1.0706E+14
48	72.0900	0.0000E+00	1.2626E+14	1.1591E+14
49	73.3900	0.0000E+00	1.2036E+14	1.1951E+14
50	74.8400	0.0000E+00	1.1449E+14	1.2159E+14
51	76.4400	0.0000E+00	1.0835E+14	1.1873E+14
52	78.0400	0.0000E+00	1.0215E+14	1.1348E+14
53	79.6400	0.0000E+00	9.5671E+13	1.0696E+14
54	81.2400	0.0000E+00	8.8830E+13	9.9610E+13
55	82.8400	0.0000E+00	8.1601E+13	9.1652E+13
56	84.4400	0.0000E+00	7.3991E+13	8.3203E+13
57	86.0400	0.0000E+00	6.6035E+13	7.4362E+13
58	87.6400	0.0000E+00	5.7792E+13	6.5241E+13
59	89.2400	0.0000E+00	4.9363E+13	5.6001E+13
60	90.8400	0.0000E+00	4.0939E+13	4.6924E+13
61	92.2733	0.0000E+00	3.3776E+13	3.9437E+13
62	93.5400	0.0000E+00	2.8153E+13	3.3848E+13
63	94.8067	0.0000E+00	2.3335E+13	2.9260E+13
64	95.9567	0.0000E+00	1.9647E+13	2.5407E+13
65	96.9900	0.0000E+00	1.6836E+13	2.1685E+13
66	98.0233	0.0000E+00	1.4523E+13	1.7381E+13
67	99.2500	0.0000E+00	1.2626E+13	1.3481E+13
68	100.6700	0.0000E+00	1.0886E+13	1.1419E+13
69	102.0900	0.0000E+00	9.3479E+12	9.7296E+12
70	103.5100	0.0000E+00	7.9985E+12	8.3296E+12
71	104.9300	0.0000E+00	6.8190E+12	7.1647E+12
72	106.3500	0.0000E+00	5.7895E+12	6.1987E+12
73	107.7700	0.0000E+00	4.8906E+12	5.4068E+12
74	109.1900	0.0000E+00	4.1041E+12	4.7732E+12
75	110.6100	0.0000E+00	3.4133E+12	4.2891E+12
76	112.0300	0.0000E+00	2.8026E+12	3.9529E+12
77	113.5733	0.0000E+00	2.0986E+12	3.5053E+12
78	115.2400	0.0000E+00	1.4811E+12	2.7239E+12
79	116.9067	0.0000E+00	1.0377E+12	2.0155E+12
80	118.5733	0.0000E+00	7.1636E+11	1.4106E+12
81	120.2400	0.0000E+00	4.7935E+11	8.8648E+11
82	121.9067	0.0000E+00	2.9880E+11	3.8853E+11

		Densidade de	Fluxo de nâutrons	Fluxo de nâutrons		
Mecha	z (cm)	Potência (W/cm <sup>3</sup> )	ránidos	térmicos		
1	1 0000	$\frac{100000}{0000}$	9 4888F+10	1.4130E+11		
2	3,0000	0.0000E+00	1.6370E+11	3 3876E+11		
3	5.0000	0.0000E+00	2.6006E+11	5.3070E+11		
<u> </u>	7,0000	0.0000E+00	$2.0000 \pm 11$ $4.0008 \pm 11$	3.7374E+11 8.0303E±11		
	7.0000	0.0000E+00	$4.0003 \pm 11$ 6.0704 E ± 11	0.7575E+11 1.3518E+12		
5	9.0000	0.0000E+00	0.0704L+11	1.5516E + 12		
7	12,0000	0.0000E+00	9.1311L+11 1.2746E+12	2.0130E+12 2.0713E+12		
/ Q	15.0000	0.0000E+00	1.3740L+12 2.0508E+12	2.9713E+12 4.3200E+12		
0	17,0000	0.0000E+00	2.0396E+12	4.3290E+12 6.2054E+12		
9	17.0000	0.0000E+00	3.0786E+12	0.2034E+12 9.6909E+12		
10	21,0000	0.0000E+00	4.3000E+12	0.0090E+12		
11	21.0000	0.0000E+00	0.80/2E+12	1.1/03E+13		
12	23.0000	0.0000E+00	1.002/E+13	1.3224E+13		
13	24.8567	0.0000E+00	1.41/0E+13	1.83/3E+13		
14	26.5700	0.0000E+00	1.8/96E+13	2.2319E+13		
15	28.2833	0.0000E+00	2.4498E+13	2.7904E+13		
10	29.8375	0.0000E+00	3.0632E+13	3.4356E+13		
1/	31.2325	0.0000E+00	3.6442E+13	4.060/E+13		
18	32.6275	0.0000E+00	4.2342E+13	4.7026E+13		
19	34.0225	0.0000E+00	4.8226E+13	5.34/2E+13		
20	35.4175	0.0000E+00	5.4039E+13	5.9868E+13		
21	36.8125	0.0000E+00	5.9750E+13	6.6170E+13		
22	38.2075	0.0000E+00	6.5335E+13	7.2346E+13		
23	39.6025	0.0000E+00	7.0779E+13	7.8376E+13		
24	40.9975	0.0000E+00	7.6068E+13	8.4243E+13		
25	42.3925	0.0000E+00	8.1193E+13	8.9934E+13		
26	43.7875	0.0000E+00	8.6143E+13	9.5437E+13		
27	45.1825	0.0000E+00	9.0912E+13	1.0074E+14		
28	46.5775	0.0000E+00	9.5495E+13	1.0584E+14		
29	47.9725	0.0000E+00	9.9890E+13	1.1072E+14		
30	49.3675	0.0000E+00	1.0410E+14	1.1534E+14		
31	50.7625	0.0000E+00	1.0812E+14	1.1968E+14		
32	52.1575	0.0000E+00	1.1199E+14	1.2363E+14		
33	53.5525	0.0000E+00	1.1574E+14	1.2699E+14		
34	54.9475	0.0000E+00	1.1945E+14	1.2932E+14		
35	56.3425	0.0000E+00	1.2327E+14	1.2959E+14		
36	57.6900	0.0000E+00	1.2736E+14	1.2592E+14		
37	58.9900	0.0000E+00	1.3202E+14	1.2094E+14		
38	60.2300	9.3904E+01	1.3804E+14	1.1073E+14		
39	61.4100	9.0862E+01	1.4130E+14	1.0692E+14		
40	62.5900	8.9309E+01	1.4328E+14	1.0496E+14		
41	63.7700	8.8493E+01	1.4431E+14	1.0393E+14		
42	64.9500	8.8024E+01	1.4455E+14	1.0336E+14		
43	66.1300	8.7737E+01	1.4404E+14	1.0302E+14		
44	67.3100	8.7625E+01	1.4281E+14	1.0292E+14		
45	68,4900	8.7840E+01	1.4077E+14	1.0324E+14		

**TABELA 5-3:** Parâmetros neutrônicos gerados pelo CITATION para 7 dias de irradiação

46	69.6700	8.8748E+01	1.3777E+14	1.0444E+14
47	70.8500	9.1062E+01	1.3350E+14	1.0739E+14
48	72.0900	0.0000E+00	1.2639E+14	1.1621E+14
49	73.3900	0.0000E+00	1.2049E+14	1.1980E+14
50	74.8400	0.0000E+00	1.1462E+14	1.2186E+14
51	76.4400	0.0000E+00	1.0850E+14	1.1898E+14
52	78.0400	0.0000E+00	1.0229E+14	1.1372E+14
53	79.6400	0.0000E+00	9.5810E+13	1.0719E+14
54	81.2400	0.0000E+00	8.8964E+13	9.9827E+13
55	82.8400	0.0000E+00	8.1727E+13	9.1854E+13
56	84.4400	0.0000E+00	7.4108E+13	8.3389E+13
57	86.0400	0.0000E+00	6.6141E+13	7.4529E+13
58	87.6400	0.0000E+00	5.7886E+13	6.5387E+13
59	89.2400	0.0000E+00	4.9444E+13	5.6126E+13
60	90.8400	0.0000E+00	4.1007E+13	4.7026E+13
61	92.2733	0.0000E+00	3.3832E+13	3.9519E+13
62	93.5400	0.0000E+00	2.8201E+13	3.3916E+13
63	94.8067	0.0000E+00	2.3375E+13	2.9317E+13
64	95.9567	0.0000E+00	1.9681E+13	2.5456E+13
65	96.9900	0.0000E+00	1.6865E+13	2.1726E+13
66	98.0233	0.0000E+00	1.4548E+13	1.7413E+13
67	99.2500	0.0000E+00	1.2648E+13	1.3506E+13
68	100.6700	0.0000E+00	1.0905E+13	1.1440E+13
69	102.0900	0.0000E+00	9.3647E+12	9.7478E+12
70	103.5100	0.0000E+00	8.0130E+12	8.3452E+12
71	104.9300	0.0000E+00	6.8313E+12	7.1781E+12
72	106.3500	0.0000E+00	5.8000E+12	6.2103E+12
73	107.7700	0.0000E+00	4.8995E+12	5.4170E+12
74	109.1900	0.0000E+00	4.1117E+12	4.7821E+12
75	110.6100	0.0000E+00	3.4195E+12	4.2971E+12
76	112.0300	0.0000E+00	2.8078E+12	3.9603E+12
77	113.5733	0.0000E+00	2.1024E+12	3.5118E+12
78	115.2400	0.0000E+00	1.4838E+12	2.7289E+12
79	116.9067	0.0000E+00	1.0396E+12	2.0193E+12
80	118.5733	0.0000E+00	7.1768E+11	1.4132E+12
81	120.2400	0.0000E+00	4.8023E+11	8.8812E+11
82	121.9067	0.0000E+00	2.9935E+11	3.8925E+11

O volume modelado no CITATION correspondente à posição das miniplacas foi de 246,384 cm<sup>3</sup>. Este volume, juntamente com o maior valor da densidade de potência foi utilizado para determinar a potência máxima dissipada pelas miniplacas como dado de entrada para o programa MTRCR-IEAR1 para a análise termo-hidráulica.

Com o código SCALE foi possível calcular a queima de <sup>235</sup>U nas miniplacas e assim determinar a atividade de <sup>99</sup>Mo atingida ao final dos três períodos de irradiação.

Considerando o reator operando a 5 MW, ao final de 3 dias de irradiação a atividade total obtida para as 10 miniplacas de UAl<sub>x</sub>-Al foi de 620 Ci, para 5 dias de irradiação a atividade foi de 831,96 Ci e após 7 dias de irradiação a atividade foi de 958,3 Ci. Estes valores são referentes à atividade produzida imediatamente após os períodos de irradiação.

Para saber a atividade de <sup>99</sup>Mo após o processamento químico das miniplacas é necessário se levar em conta o tempo de processamento e o decaimento radioativo do <sup>99</sup>Mo. Devido a este decaimento a atividade total será menor do que a atividade obtida no final da irradiação. Estima-se, em princípio, que o tempo necessário para a recuperação do <sup>99</sup>Mo dos outros produtos de fissão e posterior distribuição dos geradores de <sup>99m</sup>Tc para os hospitais e clínicas será de 5 dias.

Para calcular a atividade de <sup>99</sup>Mo no dia da distribuição dos geradores utilizamos a seguinte equação, dado pela lei do decaimento radioativo:

$$A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \tag{5-1}$$

onde:

A é a atividade do elemento radioativo depois de transcorrido um intervalo de tempo t;

 $A_0$  é a atividade inicial do elemento;

 $\lambda$  é a constante de desintegração; e

t é o tempo transcorrido.

A constante de desintegração do <sup>99</sup>Mo é dada por:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{\text{meia vida}}} = \frac{0.693}{2.749} = 0.252 \text{ dia}^{-1}$$
(5-2)

Sendo assim, teremos no dia de distribuição uma atividade de aproximadamente 176 Ci para 3 dias de irradiação, 236 Ci para 5 dias de irradiação e 272 Ci para 7 dias de irradiação.

#### 5.2 Resultados das análises termo-hidráulicas

A inserção do DIM na placa matriz do reator IEA-R1 desviará parte do fluido refrigerante que circula no núcleo do reator para que seja possível o resfriamento das miniplacas de UAl<sub>x</sub>-A1. Com isso foi desenvolvida uma análise termo-hidráulica do dispositivo para se determinar uma vazão mínima suficiente para resfriar as miniplacas, mas sem prejudicar o resfriamento dos elementos combustíveis que compõem o núcleo do reator.

Utilizando-se o volume do dispositivo modelado no CITATION (246,384 cm<sup>3</sup>) e a maior curva de densidade de potência gerada nas miniplacas de 94,661 W/cm<sup>3</sup> (dado pela mecha 38 da Tabela 5-1), temos que a máxima potência dissipada no dispositivo foi de 23322,96 W. Esta potência foi utilizada como dado de entrada no programa MTRCR-IEAR1 para determinar a variação de temperatura ao longo das miniplacas.

Variando-se a vazão com que o fluido refrigerante escoa pelo DIM, foi feita uma análise para se estabelecer qual a velocidade de escoamento nos canais das miniplacas necessária para não se atingir a temperatura de ebulição nucleada ( $T_{ONB}$ ). A análise foi estendida para verificar, também, se o fluxo de refrigerante desviado do núcleo do reator não ia comprometer o resfriamento do mesmo.

A Tabela 5-4 apresenta as temperaturas no material combustível (cerne), no revestimento das miniplacas e no refrigerante, obtidas pelo programa MTRCR-IEA-R1. A Figura 5-1 mostra um gráfico do comportamento das temperaturas em função da velocidade de escoamento nos canais das miniplacas.

A escolha da vazão variando entre 1 a 20 m<sup>3</sup>/h deve-se ao fato de que a bomba responsável pela circulação da água no núcleo do reator fornece a cada um dos elementos combustíveis uma vazão de aproximadamente 23 m<sup>3</sup>/h, suficiente para refrigerar estes elementos, que possuem uma potência média de aproximadamente 2,08x10<sup>5</sup> W, com o reator operando na potência de 5 MW /44,45,46/, logo espera-se que vazões inferiores a esta sejam suficientes para refrigerar as miniplacas.

Da Figura 5-1 e da Tabela 5-4 pode-se observar que a temperatura no fluido refrigerante está sempre abaixo de 100 °C, e que a temperatura onde ocorre o regime de ONB é de 123,1 °C sendo que a vazão mínima necessária para refrigerar as miniplacas e não atingir no revestimento a temperatura  $T_{ONB}$ , é da ordem de 10 m<sup>3</sup>/h. Ainda da Tabela 5-4 tem-se que nesta condição a velocidade de escoamento nos canais de refrigeração das

miniplacas é de 1,77 m/s. A Figura 5-2 mostra a variação da velocidade de escoamento nos canais de refrigeração em relação à vazão no DIM.

Esta vazão é bem inferior àquela disponível aos elementos combustíveis, logo se fez necessária a introdução de uma placa limitadora de vazão (PLV) no projeto do DIM para regular a vazão de refrigeração das miniplacas e evitar um desvio desnecessário do fluido refrigerante dos elementos combustíveis. O Centro de Engenharia Nuclear (CEN) realizou diversos testes para verificar a influência da área livre de escoamento (furos) da PLV na vazão do DIM. Como resultado foi obtida uma PLV com 9 furos de 11,5 mm de diâmetro em uma placa de alumínio com dimensões de 69x69x16 mm que mantém no DIM uma vazão de aproximadamente 12 m<sup>3</sup>/h /74/. Esta PLV fornece uma vazão suficiente para a refrigeração segura das miniplacas, sendo que o DIM desviará cerca de 1,5% da vazão total fornecida pela bomba ao núcleo do reator IEA-R1, evitando assim um desvio desnecessário do fluido refrigerante dos elementos do núcleo.

			_		
Vazão	Velocidade	Temp. no	Temp. no	Temp. no	Ton
$(m_3/h)$		cerne	revestimento	refrigerante	(°C)
(111-/11)	(11/8)	(°C)	(°C)	(°C)	(C)
1	0,1775	478,4	470,4	92,29	123,1
2	0,355	301,6	293,6	67,01	123,1
3	0,5324	239	231	58,64	123,1
4	0,7099	203,2	195,2	54,47	123,1
5	0,8874	179,8	171,8	51,97	123,1
6	1,065	163,1	155,1	50,31	123,1
7	1,242	150,5	142,5	49,12	123,1
8	1,42	140,7	132,7	48,23	123,1
9	1,597	132,8	124,8	47,53	123,1
10	1,775	126,3	118,3	46,98	123,1
11	1,952	120,8	112,8	46,53	123,1
12	2,13	116,2	108,2	46,15	123,1
13	2,307	112,1	104,1	45,83	123,1
14	2,485	108,6	100,6	45,56	123,1
15	2,662	105,5	97,53	45,32	123,1
16	2,84	102,8	94,77	45,11	123,1
17	3,017	100,3	92,31	44,93	123,1
18	3,195	98,07	90,08	44,77	123,1
19	3,372	96,06	88,07	44,62	123,1
20	3,55	94,22	86,23	44,49	123,1

TABELA 5-4: Temperaturas nas miniplacas em função da vazão no DIM



FIGURA 5-1: Temperaturas nas miniplacas em função da vazão no DIM



FIGURA 5-2: Velocidade de escoamento nos canais de refrigeração em função da vazão no DIM

A velocidade crítica foi calculada pela equação (4-27), sendo utilizados os seguintes valores:  $E = 6,9x10^5$  bar; v = 0,33;  $\rho = 993$  kg/m<sup>3</sup>;  $e_p = 1,52x10^{-3}$  m;  $e_{cer} = 0,76x10^{-3}$  m;  $e_c = 3,7x10^{-3}$  m e  $L_c = 47x10^{-3}$  m, obtendo o valor  $v_{crit} = 19,73$  m/s. A vazão limitada pela PLV de 12 m<sup>3</sup>/h corresponde a uma velocidade de escoamento nos canais de refrigeração de 2,13 m/s, este valor é menor do que 2/3 da  $v_{crit}$ , mostrando não haver problemas com as miniplacas em relação a este parâmetro.

Os parâmetros para as margens de segurança para o início da instabilidade de fluxo (FIR) e para o fluxo de calor crítico (MDNBR) são apresentados na Tabela 5-5. Para a vazão de 12 m<sup>3</sup>/h tem-se que estas margens estão acima do valor 2, que é o admitido como critério de projeto. Na Figura 5-3 temos um gráfico com o comportamento do FIR e MDNBR com a variação da vazão.

Vozão	Velocidade de		
$\sqrt{aza0}$	escoamento	FIR	MDNBR
(m3/n)	(m/s)		
1	0,1775	15,37	0,4746
2	0,355	13,06	1,443
3	0,5324	11,01	2,08
4	0,7099	9,258	2,582
5	0,8874	7,779	3,008
6	1,065	6,533	3,383
7	1,242	5,486	3,722
8	1,42	4,605	4,034
9	1,597	3,866	4,324
10	1,775	3,245	4,596
11	1,952	2,724	4,852
12	2,13	2,286	5,097
13	2,307	1,919	5,33
14	2,485	1,61	5,553
15	2,662	1,351	5,768
16	2,84	1,134	5,975
17	3,017	0,9517	6,175
18	3,195	0,7987	6,369
19	3,372	0,6703	6,558
20	3,55	0,5625	6,741

TABELA 5-5: Margens de segurança termo-hidráulicas FIR e MDNBR



FIGURA 5-3: FIR e MDNBR em função da vazão no DIM

# 6. CONCLUSÕES

Para atender a demanda nacional pelo molibdênio-99 (<sup>99</sup>Mo), de cerca de 450 Ci por semana, e para suprir a escassez do fornecimento deste radioisótopo, que vem sendo observada no cenário mundial desde 2008, o IPEN/CNEN-SP está desenvolvendo um projeto para a produção de <sup>99</sup>Mo através da fissão do urânio-235 (<sup>235</sup>U). Para isto, foi estudado nesta dissertação a irradiação de alvos do tipo dispersão de UAl<sub>x</sub>-Al, revestidos em alumínio, com baixo enriquecimento de urânio (19,9% em peso) e com uma massa de 2,06 g de <sup>235</sup>U. Estes alvos têm a forma de miniplacas e serão alojados em um Dispositivo de Irradiação de Miniplacas (DIM) que será inserido e irradiado na posição central do núcleo ativo do reator IEA-R1. Para avaliar a inserção com segurança do DIM no reator foram realizadas analises neutrônica e termo-hidráulica.

Os cálculos neutrônicos realizados com o programa CITATION, para o DIM com 10 miniplacas de UAl<sub>x</sub>-Al e o reator operando em sua potência máxima de 5 MW, mostram que a irradiação irá inserir uma pequena reatividade positiva de +390 pcm no núcleo do reator, sendo esta inferior ao máximo de 1000 pcm admitida para experimentos.

Utilizando-se a potência máxima dissipada pelas miniplacas, mostrou-se através de cálculos termo-hidráulicos, com o programa MTRCR-IEAR1, que a vazão mínima necessária para refrigerar as miniplacas é de 10 m<sup>3</sup>/h no DIM.

Para obter esta vazão é necessária a utilização de uma Placa Limitadora de Vazão (PLV) com nove furos de 11,5 mm de diâmetro, que limita a vazão no DIM em ~12 m<sup>3</sup>/h. Para esta vazão a velocidade de escoamento nos canais das miniplacas é da ordem de 2,13 m/s, sendo suficiente para manter as temperaturas no revestimento e no fluido refrigerante abaixo dos limites estipulados e desviando apenas uma pequena fração da vazão dos elementos do núcleo do reator, sem prejudicar o resfriamento dos mesmos.

As análises neutrônica e termo-hidráulica demonstram que a inserção do DIM com 10 miniplacas de  $UAl_x$ -AL no núcleo do reator não causam nenhuma anormalidade na operação do mesmo, de forma que os limites de projetos das miniplacas são respeitados.

A quantidade total de <sup>99</sup>Mo produzida foi obtida pelo programa SCALE considerando três períodos diferentes de irradiação: 3, 5 e 7 dias. Após três dias de

irradiação a atividade de <sup>99</sup>Mo foi de 620 Ci; após cinco dias a atividade foi de 831,96 Ci e após sete dias de irradiação foi de 958,3 Ci. Devido ao tempo de processamento químico dos alvos e separação do <sup>99</sup>Mo, estima-se que os geradores de <sup>99m</sup>Tc serão distribuídos cinco dias após o fim da irradiação, consequentemente a atividade total do <sup>99</sup>Mo diminuirá para um valor aproximado de 176 Ci, 236 Ci e 272 Ci para 3, 5 e 7 dias de irradiação, respectivamente.

Com isso, temos que a produção de <sup>99</sup>Mo somente com a irradiação de alvos do tipo LEU de UAl<sub>x</sub>-Al, contendo 2,06 g de <sup>235</sup>U por alvo (20,6 g no DIM), no reator IEA-R1, mesmo na condição de máxima produção, não será suficiente para atender a demanda semanal brasileira de 450 Ci deste radionuclídeo, sendo necessário complementar a produção com a irradiação de alvos do mesmo ou de diferentes tipos no Reator Multipropósito Brasileiro (RMB) que está em fase de concepção. Para isto, novos estudos devem ser realizados a fim de se manter a segurança de operação, possibilitando também, o desenvolvimento de novos alvos, contendo outros tipos de material combustível, e dispositivos de irradiação com diferentes geometrias.

# I APÊNDICES

## APÊNDICE A – Dados de entrada do programa CITATION

```
CITATION - HAMMER(SEC.CHOQUE) - CF236(EIBE) - S/XE - 2 GRUPOS - 3D
c/10 refletores/Be - c/barras/absorvedoras - 5.0 MW
000
 4
001
 1
               -1 -1
       0 1 0 0 0 0 1 0 0 1 0
 1
    0
                                       0
999999
002
                                                                      -1
 1 1
 1.0
          1 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 1
    2
       \cap
                                                                      1
            3.57724E+02 7.15448E+02 1.07317E+03 1.43089E+03 1.78862E+03
 0.0
 2.14634E+03 2.50406E+03 2.86179E+03 3.21951E+03 3.57724E+03 3.93496E+03
 4.29268E+03 4.65041E+03 5.00813E+03
131
 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
 0.00000E+00 0.00000E+00 5.47283E-07 1.46139E-06 5.83363E-06 6.02812E-06
 4.10553E-06 8.42472E-06 6.06829E-06 7.76568E-06 7.49598E-06 8.60117E-06
 1.04018E-05 8.69963E-06 8.09418E-06 6.61561E-06 1.08436E-05 6.92827E-06
 8.50516E-06 6.90813E-06 8.74257E-06 9.41465E-06 8.85662E-06 6.94055E-06
 7.59907E-07 9.34244E-07 1.05145E-06 1.01966E-06 8.21593E-07 9.74656E-07
7.49799E-07 1.32471E-06 8.78431E-07 1.08876E-06 1.13324E-06 1.36259E-06
1.48259E-06 1.20933E-06 1.15282E-06 9.46253E-07 1.53809E-06 9.65920E-07
1.16906E-06 9.54254E-07 1.21054E-06 1.29862E-06 1.21272E-06 9.42236E-07
 3.74316E-06 4.70570E-06 5.07044E-06 4.75221E-06 3.76982E-06 4.85837E-06
 3.93970E-06 6.46236E-06 4.08618E-06 4.97702E-06 5.43762E-06 6.67536E-06
 6.83057E-06 5.50067E-06 5.33765E-06 4.37956E-06 7.07156E-06 4.39759E-06
 5.28785E-06 4.34977E-06 5.51025E-06 5.89185E-06 5.47986E-06 4.24421E-06
 8.00773E-07 1.00721E-06 1.06621E-06 9.81370E-07 7.70828E-07 1.03825E-06
 8.45143E-07 1.35566E-06 8.41005E-07 1.01550E-06 1.14179E-06 1.39978E-06
 1.39454E-06 1.11770E-06 1.10063E-06 8.99446E-07 1.44290E-06 8.92450E-07
 1.07070E-06 8.88436E-07 1.12246E-06 1.19610E-06 1.10932E-06 8.57803E-07
 3.79329E-06 4.72238E-06 4.94610E-06 4.51035E-06 3.54925E-06 4.87183E-06
 3.92202E-06 6.22220E-06 3.84483E-06 4.65481E-06 5.31372E-06 6.43193E-06
 6.33535E-06 5.10719E-06 5.09289E-06 4.11764E-06 6.55875E-06 4.05585E-06
 4.89051E-06 4.11876E-06 5.15979E-06 5.47576E-06 5.07473E-06 3.93998E-06
 4.82248E-06 5.63998E-06 6.85923E-06 7.02242E-06 0.00000E+00
 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
 0.00000E+00 0.00000E+00 9.81339E+07 8.78735E+07 6.49033E+07 5.86950E+07
 4.49392E+07 6.38463E+07 6.63742E+07 6.23057E+07 6.07183E+07 6.36046E+07
 6.93307E+07 6.14383E+07 6.19958E+07 6.60722E+07 6.62727E+07 6.59389E+07
 6.18761E+07 6.35361E+07 6.30672E+07 6.10724E+07 6.29551E+07 6.33972E+07
```

6.2713 5.9803 6.8136 6.1292 6.2715 6.4999 6.7172 6.1145 6.2652 6.5474 6.8122 6.1196 6.3583 6.6013 6.9291 6.1874 6.3397 003	3E+07 4E+07 6E+07 3E+07 3E+07 0E+07 0E+07 0E+07 4E+07 0E+07 6E+07 7E+07 8E+07	6. 6666666666666665 5	0625 4741 0775 2516 2531 4649 0607 2340 2660 2383 3331 6699 1253 3421 6317	5E++ 5E++ 0E++ 3E++ 4E++ 9E++ 2E++ 7E++ 9E++ 9E++ 9E++ 7E++ 9E++ 7E++ 7E++ 9E++ 7E+++ 7E+++ 7E++++ 7E+++++ 7E++++++++++	07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07	$\begin{array}{c} 6.1\\ 6.5\\ 6.1\\ 6.2\\ 6.1\\ 6.5\\ 6.1\\ 6.2\\ 6.2\\ 6.2\\ 6.2\\ 6.2\\ 6.2\\ 6.1\\ 6.2\\ 6.2\\ 6.2\\ 6.2\\ 6.2\\ 6.2\\ 6.2\\ 6.2$	289 584 294 377 276 310 2218 407 429 126 308 3184 6005 710 888 733	00E++ 6E++ 9E++ 60E++ 9E++ 60E++ 60E++ 62E++ 62E++ 62E++ 62E++ 62E++ 82E++ 82E++ 82E++ 72E++ 82E	07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 0		5293 1524 5310 0334 4518 1347 5074 0181 1378 5085 1378 5085 247 5247 5247 5085 6110 2056 5804 6572	89E++ 15E++ 12E++ 12E++ 12E++ 12E++ 12E++ 12E++ 12E++ 12E++ 12E++ 12E++ 12E++ 12E+++ 12E+++ 12E++++ 12E+++++ 12E++++++++++++++++++++++++++++++++++++	07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 0		37348E+07 04868E+07 51870E+07 23040E+07 33879E+07 05682E+07 42809E+07 21655E+07 36128E+07 06463E+07 51834E+07 22732E+07 46716E+07 12086E+07 52654E+07 28670E+07 00000E+00	6.03653E+07 6.64365E+07 6.52533E+07 6.24909E+07 6.12548E+07 6.71306E+07 6.50247E+07 6.23593E+07 6.13092E+07 6.52144E+07 6.24290E+07 6.19831E+07 6.92239E+07 6.57905E+07 6.34358E+07
0 0	0 0 1	11					5.0	0	0	0	0 0.00	0 001	0	0	1 1.000	
004 24 24. 3 1.8 3 1.8 24 24. 3 2.6 1 0.9 3 2.6 1 0.4	00 545 545 00 10 61 10 41	10 4 10 10 2 6 2 1	7.7 2.0 7.7 8.1 1.4 5.2 1.4 0.4	09 00 40 96 40		5 4 5 10 1 1 8	3.8 2.0 3.8 8.1 0.4 0.9 0.4 7.2	55 54 00 41 61 41		5 3 5 10 8 1 1	3.8 1.8 3.8 8.1 7.2 0.4 0.9	354 355 00 218 41 961 41		10 3 24 2 1 2 6 10	7.709 1.8545 24.00 1.440 0.441 1.440 5.296 8.100	10 7.709 8 4.0 3 2.610 1 0.441 3 2.610 1 0.961 24 24.00
12 24. 11 17.	00 60	3 3	5.1 3.8	4		20 3	27. 3.1	90 .00		2 10	2.0 14.	500 2		10 6	11.80 10.0	2 2.600
2       2         2	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	PISC	CINA

2 2 2 2 2	PLACAS DE AL																		
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2			
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2			
2 2	⊥ 1	2																	
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2			
2	1	1	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	2			
2	1	1	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	2			
2	1	1	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	2			
2	1	1	1	41	31	4	4	4	4	6	6	6	4	1	1	2			
2	1	1	1	41	31	4	4	4	4	6	6	6	4	1	1	2			
2 2	⊥ 1	⊥ 1	⊥ 1	4 11	4 २1	4 1	4 1	4 1	4 1	4	4	4	4 1	⊥ 1	⊥ 1	2			
2	⊥ 1	1	⊥ 1	41	31 31	4	4	4	4	6	6	6	4	⊥ 1	1	2			
2	1	1	1	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4	1	1	2			
2	1	1	1	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4	1	1	2			
2	1	1	1	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4	1	1	2			
2	1	1	1	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4	1	1	2			
2	1	1	1	4	6	4	4	4	4	6	6	6	4	1	1	2			
2	1	1	1	4	6	4	4	4	4	6	6	6	4	1	1	2			
2	1	1	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	2			
2	1	1	1	4	6	4	4	4	4	6	6	6	4	1	1	2			
2	1	1	1	4	6	4	4	4	4	6	6	6	4	1	1	2			
2	⊥ 1	⊥ 1	⊥ 1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	⊥ 1	⊥ 1	2			
2 2	⊥ 1	⊥ 1	⊥ 1	4 4	4 4	4 2	4 4	4 4	4 2	4 4	4 4	4 4	4 4	⊥ 1	⊥ 1	2			
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2			
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2			
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	NUCLEO ATIVO 1		
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2			
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2			
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2			
2	1	1	1	⊥ 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2			
2	⊥ 1	⊥ 1	⊥ 110	⊥ >71	⊥ 2.91	エ 1 つ Q 1	1 2 Q -	1 2 Q -	⊥ 1 2 Q '	130. T	130. T	130	⊥ 11	⊥ 1	⊥ 1	2			
2	⊥ 1	1	112	./_ /71	281	1291	1291	129.	129.	1301	130.	130	11	⊥ 1	1	2			
2	1	1	112	271	281	L291	1291	129:	129:	1301	130	130	11	1	1	2			
2	1	1	1 1	21	31	14	14	14	14	6	6	6	16	1	1	2			
2	1	1	1 1	21	31	14	14	14	14	6	6	6	16	1	1	2			
2	1	1	1 1	2	13	14	14	14	14	15	15	15	16	1	1	2			
2	1	1	1 1	21	31	14	14	14	14	6	6	6	16	1	1	2			
2	1	1	1 1	.21	31	14	14	14	14	6	6	6	16	1	1	2			
2	1	1	1 1	.'/	18	5	5	5	5	19	19	19	20	1	1	2			
2	⊥ 1	1		- /	10	5	5	5	5	19	19	19	20	1	1	2			
2 2	⊥ 1	⊥ 1	⊥ ⊥ 1 1	- /	18 18	5	5 5	5 5	5	19 19	19 19	19 19	20	⊥ 1	⊥ 1	2			
2	⊥ 1	⊥ 1	1 2	21	- 0 6	23	23	23	23	و <u>ـ</u> 6	ر ـ ـ 6	ر ـ ـ 6	25	1 1	⊥ 1	2			
2	1	1	1 2	21	6	23	23	23	23	6	6	6	25	1	1	2			
2	1	1	1 2	21	22	23	23	23	23	24	24	24	25	1	1	2			
2	1	1	1 2	21	6	23	23	23	23	6	6	6	25	1	1	2			
2	1	1	1 2	21	6	23	23	23	23	6	6	6	25	1	1	2			
2	1	1	1 2	26	27	28	28	28	28	29	29	29	30	1	1	2			
2	1	1	1 2	26	27	28	28	28	28	29	29	29	30	1	1	2			
2	T	1	1 2	26	21	28	28	28	28	29	29	29	30	1	1	2			
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2			
---	--------	--------	--------	-----------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	------------	--------	--------	----------	------------	-------	---
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2			
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	 NUCLEO	ATTVO	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2			
2	⊥ 1	⊥ 1	⊥ 1	1	1	⊥ 1	1	⊥ 1	⊥ 1	⊥ 1	1	1	1	⊥ 1	⊥ 1	2			
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2			
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2			
2	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	Ţ	2			
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2			
2	1	1	1	31	32	33	33	33	33	34	34	34	35	1	1	2			
2	1	1	1	31	32	33	33	33	33	34	34	34	35	1	1	2			
2	1	1	1	31	32	33	33	33	33	34	34	34	35	1	1	2			
2	1	1	1	36	6	38	38	38	38	6	6	6	40	1	1	2			
2	1	1	1	36	6	38	38	38	38	6	6	6	40	1	1	2			
2	1	1	1	36	37	38	38	38	38	39	39	39	40	1	1	2			
2	1	1	1	36	6	38	38	38	38	6	6	6	40	1	1	2			
2	1	1	1	36	6	38	38	38	38	6	6	6	40	1	1	2			
2	1	1	1	л1	12	3	3	3	3	13	13	13	лл	1	1	2			
2	1	⊥ 1	1	лт Л 1	12	2	2	2	2	12	12	12	7 T 7 A	1	⊥ 1	2			
2	1	1	1	41 11	42	ン つ	ン つ	ン つ	ン つ	43	40	40	44	1	⊥ 1	2			
2	1	1	1	41	42	3	3	3	3	43	43	43	44	1	1	2			
2	Ţ	1	1	41	42	3	3	3	3	43	43	43	44	1	Ţ	2			
2	1	1	1	45	6	47	47	47	47	6	6	6	49	1	1	2			
2	1	1	1	45	6	47	47	47	47	6	6	6	49	1	1	2			
2	1	1	1	45	46	47	47	47	47	48	48	48	49	1	1	2			
2	1	1	1	45	6	47	47	47	47	6	6	6	49	1	1	2			
2	1	1	1	45	6	47	47	47	47	6	6	6	49	1	1	2			
2	1	1	1	50	51	52	52	52	52	53	53	53	54	1	1	2			
2	1	1	1	50	51	52	52	52	52	53	53	53	54	1	1	2			
2	1	1	1	50	51	52	52	52	52	53	53	53	54	1	1	2			
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2			
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	⊥ 1	2			
2	- -	1 2	- -	1 2	1 2	- -	1 2	- -	- -	- -	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2	2			C
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	 NUCLEO	ATIVO	3
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2			
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2			
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2			
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2			
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2			
2	1	1	1	55	56	57	57	57	57	58	58	58	59	1	1	2			
2	1	1	1	55	56	57	57	57	57	58	58	58	59	1	1	2			
2	1	1	1	55	56	57	57	57	57	58	58	58	59	1	1	2			
2	1	1	1	60	6	62	62	62	62	6	6	6	64	1	1	2			
2	1	1	1	60	6	62	62	62	62	6	6	6	64	1	1	2			
2	1	1	1	60	61	62	62	62	62	63	63	63	64	1	1	2			
2	1	1	1	60	6	62	62	62	62	6	600	600	67	1	⊥ 1	2			
2	⊥ 1	⊥ 1	⊥ 1	60	6	62	62	62	62	6	6	6	64	⊥ 1	⊥ 1	2			
2	⊥ 1	⊥ 1	⊥ 1	60	66	20	20	20	20	67	67	67	604	⊥ 1	⊥ 1	2			
2	1	1	1	65	60	3	3	3	3	67	67	67	68	1	1	2			
2	Ţ	1	T	65	66	3	9	9	3	6/	67	67	68	1	Ţ	2			
2	1	1	1	65	66	3	10	10	3	6.1	6.1	6.1	68	1	1	2			
2	1	1	1	65	66	3	3	3	3	67	67	67	68	1	1	2			
2	1	1	1	69	6	71	71	71	71	6	6	6	73	1	1	2			
2	1	1	1	69	6	71	71	71	71	6	6	6	73	1	1	2			
2	1	1	1	69	70	71	71	71	71	72	72	72	73	1	1	2			
2	1	1	1	69	6	71	71	71	71	6	6	6	73	1	1	2			
2	1	1	1	69	6	71	71	71	71	6	6	6	73	1	1	2			
2	1	1	1	74	75	76	76	76	76	77	77	77	78	1	1	2			
2	1	1	1	74	75	76	76	76	76	77	77	77	78	1	1	2			
2	1	1	1	74	7.5	76	76	76	76	77	77	77	78	1	1	2			
2	1	1	1	1	1	. 0	. 0	. 0	. 0	. ,	1	1	1	1	1	2			
_	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	<u> </u>			

2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2				
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	 -NUCLI	ΕO	ATIVO	4
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	~	2	2				
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2				
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2				
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2				
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2				
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2				
2	1	T	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	T	2				
2	1	1	1	/9	80	81	81	81	81	82	82	82	83	1	1	2				
2	1	1	1	79	80	81	81	81	81	82	82	82	83	1	1	2				
2	1	1	1	79	80	81	81	81	81	82	82	82	83	1	1	2				
2	1	1	1	R 4	6	86	86	86	86	6	6	6	88	1	1	2				
2	1	1	1		C	00	00	00	00	C	C	C	00	1	1	2				
2	T	1	1	84	0	80	80	80	80	0	0	0	88	1	T	2				
2	1	1	1	84	85	86	86	86	86	8.1	8.1	8.1	88	1	1	2				
2	1	1	1	84	6	86	86	86	86	6	6	6	88	1	1	2				
2	1	1	1	84	6	86	86	86	86	6	6	6	88	1	1	2				
2	1	1	1	R Q	90	3	3	3	3	91	91	91	92	1	1	2				
2	1	1	1		00	2	2	2	2	01	01		00	1	1	2				
2	T	T	T	89	90	3	3	3	3	91	91	91	92	T	T	2				
2	1	1	1	89	90	3	3	3	3	91	91	91	92	1	1	2				
2	1	1	1	89	90	3	3	3	3	91	91	91	92	1	1	2				
2	1	1	1	93	6	95	95	95	95	6	6	6	97	1	1	2				
2	1	1	1	0.2	6	05	05	05	05	6	6	6	07	1	1	2				
2	1	T	1	95	0	95	95	95	95	0	0	0	97	1	T	2				
2	1	1	1	93	94	95	95	95	95	96	96	96	97	1	1	2				
2	1	1	1	93	6	95	95	95	95	6	6	6	97	1	1	2				
2	1	1	1	93	6	95	95	95	95	6	6	6	97	1	1	2				
2	1	1	1	98	gg.	100	100	100	1001	011	011	011	02	1	1	2				
2	1	1	1		001	100.	100.	100.	100-				02	1	1	2				
Ζ	T	T	T	98	99.	100.	100.	100.	100.				.02	T	T	Ζ				
2	1	1	1	98	99:	1001	1001	1001	1001	L011	L011	1011	.02	1	1	2				
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2				
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2				
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	NUCT	Ē		F
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	 NUCLI	EO	AIIVO	5
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				
2	2	2	2	2	2	2	2	~			~		~	~	0	~				
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-2	2	2	2	2	2				
2 2 2	2 1	2 2 1	2 2 1	2	2	2 2 1	2 2 1	2	2 1	2 1	2	2 1	2	2	2 1	2				
2 2 2 2	2 2 1 1	2 2 1 1	2 1 1	2 2 1 1	2 2 1 1	2 2 1 1	2 2 1	2 1 1	2 1 1	2 1 1	2 1 1	2 1 1	2 1 1	2 1 1	2 1 1	2				
2 2 2 2	2 1 1	2 1 1	2 1 1	2 1 1	2 1 1	2 2 1 1	2 1 1	2 1 1	2 1 1	2 1 1	2 1 1	2 1 1	2 1 1	2 1 1	2 1 1	2 2 2				
2 2 2 2 2	2 1 1 1	2 1 1 1	2 1 1 1	2 1 1 1	2 1 1 1	2 1 1 1	2 1 1 1	2 1 1 1	2 1 1 1	2 1 1 1	2 1 1 1	2 1 1 1	2 1 1 1	2 1 1 1	2 1 1 1	2 2 2 2				
2 2 2 2 2 2	2 1 1 1 1	2 1 1 1	2 1 1 1	2 1 1 1 1	2 1 1 1 1	2 1 1 1 1	2 1 1 1 1	2 1 1 1 1	2 1 1 1	2 1 1 1 1	2 1 1 1 1	2 1 1 1 1	2 1 1 1 1	2 1 1 1 1	2 1 1 1 1	2 2 2 2 2				
2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1	2 1 1 1 1	2 1 1 1 1	2 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1	2 2 2 2 2 2 2 2				
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 0.31	2 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 105	2 1 1 1 1 1 105	2 1 1 1 1 1 105	2 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 061	2 1 1 1 1 1 1 07	2 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2				
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 031	2 1 1 1 1 1 043	2 1 1 1 1 105:	2 1 1 1 1 105:	2 1 1 1 1 105:	2 1 1 1 1 1053	2 1 1 1 1 1 1 1061	2 1 1 1 1 1 1 1 061	2 1 1 1 1 1 1 061	2 1 1 1 1 1 .07	2 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2				
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 031 031	2 1 1 1 1 1 1 1 1 043	2 1 1 1 1 1053	2 1 1 1 1 1053	2 1 1 1 105: 105:	2 1 1 1 1053	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 061	2 1 1 1 1 1 1 1 1 061	2 1 1 1 1 1 1 1061	2 1 1 1 1 .07	2 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2				
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 11 11	2 1 1 1 031 031	2 1 1 1 1 1 1 043	2 1 1 1 1053 1053	2 1 1 1 1053 1053	2 1 1 1 105: 105:	2 1 1 1 1053 1053	2 1 1 1 1 1 1 1 061 1061	2 1 1 1 1 1 1 1 061 1061	2 1 1 1 1 1 1 061	2 1 1 1 1 .07 .07	2 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2				
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 031 031 031	2 1 1 1 1 1 1 043 1043 1043	2 1 1 1 105: 105: 105:	2 1 1 1 1053 1053 1053	2 1 1 1 1053 1053 1053	2 1 1 1 1053 1053 1053	2 1 1 1 1 1 1 1 061 1061 1061	2 1 1 1 1 1 1 1 061 1061 6	2 1 1 1 1 1 061 1061 1061	2 1 1 1 .07 .07 .07	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2				
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 031 031 033 08	2 1 1 1 1 1 04 1 04 1 04 1 04 1 6 1 6	2 1 1 1 105: 105: 105: 110:	2 1 1 1 105: 105: 105: 110:	2 1 1 1 105: 105: 105: 110:	2 1 1 1 1053 1053 1053 110	2 1 1 1 1 1 1 061 1061 6 6	2 1 1 1 1 1 1 1 061 1 061 6 6	2 1 1 1 1 061 061 61	2 1 1 1 .07 .07 .07 .12	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2				
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 031 031 031 031 031 038 08	2 1 1 1 1 1 04 1 04 1 04 1 04 1 04 1 04	2 1 1 1 105: 105: 110: 110: 110:	2 1 1 1 105: 105: 110: 110: 110:	2 1 1 1 105: 105: 110: 110: 110:	2 1 1 1 1053 1053 1053 110 110	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 6 6 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 .07 .07 .07 .12 .12	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2				
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 031 031 031 033 08 08	2 1 1 1 1043 1043 63 63 63	2 1 1 1 105: 105: 110: 110: 110:	2 1 1 1 105: 105: 110: 110: 110:	2 1 1 1 105: 105: 110: 110: 110:	2 1 1 1 1053 1053 1053 110 110	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 .07 .07 .07 .12 .12 .12	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2				
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 031 033 033 033 033 033 033 033 0	2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 105: 105: 110: 110: 110: 110:	2 1 1 1 105: 105: 110: 110: 110: 110:	2 1 1 1 105: 105: 110: 110: 110: 110:	2 1 1 1 1053 1053 1053 110 110 110	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 .07 .07 .07 .12 .12 .12	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2				
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 11 11 11 11 11 11 11	2 1 1 1 031 031 031 031 031 033 031 033 033	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 5 5 1 105 5 1 105 1 105 1 100 1 110 1 110 1	2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 5 5 1 105 5 1 105 105	2 1 1 1 1053 1053 1053 1103 1103 1103	2 1 1 1 105 105 105 110 110 110	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 .07 .07 .07 .12 .12 .12 .12	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2				
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 031 031 031 031 031 031 031 031 0	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 5	2 2 1 1 1 1 1 1 5	2 1 1 1 105: 105: 1100: 1100: 1100: 1100: 5	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 .07 .07 .07 .07 .12 .12 .12 .12 .12 .12	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2				
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 031 031 031 031 033 033 033 033 0	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 5 5 5	2 1 1 1 1053 1053 1105 1100 1100 1100 5 5	2 1 1 1 105: 105: 1105: 1100: 1100: 1110: 5 5	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 .07 .07 .07 .12 .12 .12 .12 .12 .12 .12 .12 .12 .12		2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2				
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 031 031 033 033 033 033 033 033 0	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 1 1 1 1 1 1 1 0 5 5 5 5	2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 5 5 5 5	2 1 1 1 105: 105: 1105: 1100: 1100: 1100: 5 5 5	2 1 1 1 1053 1053 1053 1053 1053 1053 105	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 07 .07 .07 .07 .12 .12 .12 .12 .12 .12 .12 .12 .12 .12	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2				
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 031 031 031 031 031 033 033 033 0	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 1 1 1 1 1 1 1 0 5 1 10 5 5 5 5 5	2 1 1 1 105: 105: 110: 110: 110: 5 5 5 5	2 1 1 1 105: 105: 1105: 1100: 1100: 1100: 5 5 5 5	2 1 1 1 1053 1053 1053 1053 1053 1053 105	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2				
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 031 031 031 031 031 031 08 08 08 08 131 131 131	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1		2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2				
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 031 031 031 031 031 033 08 08 08 08 08 08 131 131 131 131	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 105: 105: 1105: 1100: 1100: 1100: 5 5 5 1119:	2 1 1 1 105: 105: 1105: 1100: 1100: 1100: 5 5 5 1119:	2 1 1 1 105: 105: 105: 1100 1100 1100 5: 5: 5: 119	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2       2				
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 031 031 031 033 033 033 033 033 0	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 5 5 5 5 1 1 1 1 1 1	2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 5 5 5 5 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 105: 105: 105: 1105: 1105: 1105: 1105: 1105: 1105: 5 5 5 5 5 1119: 1119:	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 5 1 1 5 1 1 5 1 1 5 1 1 5 1 1 5 1 1 5 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2       2				
222222222222222222222222222222222222222	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 031 031 031 031 033 033 033 033 0	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 1 1 1 1 105; 105; 105; 110; 110; 110; 1	2 1 1 1 1 105: 105: 105: 1100: 1100: 1100: 5 5 5 5 1199: 1199: 1199:	2 1 1 1 105: 105: 105: 1100: 1100: 1100: 5 5 5 5 119: 119: 119: 119:	2 1 1 1 105: 105: 105: 105: 110 110 5: 5: 5: 119 119 119	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 5 5 1 1 5 5 1 1 5 5 1 1 5 5 1 1 5 5 1 1 5 5 1 1 5 5 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1		2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2       2				
222222222222222222222222222222222222222		2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 031 031 031 031 031 033 08 08 08 08 131 131 131 131 131 131 131 131	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 105: 105: 105: 110: 110: 110: 5 5 5 5 119: 119: 119: 119:	2 1 1 1 105: 105: 105: 110: 110: 110: 5: 5: 5: 119 119 119: 119	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 5 3 1 1 5 3 1 1 5 3 1 1 5 3 1 1 5 3 1 1 5 3 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2       2				
222222222222222222222222222222222222222	2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 031 031 031 031 031 033 08 08 08 08 131 131 131 131 131 17	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 1 1 1 1 105: 105: 105: 1100: 1100: 5 5 5 5 5 119: 119: 119: 119: 119: 119	2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 105: 105: 1100: 1100: 1100: 5 5 5 5 119: 119: 119: 119: 119: 119:	2 1 1 1 1053 1053 1053 1053 1053 1053 105	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 .07 .07 .07 .12 .12 .12 .12 .12 .12 .12 .16 .16 .16 .21 .21 .21		2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1					
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 031 031 033 033 033 033 033 033 0	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 1 1 1 1 105: 105: 105: 105: 1105: 1105: 1105: 5 5 5 5 5 5 5 5 1199:	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 105: 105: 105: 105: 110: 110: 5 5 5 5 5 119: 119: 119: 119: 119: 119	2 1 1 1 105: 105: 105: 105: 105: 105: 105	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1		2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2       2				
222222222222222222222222222222222222222	$2 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ $	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 031 031 033 033 033 033 033 033 0	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 1 1 1 1 105: 105: 105: 1100: 1100: 1100: 5 5 5 5 5 1199: 1199: 1199: 1199: 1199: 1199:	2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 105: 105: 105: 105: 110: 110: 110	2 1 1 1 105: 105: 105: 105: 105: 105: 105	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1		2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2       2				
222222222222222222222222222222222222222	2 $1$ $1$ $1$ $1$ $1$ $1$ $1$ $1$ $1$ $1$	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 031 031 033 033 033 033 033 033 0	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 1 1 1 1 105: 105: 1105: 1105: 1105: 1105: 1105: 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 1192: 11	2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 105: 105: 105: 105: 105: 105: 105	2 1 1 1 105: 105: 105: 105: 105: 105: 105	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 07 .07 .07 .12 .12 .12 .12 .12 .12 .12 .12 .12 .12		2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2       2				
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 031 031 033 033 033 033 033 033 0	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 1 1 1 1 105: 105: 105: 1105: 1105: 1105: 1100: 1100: 1100: 5 5 5 5 5 5 1190: 111	2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 105: 105: 105: 105: 105: 110: 110	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 0.07 .07 .07 .12 .12 .12 .12 .12 .12 .12 .12 .12 .12		2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2     2 <td></td> <td></td> <td></td> <td></td>				
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 $1$ $1$ $1$ $1$ $1$ $1$ $1$ $1$ $1$ $1$	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 031 031 033 033 033 033 033 033 0	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 1 1 1 1 105: 105: 105: 105: 1105: 1105: 1100: 1100: 5 5 5 5 5 1119: 119: 119: 119: 119: 11	2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07		2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2				
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1		2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 031 031 033 033 033 033 033 033 0	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 105: 105: 105: 1105: 1105: 1105: 1105: 1105: 1105: 1105: 1105: 1105: 119: 119: 119: 119: 119: 119: 119: 11	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1		2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2				

2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		PLACAS	DE	ΔT.	
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		1 1110110			
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2					
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2					
3	Ţ	T	T	Ţ	T	$\perp$	Ţ	Ţ	Ţ	Ţ	Ţ	T	Ţ	T	T	2					
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2					
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2					
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2					
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2					
2	1	1	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	2					
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2					
2	⊥ 1	⊥ 1	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	⊥ 1	1	2					
2	1	1	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	2					
2	Ţ	T	1	4	6	4	4	4	4	6	6	6	4	T	T	2					
2	1	1	1	4	6	4	4	4	4	6	6	6	4	1	1	2					
2	1	1	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	2					
2	1	1	1	4	6	4	4	4	4	6	6	6	4	1	1	2					
2	1	1	1	4	6	4	4	4	4	6	6	6	4	1	1	2					
2	1	1	1	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4	1	1	2					
2	1	1	1	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4	1	1	2					
2	1	1	1	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4	1	1	2					
2	1	1	1	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4	1	1	2					
2	1	1	1	Δ	6	Δ	Δ	٥ ۵	٥ ۵	6	6	6	Δ	1	1	2					
2	⊥ 1	1	⊥ 1	7	6	7	7	7	7	6	6	6	7	1	1	2					
2	1	1	⊥ 1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	2					
2	Ţ	Ţ	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	T	2					
2	1	1	1	4	6	4	4	4	4	6	6	6	4	1	1	2					
2	1	1	1	4	6	4	4	4	4	6	6	6	4	1	1	2					
2	1	1	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	2					
2	1	1	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	2					
2	1	1	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	2					
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2					
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2					
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		BOCAL			
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		200112			
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2					
2	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	2					
2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	2					
2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	2					
2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	Ζ					
2	./	./	./	./	./	./	./	./	./	./	./	./	./	./	./	2					
2	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	2					
2	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	2					
2	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	2					
2	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	2					
2	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	2					
2	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	2					
2	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	2					
2	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	2					
2	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	2					
2	7	, 7	7	, 7	, 7	7	7	, 7	, 7	, 7	, 7	7	7	7	7	2					
2	, 7	, 7	, 7	, 7	, 7	, 7	, 7	, 7	, 7	7	, 7	, 7	, 7	7	, 7	2					
2	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	י ר	2					
2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	2					
2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	2					
2	./	./	./	./	./	./	./	./	./	./	./	./	./	./	./	2					
2	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	2					
2	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	2					
2	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	2					
2	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	2					
2	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	2					
2	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	2					
2	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	2					
2	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	2					
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2					
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	<b></b> _ ⊤		ד כדידי עדו	7 -	
2	4	4	∠	2	4		4	4	4	4	2	4	4	4	4	~ -	F	TURCH I	IV I V I		

1	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2
1	8       8	2 2 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8
	8       8	228888888888888888
1	8       8	228888888888888888
	8       8	228888888888888888
	8       8	2 2 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8
-1	8       8	228888888888888888
	8       8	2 2 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8
Ref	8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8	228888888888888888
let		2 2 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8
or	8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8	2 2 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8
	8       8	2 2 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8
	8       8	2 2 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8
	8       8	228888888888888888
	8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8	228888888888888888888888888888888888888
	8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8	2 2 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8
	2       2	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2

- PISCINA ---

2 2 2 -1 Piscina 3 -1 3 3 Equa-Al 4 -1 4 4 Placa de Al 5 -1 5 5 Caixa d'agua 66 6 -1 Guia BC 7 7 7 -1 Bocal 8 8 8 -1 Placa Matriz 9 1 9 10 UAl2 24 1 11130 U3si2 131131 39 -1 BC 020 1 811.000E+00 2 901.000E+00 3 911.000E+00 4 921.000E+00 5 821.000E+00 6 861.000E+00 7 931.000E+00 8 941.000E+00 9 107.195E-05 122.929E-04 273.503E-02 332.785E-04 143.253E-08 151.302E-10 166.627E-13 171.234E-15 587.158E-10 674.973E-09 758.761E-07 12.678E-02 231.339E-02 131.750E-08 180.000E+00 10 107.052E-05 122.929E-04 273.503E-02 332.785E-04 148.538E-08 158.254E-10 161.106E-11 175.007E-14 588.005E-10 676.056E-09 752.104E-06 12.678E-02 231.339E-02 134.656E-08 180.000E+00 11 101.033E-04 111.618E-07 124.183E-04 144.943E-08 151.278E-10 165.986E-13 177.550E-16 589.618E-10 676.094E-09 758.740E-07 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 132.661E-08 184.417E-11 0 12 101.033E-04 111.526E-07 124.183E-04 145.123E-08 151.233E-10 165.941E-13 176.969E-16 589.491E-10 675.871E-09 758.153E-07 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 132.761E-08 184.361E-11 0 13 101.034E-04 111.255E-07 124.183E-04 145.344E-08 151.019E-10 165.023E-13 174.642E-16 588.999E-10 675.132E-09 756.492E-07 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 132.874E-08 183.809E-11 0 14 101.026E-04 112.304E-07 124.183E-04 147.116E-08 152.621E-10 161.767E-12 173.182E-15 581.041E-09 677.250E-09 751.243E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 133.841E-08 189.102E-11 0 15 101.025E-04 112.631E-07 124.182E-04 147.815E-08 153.302E-10 162.457E-12 175.083E-15 581.065E-09 677.640E-09 751.427E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 134.223E-08 181.140E-10 0

16 101.032E-04 112.078E-07 124.183E-04 146.558E-08 152.167E-10 161.344E-12 172.169E-15 581.023E-09 676.930E-09 751.119E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 133.535E-08 187.570E-11 0 17 101.032E-04 111.959E-07 124.183E-04 146.342E-08 151.969E-10 161.178E-12 171.786E-15 581.010E-09 676.730E-09 751.051E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 133.418E-08 186.917E-11 0 18 101.026E-04 112.345E-07 124.183E-04 147.258E-08 152.719E-10 161.869E-12 173.423E-15 581.044E-09 677.304E-09 751.265E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 133.916E-08 189.454E-11 0 19 101.024E-04 113.070E-07 124.182E-04 148.729E-08 154.328E-10 163.613E-12 178.781E-15 581.091E-09 678.041E-09 751.673E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 134.720E-08 181.480E-10 0 20 101.026E-04 112.300E-07 124.183E-04 147.327E-08 152.682E-10 161.857E-12 173.321E-15 581.041E-09 677.244E-09 751.238E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 133.949E-08 189.388E-11 0 21 101.026E-04 112.157E-07 124.183E-04 146.831E-08 152.347E-10 161.516E-12 172.545E-15 581.027E-09 677.041E-09 751.161E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 133.682E-08 188.200E-11 0 22 101.025E-04 112.858E-07 124.182E-04 148.503E-08 153.901E-10 163.157E-12 177.093E-15 581.081E-09 677.868E-09 751.549E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 134.593E-08 181.348E-10 0 23 101.024E-04 113.074E-07 124.182E-04 149.094E-08 154.490E-10 163.889E-12 179.412E-15 581.093E-09 678.049E-09 751.667E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 134.915E-08 181.551E-10 0 24 101.024E-04 112.990E-07 124.182E-04 148.889E-08 154.268E-10 163.612E-12 178.496E-15 581.088E-09 677.980E-09 751.621E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 134.802E-08 181.475E-10 0 25 101.026E-04 112.264E-07 124.183E-04 147.162E-08 152.582E-10 161.747E-12 173.079E-15 581.037E-09 677.195E-09 751.219E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 133.858E-08 189.021E-11 0 26 101.033E-04 111.881E-07 124.183E-04 145.835E-08 151.748E-10 169.653E-13 171.413E-15 589.994E-10 676.605E-09 751.015E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 133.140E-08 186.079E-11 0 27 101.026E-04 112.369E-07 124.183E-04 147.362E-08 152.782E-10 161.939E-12 173.582E-15 581.046E-09 677.333E-09 751.277E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 133.968E-08 189.687E-11 0 28

101.025E-04 112.480E-07 124.182E-04 147.917E-08 153.122E-10 162.335E-12 174.500E-15 581.056E-09 677.468E-09 751.333E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 134.267E-08 181.094E-10 0 29 101.026E-04 112.396E-07 124.183E-04 147.451E-08 152.848E-10 162.008E-12 173.753E-15 581.049E-09 677.369E-09 751.292E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 134.015E-08 189.919E-11 0 30 101.033E-04 111.888E-07 124.183E-04 145.854E-08 151.760E-10 169.744E-13 171.430E-15 581.000E-09 676.615E-09 751.018E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 133.148E-08 186.116E-11 0 31 101.026E-04 112.196E-07 124.183E-04 146.886E-08 152.411E-10 161.570E-12 172.686E-15 581.031E-09 677.095E-09 751.183E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 133.713E-08 188.401E-11 0 32 101.025E-04 112.620E-07 124.182E-04 148.442E-08 153.512E-10 162.802E-12 175.700E-15 581.068E-09 677.630E-09 751.406E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 134.559E-08 181.235E-10 0 33 101.024E-04 112.979E-07 124.182E-04 149.475E-08 154.491E-10 164.028E-12 179.351E-15 581.091E-09 677.978E-09 751.603E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 135.121E-08 181.578E-10 0 34 101.024E-04 113.058E-07 124.182E-04 149.179E-08 154.503E-10 163.935E-12 179.458E-15 581.093E-09 678.038E-09 751.657E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 134.963E-08 181.560E-10 0 35 101.025E-04 112.410E-07 124.183E-04 147.422E-08 152.861E-10 162.011E-12 173.792E-15 581.049E-09 677.385E-09 751.302E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 134.000E-08 189.929E-11 0 36 101.025E-04 112.722E-07 124.182E-04 148.798E-08 153.803E-10 163.162E-12 176.684E-15 581.076E-09 677.741E-09 751.462E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 134.750E-08 181.339E-10 0 37 101.024E-04 113.177E-07 124.182E-04 141.032E-07 155.203E-10 165.077E-12 171.254E-14 581.104E-09 678.143E-09 751.704E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 135.582E-08 181.839E-10 0 38 101.016E-04 113.947E-07 124.182E-04 141.187E-07 157.530E-10 168.520E-12 172.655E-14 581.127E-09 678.552E-09 752.137E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 136.437E-08 182.617E-10 0 39 101.016E-04 114.052E-07 124.182E-04 141.203E-07 157.842E-10 169.002E-12 172.884E-14 581.131E-09 678.593E-09 752.197E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 136.526E-08 182.720E-10 0 40 101.024E-04 113.097E-07 124.182E-04 149.790E-08 154.827E-10 164.476E-12

171.081E-14 581.098E-09 678.076E-09 751.668E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 135.289E-08 181.695E-10 0 41 101.024E-04 113.174E-07 124.182E-04 141.019E-07 155.139E-10 164.955E-12 171.224E-14 581.103E-09 678.139E-09 751.705E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 135.509E-08 181.812E-10 0 42 101.016E-04 114.157E-07 124.182E-04 141.219E-07 158.167E-10 169.515E-12 173.133E-14 581.133E-09 678.630E-09 752.256E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 136.615E-08 182.826E-10 0 43 101.015E-04 114.630E-07 124.182E-04 141.323E-07 159.903E-10 161.256E-11 174.627E-14 581.146E-09 678.769E-09 752.521E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 137.187E-08 183.412E-10 0 44 101.023E-04 113.405E-07 124.182E-04 141.085E-07 155.875E-10 166.034E-12 171.602E-14 581.113E-09 678.296E-09 751.832E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 135.862E-08 182.068E-10 0 45 101.024E-04 113.269E-07 124.182E-04 141.035E-07 155.385E-10 165.282E-12 171.346E-14 581.107E-09 678.207E-09 751.759E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 135.596E-08 181.893E-10 0 46 101.015E-04 114.349E-07 124.182E-04 141.292E-07 159.047E-10 161.117E-11 173.845E-14 581.140E-09 678.698E-09 752.359E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 137.016E-08 183.142E-10 0 47 101.015E-04 114.617E-07 124.182E-04 141.371E-07 151.018E-09 161.334E-11 174.876E-14 581.148E-09 678.781E-09 752.504E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 137.449E-08 183.543E-10 0 48 101.015E-04 114.439E-07 124.182E-04 141.318E-07 159.412E-10 161.185E-11 174.161E-14 581.142E-09 678.726E-09 752.407E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 137.155E-08 183.271E-10 0 49 101.024E-04 113.316E-07 124.182E-04 141.049E-07 155.534E-10 165.494E-12 171.421E-14 581.109E-09 678.240E-09 751.786E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 135.664E-08 181.945E-10 0 50 101.025E-04 112.753E-07 124.182E-04 148.590E-08 153.772E-10 163.068E-12 176.595E-15 581.076E-09 677.771E-09 751.485E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 134.632E-08 181.317E-10 0 51 101.023E-04 113.489E-07 124.182E-04 141.085E-07 156.042E-10 166.220E-12 171.698E-14 581.116E-09 678.345E-09 751.882E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 135.868E-08 182.116E-10 0 52 101.017E-04 113.635E-07 124.182E-04 141.163E-07 156.729E-10 167.406E-12 172.102E-14 581.119E-09 678.417E-09 751.955E-06 780.000E+00 283.448E-04

271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 136.288E-08 182.372E-10 0 53 101.023E-04 113.492E-07 124.182E-04 141.087E-07 156.053E-10 166.240E-12 171.705E-14 581.116E-09 678.347E-09 751.884E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 135.873E-08 182.121E-10 0 54 101.025E-04 112.719E-07 124.182E-04 148.475E-08 153.674E-10 162.947E-12 176.255E-15 581.073E-09 677.735E-09 751.467E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 134.567E-08 181.283E-10 0 55 101.026E-04 112.385E-07 124.183E-04 147.450E-08 152.833E-10 161.998E-12 173.714E-15 581.048E-09 677.355E-09 751.285E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 134.016E-08 189.878E-11 0 56 101.024E-04 112.993E-07 124.182E-04 149.334E-08 154.456E-10 163.941E-12 179.215E-15 581.091E-09 677.987E-09 751.613E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 135.042E-08 181.558E-10 0 57 101.024E-04 113.168E-07 124.182E-04 141.004E-07 155.059E-10 164.810E-12 171.188E-14 581.102E-09 678.132E-09 751.704E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 135.424E-08 181.779E-10 0 58 101.024E-04 113.111E-07 124.182E-04 149.410E-08 154.687E-10 164.192E-12 171.023E-14 581.096E-09 678.081E-09 751.684E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 135.083E-08 181.629E-10 0 59 101.025E-04 112.427E-07 124.183E-04 147.490E-08 152.905E-10 162.060E-12 173.908E-15 581.050E-09 677.405E-09 751.309E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 134.034E-08 181.009E-10 0 60 101.024E-04 113.032E-07 124.182E-04 149.629E-08 154.648E-10 164.236E-12 171.001E-14 581.094E-09 678.024E-09 751.632E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 135.199E-08 181.631E-10 0 61 101.016E-04 113.972E-07 124.182E-04 141.188E-07 157.589E-10 168.596E-12 172.697E-14 581.128E-09 678.561E-09 752.152E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 136.440E-08 182.635E-10 0 62 101.015E-04 114.242E-07 124.182E-04 141.272E-07 158.673E-10 161.052E-11 173.527E-14 581.137E-09 678.663E-09 752.299E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 136.899E-08 183.016E-10 0 63 101.016E-04 114.140E-07 124.182E-04 141.231E-07 158.195E-10 169.619E-12 173.147E-14 581.134E-09 678.628E-09 752.244E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 136.671E-08 182.845E-10 0 64 101.024E-04 113.114E-07 124.182E-04 149.847E-08 154.879E-10 164.546E-12 171.104E-14 581.098E-09 678.090E-09 751.677E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 135.315E-08 181.713E-10

0 65 101.023E-04 113.362E-07 124.182E-04 141.075E-07 155.749E-10 165.847E-12 171.532E-14 581.111E-09 678.269E-09 751.808E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 135.807E-08 182.023E-10 0 66 101.015E-04 114.534E-07 124.182E-04 141.312E-07 159.601E-10 161.205E-11 174.341E-14 581.143E-09 678.746E-09 752.465E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 137.121E-08 183.317E-10 0 67 101.015E-04 114.643E-07 124.182E-04 141.340E-07 151.005E-09 161.290E-11 174.759E-14 581.146E-09 678.777E-09 752.526E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 137.279E-08 183.472E-10 0 68 101.023E-04 113.406E-07 124.182E-04 141.086E-07 155.878E-10 166.040E-12 171.603E-14 581.113E-09 678.297E-09 751.833E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 135.863E-08 182.070E-10 0 69 101.024E-04 113.328E-07 124.182E-04 141.055E-07 155.581E-10 165.573E-12 171.446E-14 581.110E-09 678.249E-09 751.790E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 135.696E-08 181.964E-10 0 70 101.015E-04 114.424E-07 124.182E-04 141.316E-07 159.365E-10 161.176E-11 174.117E-14 581.142E-09 678.722E-09 752.399E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 137.138E-08 183.254E-10 0 71 101.015E-04 114.621E-07 124.182E-04 141.387E-07 151.029E-09 161.362E-11 174.974E-14 581.148E-09 678.785E-09 752.503E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 137.528E-08 183.591E-10 0 72 101.015E-04 114.442E-07 124.182E-04 141.320E-07 159.433E-10 161.189E-11 174.176E-14 581.142E-09 678.728E-09 752.408E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 137.163E-08 183.279E-10 0 73 101.024E-04 113.300E-07 124.182E-04 141.044E-07 155.480E-10 165.415E-12 171.393E-14 581.108E-09 678.229E-09 751.778E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 135.634E-08 181.925E-10 0 74 101.025E-04 112.760E-07 124.182E-04 148.618E-08 153.793E-10 163.093E-12 176.662E-15 581.076E-09 677.777E-09 751.488E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 134.643E-08 181.323E-10 0 75 101.023E-04 113.493E-07 124.182E-04 141.087E-07 156.059E-10 166.246E-12 171.707E-14 581.116E-09 678.348E-09 751.885E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 135.873E-08 182.122E-10 0 76 101.017E-04 113.628E-07 124.182E-04 141.161E-07 156.706E-10 167.364E-12 172.086E-14 581.119E-09 678.413E-09 751.951E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 136.273E-08 182.363E-10 0

77 101.023E-04 113.470E-07 124.182E-04 141.081E-07 155.986E-10 166.133E-12 171.666E-14 581.115E-09 678.334E-09 751.872E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 135.837E-08 182.095E-10 0 78 101.025E-04 112.695E-07 124.182E-04 148.405E-08 153.611E-10 162.871E-12 176.037E-15 581.071E-09 677.710E-09 751.453E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 134.525E-08 181.260E-10 0 79 101.026E-04 112.314E-07 124.183E-04 147.233E-08 152.669E-10 161.826E-12 173.293E-15 581.041E-09 677.262E-09 751.247E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 133.897E-08 189.302E-11 0 80 101.024E-04 112.914E-07 124.182E-04 149.066E-08 154.215E-10 163.622E-12 178.244E-15 581.086E-09 677.917E-09 751.570E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 134.894E-08 181.472E-10 0 81 101.024E-04 113.030E-07 124.182E-04 149.586E-08 154.623E-10 164.194E-12 179.902E-15 581.094E-09 678.020E-09 751.631E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 135.176E-08 181.622E-10 0 82 101.024E-04 112.938E-07 124.182E-04 148.826E-08 154.158E-10 163.489E-12 178.050E-15 581.085E-09 677.936E-09 751.589E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 134.764E-08 181.439E-10 0 83 101.026E-04 112.258E-07 124.183E-04 146.956E-08 152.510E-10 161.653E-12 172.917E-15 581.036E-09 677.188E-09 751.219E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 133.744E-08 188.712E-11 0 84 101.024E-04 112.945E-07 124.182E-04 149.338E-08 154.377E-10 163.867E-12 178.875E-15 581.088E-09 677.948E-09 751.586E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 135.041E-08 181.536E-10 0 85 101.016E-04 113.894E-07 124.182E-04 141.157E-07 157.248E-10 167.996E-12 172.461E-14 581.125E-09 678.523E-09 752.112E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 136.268E-08 182.512E-10 0 86 101.016E-04 114.095E-07 124.182E-04 141.212E-07 157.984E-10 169.232E-12 172.990E-14 581.132E-09 678.609E-09 752.221E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 136.567E-08 182.767E-10 0 87 101.016E-04 113.873E-07 124.182E-04 141.150E-07 157.173E-10 167.869E-12 172.409E-14 581.124E-09 678.514E-09 752.101E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 136.232E-08 182.484E-10 0 88 101.024E-04 112.885E-07 124.182E-04 149.128E-08 154.192E-10 163.619E-12 178.136E-15 581.084E-09 677.893E-09 751.552E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 134.923E-08 181.470E-10 0 89

101.024E-04 113.208E-07 124.182E-04 141.025E-07 155.224E-10 165.062E-12 171.265E-14 581.104E-09 678.164E-09 751.725E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 135.532E-08 181.839E-10 0 90 101.015E-04 114.373E-07 124.182E-04 141.248E-07 158.832E-10 161.057E-11 173.676E-14 581.138E-09 678.692E-09 752.381E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 136.775E-08 183.037E-10 0 91 101.015E-04 114.358E-07 124.182E-04 141.243E-07 158.765E-10 161.044E-11 173.620E-14 581.137E-09 678.687E-09 752.372E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 136.745E-08 183.014E-10 0 92 101.024E-04 113.145E-07 124.182E-04 141.003E-07 155.011E-10 164.750E-12 171.163E-14 581.100E-09 678.115E-09 751.690E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 135.409E-08 181.763E-10 0 93 101.024E-04 113.115E-07 124.182E-04 149.879E-08 154.897E-10 164.575E-12 171.111E-14 581.098E-09 678.091E-09 751.677E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 135.330E-08 181.719E-10 0 94 101.016E-04 114.133E-07 124.182E-04 141.228E-07 158.164E-10 169.561E-12 173.123E-14 581.133E-09 678.625E-09 752.241E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 136.654E-08 182.833E-10 0 95 101.015E-04 114.333E-07 124.182E-04 141.286E-07 158.969E-10 161.101E-11 173.774E-14 581.139E-09 678.692E-09 752.351E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 136.973E-08 183.113E-10 0 96 101.016E-04 114.100E-07 124.182E-04 141.219E-07 158.036E-10 169.335E-12 173.024E-14 581.132E-09 678.612E-09 752.223E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 136.599E-08 182.787E-10 0 97 101.024E-04 113.035E-07 124.182E-04 149.608E-08 154.640E-10 164.216E-12 179.969E-15 581.094E-09 678.026E-09 751.634E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 135.180E-08 181.628E-10 0 98 101.025E-04 112.560E-07 124.182E-04 147.995E-08 153.264E-10 162.469E-12 174.932E-15 581.061E-09 677.563E-09 751.380E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 134.303E-08 181.138E-10 0 99 101.024E-04 113.233E-07 124.182E-04 141.006E-07 155.189E-10 164.948E-12 171.250E-14 581.104E-09 678.178E-09 751.743E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 135.430E-08 181.815E-10 0 100 101.023E-04 113.348E-07 124.182E-04 141.071E-07 155.700E-10 165.773E-12 171.506E-14 581.111E-09 678.258E-09 751.799E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 135.781E-08 182.008E-10 0 101 101.024E-04 113.194E-07 124.182E-04 149.946E-08 155.066E-10 164.773E-12

171.191E-14 581.102E-09 678.149E-09 751.723E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 135.365E-08 181.771E-10 0 102 101.025E-04 112.474E-07 124.182E-04 147.718E-08 153.045E-10 162.223E-12 174.290E-15 581.054E-09 677.463E-09 751.334E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 134.152E-08 181.061E-10 0 103 101.033E-04 111.639E-07 124.183E-04 145.079E-08 151.327E-10 166.373E-13 178.124E-16 589.649E-10 676.136E-09 758.841E-07 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 132.730E-08 184.603E-11 0 104 101.032E-04 112.035E-07 124.183E-04 146.309E-08 152.046E-10 161.221E-12 171.934E-15 581.017E-09 676.862E-09 751.097E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 133.395E-08 187.113E-11 0 105 101.032E-04 112.098E-07 124.183E-04 146.602E-08 152.201E-10 161.373E-12 172.237E-15 581.024E-09 676.960E-09 751.129E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 133.552E-08 187.688E-11 0 106 101.032E-04 112.020E-07 124.183E-04 146.022E-08 151.948E-10 161.114E-12 171.762E-15 581.014E-09 676.844E-09 751.095E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 133.240E-08 186.712E-11 0 107 101.033E-04 111.558E-07 124.183E-04 144.751E-08 151.182E-10 165.316E-13 176.454E-16 589.511E-10 675.963E-09 758.416E-07 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 132.551E-08 184.083E-11 0 108 101.032E-04 112.059E-07 124.183E-04 146.504E-08 152.129E-10 161.308E-12 172.090E-15 581.020E-09 676.900E-09 751.109E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 133.499E-08 187.435E-11 0 109 101.025E-04 112.688E-07 124.182E-04 147.978E-08 153.440E-10 162.610E-12 175.510E-15 581.069E-09 677.700E-09 751.457E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 134.302E-08 181.187E-10 0 110 101.025E-04 112.814E-07 124.182E-04 148.268E-08 153.737E-10 162.942E-12 176.514E-15 581.077E-09 677.825E-09 751.526E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 134.458E-08 181.288E-10 0 111 101.025E-04 112.634E-07 124.182E-04 147.820E-08 153.306E-10 162.458E-12 175.086E-15 581.065E-09 677.644E-09 751.427E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 134.214E-08 181.140E-10 0 112 101.032E-04 111.970E-07 124.183E-04 146.213E-08 151.946E-10 161.142E-12 171.747E-15 581.010E-09 676.755E-09 751.061E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 133.340E-08 186.790E-11 0 113 101.026E-04 112.222E-07 124.183E-04 147.082E-08 152.504E-10 161.673E-12 172.889E-15 581.033E-09 677.135E-09 751.196E-06 780.000E+00 283.448E-04

271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 133.809E-08 188.755E-11 0 114 101.024E-04 113.009E-07 124.182E-04 148.534E-08 154.147E-10 163.380E-12 178.050E-15 581.087E-09 677.991E-09 751.639E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 134.603E-08 181.416E-10 0 115 101.024E-04 112.967E-07 124.182E-04 148.405E-08 154.028E-10 163.234E-12 177.595E-15 581.084E-09 677.955E-09 751.616E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 134.533E-08 181.374E-10 0 116 101.026E-04 112.139E-07 124.183E-04 146.806E-08 152.315E-10 161.486E-12 172.469E-15 581.024E-09 677.012E-09 751.151E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 133.658E-08 188.090E-11 0 117 101.026E-04 112.147E-07 124.183E-04 146.789E-08 152.320E-10 161.486E-12 172.481E-15 581.025E-09 677.024E-09 751.155E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 133.649E-08 188.095E-11 0 118 101.025E-04 112.815E-07 124.182E-04 148.362E-08 153.776E-10 163.000E-12 176.634E-15 581.077E-09 677.826E-09 751.525E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 134.505E-08 181.303E-10 0 119 101.024E-04 112.950E-07 124.182E-04 148.698E-08 154.124E-10 163.412E-12 177.924E-15 581.085E-09 677.945E-09 751.600E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 134.688E-08 181.421E-10 0 120 101.025E-04 112.772E-07 124.182E-04 148.235E-08 153.662E-10 162.866E-12 176.242E-15 581.074E-09 677.785E-09 751.503E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 134.436E-08 181.264E-10 0 121 101.032E-04 112.066E-07 124.183E-04 146.518E-08 152.139E-10 161.316E-12 172.110E-15 581.021E-09 676.909E-09 751.112E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 133.503E-08 187.473E-11 0 122 101.033E-04 111.777E-07 124.183E-04 145.500E-08 151.558E-10 168.096E-13 171.119E-15 589.848E-10 676.413E-09 759.588E-07 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 132.952E-08 185.404E-11 0 123 101.026E-04 112.213E-07 124.183E-04 146.873E-08 152.426E-10 161.576E-12 172.718E-15 581.031E-09 677.122E-09 751.193E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 133.694E-08 188.432E-11 0 124 101.026E-04 112.284E-07 124.183E-04 147.287E-08 152.645E-10 161.818E-12 173.224E-15 581.039E-09 677.220E-09 751.228E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 133.917E-08 189.261E-11 0 125 101.026E-04 112.176E-07 124.183E-04 146.760E-08 152.347E-10 161.499E-12 172.542E-15 581.027E-09 677.067E-09 751.173E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 133.632E-08 188.151E-11

0 126 101.033E-04 111.701E-07 124.183E-04 145.262E-08 151.427E-10 167.090E-13 179.378E-16 589.737E-10 676.262E-09 759.175E-07 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 132.823E-08 184.944E-11 0 127 101.034E-04 111.307E-07 124.183E-04 144.109E-08 158.552E-11 163.321E-13 173.368E-16 589.057E-10 675.356E-09 757.036E-07 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 132.214E-08 182.971E-11 0 128 101.034E-04 111.374E-07 124.183E-04 144.801E-08 151.036E-10 164.660E-13 174.892E-16 589.222E-10 675.505E-09 757.310E-07 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 132.587E-08 183.693E-11 0 129 101.033E-04 111.817E-07 124.183E-04 145.814E-08 151.678E-10 169.217E-13 171.298E-15 589.928E-10 676.485E-09 759.769E-07 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 133.136E-08 185.875E-11 0 130 101.032E-04 111.995E-07 124.183E-04 145.942E-08 151.899E-10 161.073E-12 171.674E-15 581.012E-09 676.799E-09 751.080E-06 780.000E+00 283.448E-04 271.962E-02 336.603E-05 14.360E-02 232.180E-02 133.205E-08 186.542E-11 0 131 951.000E+00

999

# **APÊNDICE B – Dados de entrada do programa MTRCR-IEAR1**

{Simulação simplificada do Elemento de miniplcas - 01/02/2000 CASO 5-2 Posição Central / UAlx PLACA DE 4cm e 2.889 gU/cm3 Analise Conservativa

# MAXIMA TEMP. ENT.42 C

Mini Placas com as Seguintes dimensões: Hc=170 mm altura do canal Hp= 118 mm altura ativa da placa Lp =40 mm largura ativa da placa Lc =47mm Largura do canal Ec=3,70 mm espessura do canal de refrigeração Ef=0.76 mm{espessura do fuel} Er=0.38 mm{espessura do revestimento} Densidade de potência máxima W/cm3 hipoteses: -regime permanente; }

{Definicao de algumas funcoes para facilitar na solucao} {Funcao para calculo do Numero de Reynolds} FUNCTION rey(m1;dh1;mi1;ae1) rey:=m1\*dh1/(mi1\*ae1) END

{Funcao para calculo do Numero de Prandtl} FUNCTION prn(cp1;mi1;k1) prn:=cp1\*mi1/k1 END

{determinacao do coeficiente de pelicula} FUNCTION h(k;dh;re;pr;mi1;mip) ht:=0,023\*(re\*\*0,8\*pr\*\*0,4)\*k/dh+(mi1/mip)\*0

```
{ht:=0.027*(re**0.8*pr**0.33)*k/dh+(mi1/mip)**0.14}
hl:=8,235*k/dh {a verificar se necessario}
hlt:=((re-2000)*ht+(4000-re)*hl)/2000
if ( re>4000) Then
    h:=ht
Else
    if (re<2000) Then
        h:=hl
    Else
        h:=hl
    Else
        h:=hlt
    Endif
Endif
END
```

n=25 { número de volumes axiais}

```
{vaz=23,0} {m3/h} {Vazão no elemento combustivel}
fev=1,0 {fator de erro na vazão}
vaz1=vaz/3600
g=vaz1/ae*rho[1]/9 {fluxo de massa}
Tsat=114,02
te= 42 {temperatura do refrigerante na entrada do canal C}
Ntp =10 {No. total de mini-placas comb.}
Vtc = Ntp*vtp { vol. totaldas mini placas}
```

Pop = 23322,9558 { Pot. de dissipada nas mini-placas W}

{dados - canal/placa}

```
Hp=0,118 {altura da placa em m}
```

Hc=170

Lc=47,0e-3 {largura do Canal em m}

Lp=40,0e-3 {largura ativa da placa em m}

Ep=1,52e-3 {espessura total da placa m}

Ef=0,76e-3{espessura do fuel}

Er=0,38e-3{espessura do revestimento}

```
Ec=3,7e-3{espessura do canal em m}
```

DUPLICATE I=0;n-1

```
m[i+1]=fev*vaz1*rho[i+1]/9 { vazao massica por canal kg/s Div 12 canais }
```

END

P1=1,6 {pressão de operação }

ae=Lc\*Ec {area de escoamento de um canal em m2}

```
Pm=2*(Ec+Lc) { perimetro molhado}
```

at=Hp\*Lp {area de troca de cond. em m2}

atr=at/n {area de troca por região}

```
dh=4*ae/Pm {diametro hidraulico em m}
```

vtp=Ef\*Lp\*Hp {volume total de combustivel P/ 1 mini-placa m3}

```
vtr=vtp/n {volume total por regiao}
```

```
{vel=m/(rho[1]*ae)}
```

```
{propriedades fisicas no SI}
DUPLICATE I=0;n-1
    rho[i+1]=DENSITY(Water;T=T1[i];P=P1) {densidade}
    cpa[i+1]=SPECHEAT(Water;T=T1[i];P=P1)*1000 {calor específico}
    ka[i+1]=CONDUCTIVITY(Water;T=T1[i];P=P1)
    mi1[i+1]=VISCOSITY(Water;T=T2[i];P=P1)
    mip[i+1]=VISCOSITY(Water;T=T2[i];P=P1)
    pr[i+1]=prn(cpa[i+1];mi1[i+1];ka[i+1])
    re[i+1]=rey(m[i+1];dh;mi1[i+1];ae)
    h[i+1]=h(ka[i+1];dh;re[i+1];pr[i+1];mi1[i+1];mip[i+1])
END
kf=43,2489 {W/m K}
Kr=180 {W/m K}
q= Pop/(Vtp*Ntp) {Densidade de potencia w/m3}
DUPLICATE i=1;n
```

D	UPLICATE i=0;n-1	
	0=gf1[I+1]*(t1[i]-t1[i+1])+gh[I+1]*(t2[i+1]-t1[i+1])	{1}
	0=gh[i+1]*(t1[i+1]-t2[i+1])+gr*(t3[i+1]-t2[i+1])	{2}
	$0 = gr^{(t2[i+1]-t3[i+1])} + gc^{(t4[i+1]-t3[i+1])}$	{3}
	$0 = gc^{(t3[i+1]-t4[i+1])} + gc^{(t5[i+1]-t4[i+1])} + q[i+1]$	{4}
	$0 = gc^{*}(t4[i+1]-t5[i+1])+gr^{*}(t6[i+1]-t5[i+1])$	{5}
	$0 = gr^{(t5[i+1]-t6[i+1])+gh[i+1]^{(t7[i+1]-t6[i+1])}$	{6}
	0 = gh[i+1]*(t6[i+1]-t7[i+1])+gh[i+1]*(t8[i+1]-t7[i+1])+gf[I+1]*(t7[i]-t7[i+1])	{7}
	0=gh[i+1]*(t7[i+1]-t8[i+1])+gr*(t9[i+1]-t8[i+1])	{8}
	$0 = gr^{*}(t8[i+1]-t9[i+1])+gc^{*}(t10[i+1]-t9[i+1])$	{9}
	$0 = gc^{*}(t9[i+1]-t10[i+1])+gc^{*}(t11[i+1]-t10[i+1])+q[i+1]$	{10}
	$0 = gc^{*}(t10[i+1]-t11[i+1]) + gr^{*}(t12[i+1]-t11[i+1])$	{11}
	$0=gr^{(t11[i+1]-t12[i+1])+gh[i+1]^{(t13[i+1]-t12[i+1])}$	{12}
	0=gh[i+1]*(t12[i+1]-t13[i+1])+gf1[i+1]*(t13[i]-t13[i+1])	{13}

{equacoes de balanco para regime permanente - Válidas para todo o domínio}

http: pot2=SUM(Q[i];i=1;n) {definicao das condutancias} DUPLICATE I=0;N-1 gf[I+1]= m[i+1]\*cpa[I+1] gf1[I+1]=gf[I+1]/2 gh[i+1]=atr\*h[I+1] END gc=kf\*atr\*2/Ef gr=Kr\*atr/Er t2[0]=te t1[0]=te t7[0]=te t13[0]=te

```
L[i]=i/n
u[i]=INTERPOLATE1 ('teste';'q2';'Hc'; Hc=L[i])
Q[i]=q*Vtr*u[i]*f
z[i]=L[i]
comp[i]=L[i]*Hp
END
pot2=SUM(O[i]:i=1:n)
```

END

```
{ Verificação do M Cp Dt - Balanço das potências}
\{delT=(t1[n]-t1[0])\}
Pot1= m[n/2]*cpa[n/2]*delT
Erro=abs(Pot1-Pot2)/pot2*100 }
{ Verificação dos Demais Parâmetros Termo-hidráulicos}
{ Temperatura de ONB Correlação de Bergles and Rohsenow
Tonb= Tsat+ 5/9 * (9.23*q/p**1,156)**(p**0.0234/2.160)
onde:
Tsat - Temperatura de Saturação
p - presão
q - fluxo local }
DUPLICATE i=1;n
Tonb[i] = Tsat + 5/9*(9,23*(q[i]/10000/(2*atr))/(p1**1,156))**((p1**0,0234)/2,16)
END
Pc=221,2 {pressão crítica }
hlg=INTERPOLATE('teste';'h';'pres';pres=p1)
teta=0,99531*(p1**0,3333)*((1-p1/pc)**(4/3))
vel=(vaz1/9)/ae
dtsub=tsat-t1[20]
pot3=sum(ql[i];i=1;20)
media=pot3/n
DUPLICATE I=1;n
DTS[i]=Tsat-t1[n]
qc[i]=145,4*teta*((1+2,5*(vel*100)**2/teta)**0,25)*(1+15,1*cpa[i]*DTS[n]/(hlg*p1**0,5))/
10000 {LABUNTSOV}
ql[i]=q[i]/(2*atr*10000) {W/cm2}
MDNBR[i]=qc[i]/ql[i]
MI[i]=151*(1+0,1198*vel)*(1+0,00914*(Tsat-t1[n]))*(1+,19*p1) { OK com PARET}
cmi[i]=mi[i]/ql[i]
END
{INSTABILIDADE DE FLUXO CORRELAÇÃO DE WHITTLE E FORGAN}
eta =25
dhe=4*ae/(2*Lp+2*ec)
R=1/(1+eta^{(dhe/Hp)})
DUPLICATE I=1;n
```

```
{qifc[i]=R**vel*100*dhe/(Hp)*(tsat-t1[1])*rho[1]/1000*cpa[1]/1000*1/4}
qifc[i]=R**vel*100*(Lc*ec*0,9)/(Lp*Hp)*(tsat-t1[1])*rho[1]/1000*cpa[1]/1000 {Paret Prop.
no pto. 1}
{qifc[i]=rho[1]/1000*cpa[1]/1000*(dhe/Hp*100)*0.25*R*(Tsat-te)*vel*100}
FIR[i]=qifc[i]/media { paret dividir por media}
END
{
    dhe=4*ae/(2*Lp+2*Ec)
R=1/(1+eta*(dhe/Hp))
DUPLICATE i=1,n
    {qifc[i]=rho[i]/1000*cpa[i]*R*vel*100*(Tsat-
t1[i])*(Lp*100*Lc*100)/(Lp*100*Hp*100)/10000}
}
```

#### II ANEXOS

# ANEXO A – Unidade 6-day Ci utilizada na comercialização do <sup>99</sup>Mo

# Referência: NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). Medical Isotope Production without Highly Enriched Uranium.

A venda e determinação do preço do <sup>99</sup>Mo é baseada em unidades de radioatividade (ou atividade) calibrada para um determinado período futuro de tempo. A calibração do tempo é necessária por causa do seu decaimento radioativo. A unidade de atividade utilizada por produtores de <sup>99</sup>Mo para fixar o preço e vender este isótopo é a unidade curie (Ci), que é igual a 37 bilhões de desintegrações por segundo. A maioria dos produtores, e todos os produtores de grande escala, calibram o preço de venda para o número de curies presentes em um carregamento de <sup>99</sup>Mo 6 dias após ele deixar as instalações do produtor. Esta quantidade é referida como *6-day Ci*.

O conceito de 6-day Ci é esquematicamente ilustrado na figura abaixo, que mostra a formação e decaimento do <sup>99</sup>Mo durante a irradiação dos alvos, processamento e transporte. Durante um período de 5 a 7 dias de irradiação no reator (lado esquerdo da figura) o <sup>99</sup>Mo acumula-se no alvo e, eventualmente, a produção se aproxima de um máximo e é equilibrada pela perda devido ao decaimento radioativo. O <sup>99</sup>Mo continua a ser perdido pelo decaimento radioativo após os alvos serem retirados do reator e algumas perdas adicionais são observadas durante o processamento do alvo devido às ineficiências do processo (meio da figura). A quantidade de <sup>99</sup>Mo disponível para venda em *6-day Ci* (lado direito da figura), é somente uma fração do isótopo presente nos alvos no final do bombeamento (*End of Bombardment - EOB*) de nêutrons no reator.

A atual demanda global de <sup>99</sup>Mo é de cerca de 12 mil *6-day Ci* por semana. Para produzir esta quantidade de isótopo, os produtores teriam de irradiar alvos de <sup>235</sup>U suficientes para se obter cerca de 77 mil Ci de <sup>99</sup>Mo nos alvos no EOB (lado esquerdo da figura). Aproximadamente 54400 Ci de <sup>99</sup>Mo será recuperado a partir do processamento destes alvos, assumindo uma eficiência de recuperação de <sup>99</sup>Mo em 90% e um tempo de processamento de um dia. Os 12000 *6-day Ci* representam cerca de 17% do <sup>99</sup>Mo presente nos alvos no EOB.

A demanda mundial por semana do <sup>99</sup>Mo pode ser fornecida pela fissão de cerca de 2 g de <sup>235</sup>U. Os 54400 Ci de <sup>99</sup>Mo disponíveis no final do processamento do alvo teriam uma massa de cerca de 0,11 g. Esta massa de <sup>99</sup>Mo é aproximadamente a quantidade contida na "pitada de sal" de um cozinheiro. O restante do <sup>235</sup>U termina como resíduo.



FIGURA II-1: Atividade de molibdênio-99 em função do tempo

#### ANEXO B – Especificação técnica para fabricação dos alvos de UAl<sub>x</sub>-Al

Este anexo inclui as especificações técnicas preliminares referentes à fabricação dos alvos de UAl<sub>x</sub>-Al elaborada em conjunto com o Centro de Engenharia Nuclear (CEN) do IPEN/CNEN-SP e conforme os estudos desenvolvidos nesta dissertação.

# 1 - DESCRIÇÃO DA MINIPLACA ALVO E COMPONENTES

**1.1** - **Miniplaca alvo** - Miniplaca metálica produzida por laminação contendo no seu interior a dispersão de  $UAl_x$ -Al com revestimento de alumínio. A miniplaca é obtida pelo processo de laminação a quente de um conjunto constituído de um briquete contido em uma moldura e revestido dos dois lados por placas de alumínio.

**1.2 - Briquete** - Compactado contendo o material combustível na forma de UAl<sub>2</sub> disperso em alumínio. O briquete é produzido por meio da prensagem de uma mistura de pós de UAl<sub>2</sub> e de Al. Possui geometria e densidade apropriadas para produzir um cerne combustível no alvo acabado, dentro das características desejadas.

**1.3 - Moldura** - Dispositivo de alumínio que serve para posicionar o briquete na montagem da miniplaca e que demarca a região ativa da miniplaca alvo.

1.4 - Revestimento - Placa de alumínio que reveste o briquete e a moldura.

# 2 - MATERIAIS

## 2.1 - Requisitos para o material combustível

O material combustível especificado para a fabricação da miniplaca alvo é o UAl<sub>2</sub> (em pó).

## 2.1.1 - Requisitos químicos

A composição química do pó tem os valores especificados na Tabela II-1.

Elemento	Especificação
Urânio	81,3 <u>+</u> 3 % em peso
Oxigênio	0,60 % em peso (máximo)
Carbono	0,18 % em peso (máximo)
Nitrogênio	0,045 % em peso (máximo)
Hidrogênio	0,020 % em peso (máximo)
Matéria não-volátil	99,0 % em peso (mínimo)
Gorduras e óleos facilmente extraíveis	0,2 % em peso (máximo)
EBC <sup>a</sup>	30 ppm (máximo)
Hidrogênio Matéria não-volátil Gorduras e óleos facilmente extraíveis EBC <sup>a</sup>	0,020 % em peso (máximo) 99,0 % em peso (mínimo) 0,2 % em peso (máximo) 30 ppm (máximo)

Tabela II-1 - Composição química do material base para fabricação do pó de UAl<sub>2</sub>

<sup>a</sup> EBC = conteúdo de boro equivalente

# 2.1.2 - Concentração isotópica

A concentração isotópica do  $^{235}$ U é de 19,75  $\pm$  0,20 % em peso.

# 2.1.3 - Requisitos Físicos

## 2.1.3.1 - Tamanho das partículas

No mínimo 75% do pó devem ter tamanho das partículas entre 150 µm e 44 µm.

No máximo 25% em peso de pó devem ter partículas menores que 44 µm.

# 2.1.3.2 - Área de superfície específica

A área de superfície específica deve ser menor que  $0,13 \text{ m}^2/\text{g}$ .

## 2.1.3.3 - Massa específica

A massa específica do pó de UAl<sub>2</sub> deve ser maior que 7,8 g/cm<sup>3</sup>.

# 2.2 - Requisitos para o pó de Al

## 2.2.1 - Requisitos químicos

#### 2.2.1.1 - Conteúdo de alumínio em pó

O conteúdo de Alumínio deve ser superior a 99%.

O conteúdo de  $Al_2O_3$  deve ser inferior a 0,7%.

## 2.2.1.2 - Composição química do material base

A composição química do material base para a fabricação do pó tem os valores especificados na Tabela II-2. A soma da contribuição de todos os elementos diferentes de alumínio não deve ultrapassar 1% em peso. Se na análise de algum elemento for definido um valor "menor que" (<) uma determinada concentração, este valor deve ser usado.

Elemento	Concentração (% em peso)
Cu	<500 ppm
Fe +Si	< 0,95
Mn	< 0,05
Zn	< 0,10
Outros	< 0,15 (total)
Outlos	< 0,05 (individual)
Al	> 99
В	< 10 ppm
Cd	< 10 ppm
Li	< 10 ppm
Со	< 10 ppm

Tabela II-2 - Composição química do material base para fabricação do pó de Alumínio

### 2.2.1.3 - Conteúdo de impurezas no pó

O conteúdo de impurezas no pó de alumínio não deve ultrapassar os seguintes valores:

Voláteis	< 0,1%
Óleos e graxas	< 0,2%

# 2.2.2 - Requisitos físicos

### 2.2.2.1 - Tamanho das partículas

As partículas devem ter forma esférica e no mínimo 80% em peso do pó deve ter tamanho das partículas entre 150  $\mu$ m e 44  $\mu$ m. No máximo 20% em peso do pó devem ter partículas menores que 44  $\mu$ m.

# **3 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS**

#### 3.1 - Dimensões da miniplaca alvo

As dimensões da miniplaca alvo foram adotadas de maneira a atender a quantidade requerida de 2,06 gramas de <sup>235</sup>U por alvo. As dimensões, tolerâncias e acabamentos superficiais especificados para o alvo acabado são relacionados na Tabela II-3 e indicadas na Figura II-1.

Discriminação	Especificação
	Dimensões da miniplaca
Comprimento (mm)	$170 \pm 0,5$
Largura (mm)	$52 \pm 0,5$
Espessura (mm)	$1,52 \pm 0,05$
	Dimensões do cerne
Comprimento (mm)	$118 \pm 3$
Largura (mm)	40 <sup>±</sup> 3
Espessura (mm)	$0,76 \pm 0,05$
Acabamento superficial	Livre de riscos, ranhuras e pites. Máxima profundidade de defeito na área do cerne = 0,1 mm Máxima profundidade de defeito na área restante = 0,127 mm
Espessura mínima do revestimento (vide item 5.1.1)	Zona 1 : 0,30 mm Zona 2: 0,25 mm

Tabela II-3 - Dimensões do alvo para produção de Mo-99



Figura II-1 - Dimensões da miniplaca alvo (em mm)

## 3.1.1 - Espessura mínima do revestimento

São especificados na Tabela II-3 valores de espessuras mínimas do revestimento para as zonas 1 e 2, que são, respectivamente, as zonas central e de extremidades do cerne ("dogboning") da miniplaca, conforme indicações na Figura II-1.

# 4.2 - Quantidade de material combustível

# 4.2.1 – Quantidade de <sup>235</sup>U na miniplaca alvo

Quantidade de  $^{235}$ U requerida na miniplaca alvo acabada: 2,06 g  $^{235}$ U.

### 4.2.2 – Compostos de U presentes no cerne da miniplaca alvo acabada

Durante as etapas de laminação a quente e recozimento na fabricação dos alvos, quase todo o UAl<sub>2</sub> inicial do briquete reage com o alumínio da matriz para formar UAl<sub>3</sub> e parcela do UAl<sub>3</sub> reage com o alumínio para formar UAl<sub>4</sub>.

A otimização das variáveis termomecâncias envolvidas no processo de fabricação das miniplacas alvo (pelo Centro do Combustível Nuclear - CCN, do IPEN/CNEN-SP) deve contemplar a minimização do UAl<sub>2</sub> remanescente nas partículas portadoras de U no cerne.

# **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- /1/ INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Production and Supply of Molybdenum-99 – NTR2010 Supplement. 54<sup>th</sup> General Conference, IAEA, Vienna, 2010.
- WIENCIEK, G.F.; VANDEGRIFT, A.B.; LEVYA, A.A. and HEBDEN, A.S.
   Status and Progress of Foil and Target Fabrication Activities for the Production of <sup>99</sup>Mo from LEU. In: RERTR 2008 – 30<sup>th</sup> International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors, Washington, October 5-9, 2008.
- KONRAD, J. Facilities for the Irradiation of <sup>235</sup>U for the Production of <sup>99</sup>Mo at the HFR Petten. Irradiation Technology, Proc. of the Int. Topical Mtg., Grenoble, France 677-683. 1982.
- /4/ SALACZ, J. Production of Fission Mo-99, I-131 and Xe-133. Revue IRE Tijdschrift, Vol. 9, No. 3, 1985.
- /5/ FALLAIS, C.J.; WESTGAVER, A.M.; HEEREN, L.; BAUGNET, J.M.;
   GANDOLFO, J.M. and BOEYKENS, W. Production of Radioisotopes with BR2 Facilities. BR2 Reactor Mtg., Mol, Belgium, INIS MF 4426, pp. IX-1 to -11. 1978.
- /6/ SAMEH, A.A. and ACHE, H.J. Production Techniques of Fission Molybdenum-99. Radiochimica Acta 41 (1987) 65-72.
- MARQUES, R.O.; CRISTINI, P.R.; FERNANDEZ, H. and MARZIALE, D.
   Operation and Installation for Fission <sup>99</sup>Mo Production in Argentina. Fission Molybdenum for Medical Use, Proc. of Technical Committee Mtg. Organized by the International Atomic Energy Agency, Karlsruhe, October 13-16, 1987, IAEA-TECDOC-515 (1989) 23-33.
- /8/ SAMEH, A.A. and ACHE, H.J. Production Techniques of Fission <sup>99</sup>Mo. Fission Molybdenum for Medical Use, Proc. of Technical Committee Mtg. Organized by the International Atomic Energy Agency, Karlsruhe, October 13-16, 1987, IAEA-TECDOC-515 (1989) 47-64.
- /9/ Salacz, J. Processing of Irradiated <sup>235</sup>U for the Production of <sup>99</sup>Mo, <sup>131</sup>I, and <sup>133</sup>Xe Radioisotopes. Fission Molybdenum for Medical Use, Proc. of Technical Committee Mtg. Organized by the International Atomic Energy Agency, Karlsruhe, October 13-16, 1987, IAEA-TECDOC-515 (1989) 149-154.

- /10/ SAMEH, A.A. and BERTRAM-BERG, A. HEU and LEU MTR Fuel Elements as Target Materials for the Production of Fission Molybdenum. In: RERTR 1992 - International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors, September 27-October 1, 1992, Roskilde, Denmark.
- /11/ COLS, H.; CRISTINI, P.R. and MARQUES, R.O. Preliminary Investigations on the Use of Uranium Silicide Targets for Fission Mo-99 Production. In: RERTR 1994 - International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors, Williamsburg, Virginia, September 18-23, 1994, Argonne National Laboratory Report, ANL/RERTR/TM-20.
- JONES, R.T. AEC-2 Experiments in Support of <sup>99</sup>Mo Production in NRU. Atomic Energy of Canada Limited, AECL-7335 (1982).
- /13/ BURRIL, K.A. and HARRISON, R.J. Development of the <sup>99</sup>Mo Process at CRNL. Fission Molybdenum for Medical Use, Proc. of Technical Committee Mtg. Organized by the International Atomic Energy Agency, Karlsruhe, October 13-16, 1987, IAEA-TECDOC-515 (1989) 35-46.
- CRISTINI, P.R.; COLS, H.J.; BAVARO, R.; BRONCA, M.; CENTURIÓN, R. and CESTAU, D. Production of Molybdenum-99 from Low Enriched Uranium Targets. In: RERTR 2002 International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors, San Carlos de Bariloche, Argentina, November 2002.
- /15/ GELIS, A.V.; VANDEGRIFT, G.F.; AASE, S.B.; BAKEL, A.J.; FALKENBERG, J.R.; REGALBUTO, M.C. and QUIGLEY, K.J. ANL Progress in Developing a Target and Process for Mo-99 Production: Cooperation with CNEA. In: RERTR 2003 - International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors, October, 2003, Chicago, IL, USA.
- /16/ DONLEVY1, T.M.; ANDERSON, P.J.; STORR, G.; YEOH, G.; BEATTIE, D.; DEURA, M.; WASSINK, D.; BRADDOCK, B. and CHANT, W. Low
   Enrichment Mo-99 Target Development Program at ANSTO. In: RERTR 2000 - International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors, Las Vegas, Nevada, October 1-6, 2000.
- /17/ SARASWATHY, P.; DEY, A.C.; SARKAR, S.K.; KOTHALKAR, C.; NASKAR, P.; ARJUN, G.; ARORA, S. S.; KOHLI, A. K.; MEERA, V.; VENUGOPAL, V. and RAMAMOORTHY, N. <sup>99m</sup>Tc Generators for clinical use based on zirconium Molybdate Gel and (n,gama) produced <sup>99</sup>Mo: Indian Experience in the Development and Deployment of Indigenous Technology and Processing Facilities. In: RERTR 2007 - International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors, September 23-27, 2007, Prague, Czech Republic.

- /18/ DOMINGOS, D.B.; SILVA, A.T.; JOAO, T.G.; SILVA, J.E.R. and NISHIYAMA, P.J.B.O. Comparison of low enriched uranium (UAl<sub>x</sub>-Al and U-Ni) targets with different geometries for the production of molybdenum-99 in the RMB. In: INTERNATIONAL NUCLEAR ANTLANTIC CONFERENCE -INAC, October 24-28, 2011, Belo Horizonte. Proceedings Rio de Janeiro: ABEN, 2011. v. 1. p. 1-10.
- /19/ DOMINGOS, D.B.; SILVA, A.T.; JOAO, T.G.; MUNIZ, R.O.R. and COELHO, T.S. Low enriched uranium foil targets with different geometries for the production of molybdenum-99 in the RMB. In: INTERNATIONAL NUCLEAR ANTLANTIC CONFERENCE - INAC, October 24-28, 2011, Belo Horizonte. Proceedings Rio de Janeiro: ABEN, 2011. v. 1. p. 1-8.
- /20/ FOWLER, T.B.; VONDY, D.R. and CUNNINGHAM, G.W. Nuclear reactor core analysis code: CITATION. Oak Ridge: Oak Ridge National Laboratory, Jul. 1971. (ORNL-TM-2496 Rev. 2).
- /21/ BARHEN, J.; RHOTENSTEIN, W. and TAVIV, E. The HAMMER Code System Technion. Israel Institute of Technology. Haifa, Israel, NP-565, 1978.
- SCALE: A Modular Code System for Performing Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation, ORNL/TM-2005/39, Version 5.1, Vols. I– III, November 2006. Available from Radiation Safety Information Computational Center at Oak Ridge National Laboratory as CCC-732.
- /23/ UMBEHAUN, P.E. Metodologia para análise termohidráulica de reatores de pesquisa tipo piscina com combustível tipo placa. 2000. Dissertação (Mestrado)
   Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo.
- /24/ EMSLEY, J. Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements. New York: Oxford University Press, 2001. P 422-425.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) and INSTITUTE OF MEDICINE (IOM). Advancing Nuclear Medicine through Innovation, 2007. Washington, DC: The National Academic Press.
- /26/ FERREIRA, F.C.; CARDOSO, L.X.; COSTA, M.J.C.; CUNHA, C.J.; SOUZA, D.N. Avaliação de <sup>99</sup>Mo em amostra de <sup>99m</sup>Tc em clínicas de medicina nuclear no Sergipe. Scientia Plena, Vol. 4, Num. 11. 2008.
- /27/ NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). Medical Isotope Production without Highly Enriched Uranium, 2009. Washington, DC: The National Academic Press.

- JAPAN'S LEADING NUCLEAR INFORMATION SOURCE. Medical Tc-99m to be Produced Domestically in Japan Using JAEA's JMTR. November, 2008. Japan Atomic Industrial Forum, INC.
- /29/ LAMARSH, J.R. Introduction to nuclear reactor theory. Addison-Wesley Publishing Company, 1972.
- /30/ NATIONAL NUCLEAR SECURITY ADMINISTRATION (NNSA) and AUSTRALIAN NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY ORGANISATION (ANSTO). Global initiative to combat nuclear terrorism: Workshop on the production of Mo-99 using low enriched uranium. Workshop report, 21 pp. Sydney, Australia, December 2-5. 2007.
- VANDEGRIFT, G.F.; BAKEL, A.J. and THOMAS, J.W. Overview of 2007
   ANL Progress for conversion of HEU-based Mo-99 Production as part of the
   U.S. Global Threat Reduction-Conversion Program. In: RERTR 2007 International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors,
   September 23-27, 2007, Prague, Czech Republic.
- BAKEL, A.; LEYVA, A.; WIENCEK, T.; HEBDEN, A.; QUIGLEY, K.;
   FALKENBERG, J.; HAFENRICHTER, L. and VANDEGRIFT, G. Overview of progress related to implementation of the LEU-modified Cintichem process.
   In: RERTR 2008 International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors, October 5-9, 2008, Washington, D.C., USA.
- /33/ FABRO, J.; RESTELLI, M.; PODESTÁ, D.; ROSSI, G. and BOERO, N.
   Development of LEU Targets for Mo-99 Production. Potential Mo-99 Producers Workshop. May 17-19, 2005. Buenos Aires, Argentina.
- /34/ BRIYATMOKO, B.; BOYBUL; GUSWARDANI; SUHARDYO; PURWANTA; PERMANA, S.; DADANG; BASIRAN; and KARTAMAN, M. Indonesia's current status for conversios of Mo-99 production to LEU fission. In: RERTR 2007 - International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors, September 23-27, 2007, Prague, Czech Republic.
- /35/ GOLDMAN, I.N.; RAMAMOORTHY, N. and ADELFANG, P. Progress and status of the IAEA coordinated research project: production of Mo-99 using LEU fission or neutronic activation. RERTR 2007 - International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors, September 23-27, 2007, Prague, Czech Republic.
- VANDEGRIFT, G.F. Facts and Myths Concerning <sup>99</sup>Mo Production with HEU and LEU Targets. In: RERTR 2005 - International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors. November 6-10, 2005. Boston, USA.

- /37/ TISSIER, A. CERCA: Working towards better LEU fuel production. v. 36, n. 449, p. 1-50, 1991.
- /38/ MEDEL, J.; MARÍN, J. and SCHRADER, R. Production of Fission Mo-99 by LEU Irradiation Status of the Chilean Project. In: RERTR 2006 - International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors. October 29 -November 2, 2006. Cape Town, South Africa.
- /39/ SCHRADER, R.; KLEIN, J.; MEDEL, J.; MARÍN, J.; SALAZAR, N.;
   BARRERA, M.; ALBORNOZ, C.; CHANDÍA, M.; ERRAZU, X.; BECERRA,
   R.; SYLVESTER, G.; JIMÉNEZ, J.C. and VARGAS, E. Progress in Chile in the development of the fission <sup>99</sup>Mo production using modified CHINTICHEM.
   In: RERTR 2007 International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors. September 23-27, 2007, Prague, Czech Republic.
- SCHRADER, R.; KLEIN, J.; MEDEL, J.; MARÍN, J.; LISBOA, J.; BRISTEIN, L.; AHUMADA, L.; CHANDÍA, M.; BECERRA, R.; ERRAZU, X.; ALBORNOZ, C.; SYLVESTER, G. and JIMÉNEZ, J.C. Status of the Chilean implementation of the modified cintichem process for fission <sup>99</sup>Mo production using LEU. In: RERTR 2008 International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors. October 5-9, 2008, Washington, D.C., USA.
- /41/ WOODRUF, W.L. COBRA-3C/RERTR A thermal-hidraulic subchannel code with low pressure capabilitis and suppliment [S.l.]: Argonne National Laboratory, 1983.
- (42) OBENCHAIN, C. F. PARET A program for the analysis of reactor transients. [S.1]: Idaho National Engmeering Laboratory, 1969. (IDO 17282).
- /43/ INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Safety Assessment of Research Reactors and Preparation of the Safety Analysis Report. Safety Series Nº 35-G1. IAEA, Vienna, 1994.
- /44/ TERREMOTO, L.A.A. Disciplina TNR 5764 Fundamentos de Tecnologia Nuclear – Reatores. Divisão de Ensino – Secretaria de Pós-Graduação – IPEN/CNEN-SP. São Paulo, 2004.
- /45/ DOMINGOS, D.B. Cálculos Neutronicos, Termo-hidráulicos e de Segurança de um Dispositivo para Irradiação de Miniplacas (DIM) de Elementos Combustíveis Tipo Dispersão. 2010. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nuceares, São Paulo.
- /46/ SILVA, J.E.R. Aplicação de Métodos não Destrutivos para Qualificação de Combustíveis tipo Dispersão de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>-Al e U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>-Al no Reator IEA-R1. 2011. Tese (Doutorado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nuceares, São Paulo.

- /47/ SIMÕES, A.V. Desempenho Sob Irradiação de Combustíveis a Dispersão de MTR. 1993. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nuceares, São Paulo.
- /48/ INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Research reactor core conversion guidebook. Vol4: Fuels (Appendices I-K). International Atomic Energy Agency. (IAEA-TECDOC-643).
- HOLDEN, A.N. Dispersion fuel elements. New York, N.Y., Gordon & Breach, 1968.
- /50/ KAUFMANN, A.R. Nuclear reactor fuel elements Metallurgy and Fabrication. New York, N.Y., John Wiley & Sons, 1962.
- /51/ WEBER, C.E. Progress on dispersion elements. Progress in nuclear energy. Series V. vol.2, p.295-362,1959.
- /52/ SAMOILOV, A.G.; KASHTANOV, A.I.; VOLVOK, V.S. Dispersion fuel nuclear reactor elements. Jerusalem, IPST, 1968.
- /53/ WEBER, C.E.; HIRSCH, H.H. Dispersion-type fuel elements. In: UNITED NATIONS. Peaceful uses of atomic energy: proceedings of the international conference on... held in Geneva, 8-20 August, 1955, v. 9: Reactor tecnology and chemical processing. New York, N.Y., 1956. p.196-202.
- /54/ LEAL NETO, R.M. Estudo de processos de obtenção de pó de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>
   empregado em elementos combustíveis do tipo MTR. 1989. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo.
- /55/ CASTILLO, V.F.J.; MARIN, J.E.; CHAVES, P.J.C.; HECHENLEITNER, S.H.; TESTART, T.E. and CORTEZ, N.D. Fabricación de combustible tipo disperso (MTR). Nucleotécnica, pag. 11-22, 1986.
- /56/ CASTILLO, V.F.J.; MARIN, H.J. ; CHAVES, P.J.C.; HECHENLEITNER, H.S.; TESTART, T.E. and CORTES, D.W. U<sub>3</sub>0<sub>8</sub> para combustibles tipo disperse. Nucleotécnica, pag. 23- 30, 1986.
- /57/ MARTIN, M.M.; RICHT, A. E. and MARTIN, W.R. Irradiation behavior of aluminum - base fuel dispersions. Oak Ridge, Tenn. Oak Ridge National Lab. May 1973. (ORNL-4856).

- /58/ THÜMMLER, F.; LILIENTHAL, H.E. and NAZARÉ, S. UAl<sub>2</sub>-Al instead of UAl<sub>3</sub>-Al in fuel element plates for Advanced Test Reactor. Powder Metall. Int. 12(23):1-22, 1969.
- /59/ NAZARÉ, S.; ONDRACEK, G. and THÜMMLER, F. Investigations on UAl<sub>x</sub> A1 dispersion fuels for high-flux reactors. J. Nucl. Mater. 56:251-59, 1975.
- /60/ INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Standardization of specifications and inspection procedures for LEU plate-type research reactors fuels. Report of a consultants meeting organized by the international atomic energy agency and held in Greesthacht, Federal Republic of Germany, 16-18 April 1986. Vienna, 1986. (IAEA-TECDOC-467).
- /61/ HROVAT, M.F.; HASSEL, H.W. and WEHNER, E.L. Advanced MTR fuel. Nuclear Europe, 1985.
- /62/ NAZARÉ, S. Low enrichment dispersion fuels for research and test reactors.J. Nucl. Mater. 124:14 -24, 1984.
- /63/ INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Research reactor core conversion from the use of highly enriched uranium to the use of low enriched uranium fuels guidebook. A technical document issued by the International Atomic Energy Agency. Vienna, 1980. (IAEA-TECDOC-233).
- /64/ HEINEN, I.R. Soluções Analíticas da Equação de Difusão de Nêutrons Geral por Técnicas de Transformadas Integrais. 2009. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- MENDONÇA, A.G. Estudo de Códigos de Análises de Reatores Disponíveis no IPEN e suas Aplicações em Problemas de Difusão de Neutron em Multigrupo. 1980. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo.
- /66/ DUDERSTADT, J.J.; HAMILTON, L.J. Nuclear reactor analysis. John Wiley & Sons, 1976.
- /67/ INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Homogenization methods in reactor physics. Vienna: IAEA, May. 1980. (IAEA-TECDOC-231).
- /68/ INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Code on the safety of nuclear research reactor: DESIGN. Vienna: IAEA, 1992. (IAEA-Safety Standards N° 35-S1).

- /69/ ALMEIDA, C.T. Desempenho Sob Irradiação de Elementos Combustíveis do tipo U-Mo. 2005. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nuceares, São Paulo.
- MILLER, D.R. Critical flow velocities for collapse of reactor parallel-plate fuel assemblies. [S.1.:s.n.], Aug. 1958. (KAPL-1954).
- BERGLES, A.E. and ROSENOW, W.M. The determination of forced convection surface boiling heat transfers. Transactions of the ASIVIE 86 (Series C-Journal of Heat Transfer), p. 365-375, Aug. 1964.
- LABUNTSOV, D.A. Critical thermal loads in forced motion of water which is heated to a temperature below the saturation temperature. Soviet Journal of Atomic Energy, v. 10, n. 5, p. 523-525, 1960.
- /73/ INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES IPEN. Centro de Engenharia Nuclear (CEN). Relatório de Análise de Segurança - RAS do Reator IEA-R1, 1998.
- /74/ TORRES, W.M.; UMBEHAUN, P.E. e ANDRADE, D.A. DE Experimento Para Dimensionamento da Placa de Limitação de Vazão (PLV) do Dispositivo de Irradiação de Mini-placas (DIMP) do IEA-R1. Relatório Técnico 2002, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Centro de Engenharia Nuclear, São Paulo.