

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

**DESENVOLVIMENTO DE MODELO DE SIMULAÇÃO DE TRANSIENTES  
TÉRMICOS NO CIRCULADOR DE HÉLIO DO CEN.**

**HENRIQUE MARTINI PAULA**

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

**Orientador: Ahmet Aydin Konuk**

**São Paulo**  
**1979**

**INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES**

**SECRETARIA DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

**AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**DESENVOLVIMENTO DE MODELO DE SIMULAÇÃO DE TRANSIENTES TÉRMICOS  
NO CIRCULADOR DE HÉLIO DO CEN.**

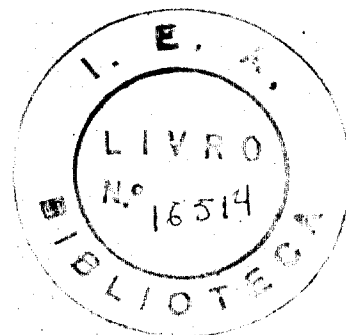
**Henrique Martini Paula**

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

**Orientador: Ahmet Aydin Konuk**

**SÃO PAULO**

**1979**



621.039.553

P324d

A Célia e a meus Pais

## AGRADECIMENTOS

Ao Doutor Ernani Augusto Lopes de Amorim M.D., Superintendente do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, por tornar possível a realização deste trabalho.

...

Ao Eng<sup>o</sup> Pedro Bento de Camargo, Diretor Executivo do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, pelo apoio e estímulo recebidos.

...

Ao Prof<sup>o</sup> Doutor Ahmet Aydin Konuk, Orientador deste trabalho, que propôs o tema e facultou os meios para sua realização acompanhando com sugestões, críticas e constantes incentivos.

...

Ao Prof<sup>o</sup> Doutor José Antonio Díaz Dieguez, gerente do Centro de Engenharia Nuclear, pela atenção às minhas solicitações durante a execução deste trabalho.

...

Ao Doutor Clauer T. de Freitas, gerente do Centro de Metalurgia Nuclear pela gentileza com que atendeu aos serviços por mim solicitados junto ao C.M.N.

...

Aos Operadores e Analistas do Centro de Processamento de Dados, pela colaboração na execução dos programas.

...

Aos Operadores do Circulador de Hélio, pelo apoio prestado durante a aquisição de dados experimentais.

...

Ao estagiário Gil Martini Paula, pela execução dos Gráficos e Figuras apresentados.

...

À Srta. Célia Maria de Jesus Medeiros, pelos trabalhos de datilografia, apoio e constante incentivo durante a realização deste trabalho.

...

À Professora Esmeralda Martini Paula, pela revisão gramatical.

...

Aos colegas do Centro de Engenharia Nuclear, pelo apoio e constante interesse demonstrado.

...

Ao amigo Auro Correia Pontedeiro, pela colaboração, apoio e incentivo.

## A B S T R A C T

A mathematical model has been developed to simulate thermal transients in the Experimental Helium Loop (CH) of the "Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares", São Paulo, Brazil. The model is based on the one dimensional energy equation written for the various components of the Loop. The System of first order nonlinear ordinary differential equations and nonlinear algebraic equations is solved using IBM-S/360 Continuous System Modeling Program (CSMP). The validity of the model has been shown by comparisons with experimental results, allowing its application to the prediction of the Loop operation conditions, the time necessary to carry out the planned experiments, and also to study the introduction of future modifications in the Loop.

## R E S U M O

Neste trabalho foi desenvolvido um modelo matemático para simulação de transientes térmicos no Circulador de Hélio (CH) do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, Brasil. O modelo baseia-se nas equações unidimensionais de energia aplicadas aos diversos componentes do CH. O sistema não-linear de equações diferenciais de primeira ordem e de equações algébricas não-lineares assim obtido é resolvido usando o "System/360 - Continuous System Modeling Program" da IBM, que resolve sistemas de equações diferenciais ordinárias com valores iniciais. A validade do modelo foi comprovada mediante comparações com resultados experimentais, permitindo sua aplicação nos cálculos das condições de operação do CH, na determinação do tempo necessário à realização dos experimentos e nos estudos de eventuais modificações no CH.

# I N D I C E

1. INTRODUÇÃO
  - 1.1 Objetivos
  - 1.2 Circulador de Hélio e sua aplicação
  
2. MODELO MATEMÁTICO E MÉTODO DE SOLUÇÃO
  - 2.1 Leis fundamentais de transmissão unidimensional de calor
  - 2.2 Equações básicas
  - 2.3 Estabilidade da integração numérica
  - 2.4 Aplicação das equações básicas aos componentes e tubulações do Circulador de Hélio
    - 2.4.1 Resfriador
    - 2.4.2 Tubulação entre o Resfriador e a Bomba Circuladora, e a tubulação entre a Bomba Circuladora e a bifurcação (A)
    - 2.4.3 Tubulação entre a bifurcação e o Trocador de Calor Regenerativo (B)
    - 2.4.4 Trocador de Calor Regenerativo
    - 2.4.5 Tubulação entre o Trocador de Calor Regenerativo e o Aquecedor (F)
    - 2.4.6 Aquecedor
    - 2.4.7 Tubulação entre o Aquecedor e o Trocador de Calor Regenerativo (inclui a Seção de Teste) (G)
    - 2.4.8 Tubulação entre o Misturador e o Resfriador (J)
    - 2.4.9 Tubulação entre a bifurcação e o Aquecedor, e a Tubulação entre o Aquecedor e o Misturador (S)
  - 2.5 Programação
    - 2.5.1 "Continuous System Modeling Program - CSMP"
    - 2.5.2 Estrutura do Modelo
  - 2.6 Métodos de integração

- 2.7 Coeficientes de transmissão de calor
  - 2.7.1 Coeficiente global de transmissão de calor
  - 2.7.2 Coeficiente de transmissão de calor por convecção forçada
  - 2.7.3 Coeficiente de transmissão de calor por convecção natural

### 3. RESULTADOS E COMPARAÇÕES COM DADOS EXPERIMENTAIS

- 3.1 Condições de operação
- 3.2 Análise dos resultados em regime permanente
- 3.3 Análise dos resultados em regime transientes
- 3.4 Comentários sobre os métodos de integração

### 4. CONCLUSÕES

### A P E N D I C E

Listagem do Programa (Dados relativos a operação com "By-pass" totalmente aberto)

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

## INTRODUÇÃO

## 1.1 - Objetivos

Vários códigos de computador para análise de comportamento termo-fluido dinâmico de reatores de gás têm sido desenvolvidos em vários países destacando-se: Estados Unidos da América, Japão e Alemanha. Alguns entre esses simulam apenas o núcleo do reator como por exemplo:

BLOOST - 6	Estados Unidos da América
HEXEREI	Estados Unidos da América
SAGAPO E SAGAPO - 2 (versão mais avançada)	Alemanha
TENDIM	Japão

Recentemente foram publicados dois novos códigos, desenvolvidos na Alemanha, que simulam o comportamento termodinâmico do reator, dentro e fora do núcleo, o NAKOGAS-1 e o PHAETON-2. As suas características principais são:

NAKOGAS-1 - Este código foi desenvolvido para a análise do comportamento termodinâmico de reatores do tipo "pebble-bed", no caso de falha no sistema de refrigeração. Foi projetado, principalmente, para avaliação de transientes de temperatura e distribuições de fluxo sob condições de convecção natural, mas pode também ser usado no caso de convecção forçada. O código modela o núcleo do reator e as estruturas vizinhas, em

duas dimensões, utilizando o sistema de coordenadas cilíndricas. Em adição, componentes do circuito primário que podem influenciar a convecção do gás são incluídos. Transporte de energia por condução, convecção e radiação são considerados.

PHAETON-2 - Baseia-se na solução das equações fluidodinâmicas unidimensionais para calcular o comportamento transiente dos reatores rápidos do tipo "Gas Cooled Fast Reactors" (GCFR).

É evidente que os quatro primeiros códigos, que simulam apenas o núcleo do reator, não podem ser usados para simular o comportamento térmico do Circulador de Hélio. Os dois últimos, por sua vez, que simulam o comportamento de todo o reator, dentro e fora do núcleo, a rigor, poderiam ser adaptados para posterior aplicação na simulação do Circulador de Hélio. Esta adaptação seria, entretanto, muito trabalhosa, e a simulação requeria, provavelmente, muito tempo de computação além de custos excessivamente elevados.

O objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo matemático para simulação de transientes térmicos no Circulador de Hélio do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), ou em outros do mesmo tipo, evitando assim, os inconvenientes acima apontados. O modelo baseia-se nas equações unidimensionais de energia aplicadas aos vários componentes do CH. O sistema não-linear de equações diferenciais ordinárias de primeira ordem e equações algébricas assim obtido, é resolvido pelo uso do "System/360 - Continuous System Modeling Program" (S/360 - CSMP), que é um programa desenvolvido pela IBM para solução de sistemas de equações diferenciais ordinárias com valores iniciais.

O campo de aplicação do modelo inclui:

- Cálculo dos seguintes parâmetros de operação: potência do Aquecedor, vazões do gás hélio, vazão da água de arrefecimento e abertura do "By-pass" de hélio no Resfriador, com a finalidade de se obterem as condições de temperatura e velocidade do gás necessárias aos experimentos a serem realizados na Seção de Teste.
- Determinação da duração dos transientes térmicos (requisitos para o cálculo da duração total do experimento, o qual constitui parâmetro importante no planejamento dos turnos do pessoal de operação).

- Estudo de eventuais modificações no Circulador de Hélio, mediante -  
simples adaptações no modelo matemático.

O modelo matemático, os aspectos relevantes da sua montagem e o método de solução são desenvolvidos no capítulo 2. No 3 são apresentados: resultados da aplicação do modelo na simulação de duas operações do Circulador de Hélio relativas ao "By-pass" totalmente fechado (sem "By-pass") e ao "By-pass" totalmente aberto; comparações dos resultados obtidos, com os dados experimentais; comentário e avaliação das discrepâncias; referência ao emprego do "S/360-CSMP" e métodos de integração. No 4 são feitos comentários sobre os resultados obtidos face dos objetivos propostos, e sugestões diversas. No apêndice, é apresentada uma listagem do programa, na qual os dados de operação são relativos à operação com o "By-pass" totalmente aberto.

## 1. 2 - Circulador de Hélio e sua aplicação

Reatores de alta temperatura arrefecidos com gás têm sua aplicação não só na geração de energia elétrica, mas também em processos industriais tais como nas indústrias química e siderúrgica. O hélio é um dos gases mais utilizados como arrefecedores em reatores nucleares, destacando-se principalmente pelas seguintes vantagens:

- é quimicamente inerte;
- tem alta condutibilidade térmica;
- é de uso comum e suas propriedades termodinâmicas são bem conhecidas.

Em particular, o desenvolvimento de reatores de alta temperatura que utilizam o sistema de refrigeração com hélio, acoplado a uma turbina a gás, tornou necessária a criação de possibilidades de ensaio dos componentes desses reatores sob condições de serviço, tão reais quanto possível.

Essas possibilidades foram criadas mediante a instalação de circuladores de hélio, como os da Alemanha, Estados Unidos da América, Japão e o do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares instalado no Centro de Engenharia Nuclear (CEN), ao qual refere-se este trabalho.

O Circulador de Hélio (CH) instalado no IPEN, permite ajustar e variar a temperatura, a pressão e o grau de pureza do hélio, simulando apenas as condições fora do núcleo do reator.

O complexo experimental possibilita o estudo de componentes, tais como: aquecedor, misturador, trocadores de calor hélio - hélio e hélio - água (resfriador) e bomba circuladora, quando sujeito a alta temperatura. O CH serve, num sentido mais amplo, para a experimentação e desenvolvimento de uma tecnologia específica do hélio mediante o ensaio e exame dos componentes construtivos, e a realização de ensaios e provas funda

mentais. Recentemente o complexo tem sido utilizado para ensaios de isolamento térmico a ser usado em reatores de altas temperaturas e tem servido como fonte de dados experimentais para verificação de dados obtidos em modelos matemáticos.

As partes principais do CH e suas interligações estão esquematizadas na figura 1.

Na saída da Bomba circuladora, o gás é dividido em duas parcelas pela ação de duas válvulas reguladoras. Uma segue em direção ao Aquecedor, servindo para seu arrefecimento. Por meio desse arrefecimento evita-se que as paredes do Aquecedor fiquem sujeitas a altas temperaturas e altas pressões, simultaneamente. A segunda parcela segue para o Trocador de Calor Regenerativo (TCR) onde recebe um pré-aquecimento. Do TCR é conduzida ao Aquecedor elétrico onde se efetua o aquecimento final do gás. Depois do Aquecedor, essa parcela percorre a Seção de Teste e retorna ao TCR onde é resfriada cedendo sua energia para o pré-aquecimento citado anteriormente. Em seguida, as duas parcelas encontram-se no misturador. Do misturador, o gás passa pelo resfriador, no qual é novamente parcelado em dois, pela ação de um "By-pass" conforme ilustração da figura 5. Uma das parcelas entra nos tubos em U onde cede energia para a água de arrefecimento, enquanto que a outra passa diretamente pelo "By-pass". Em seguida, unem-se as duas, e deixam o Resfriador, em direção à Bomba Circuladora.

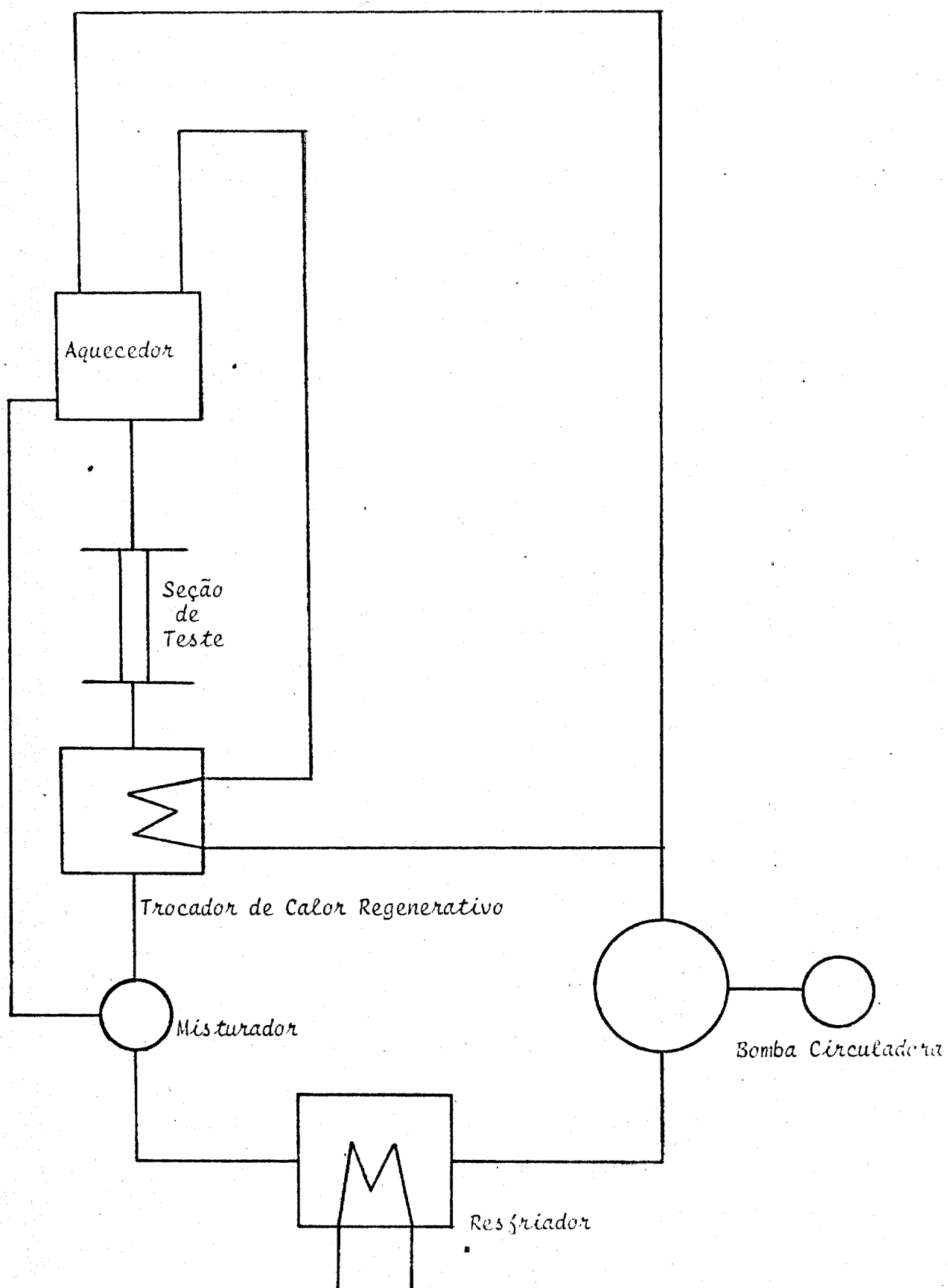


FIGURA 1 - Esquema do Circulador de Hélio

## MODELO MATEMÁTICO E MÉTODO DE SOLUÇÃO

Durante a operação do CH ocorrem desequilíbrios térmicos entre o gás em movimento e os diversos componentes e tubulações do aparelho, provocados, principalmente, por variações na potência do Aquecedor e nas vazões do Hélio e da água de arrefecimento. Esses desequilíbrios ou transientes térmicos perduram até que um novo estado de equilíbrio seja alcançado. O problema resolvido neste trabalho é justamente o da formulação de um modelo matemático para o estudo desses fenômenos transitórios. O modelo foi obtido por meio de equações de balanço de energia aplicadas a um volume de controle ou a uma superfície de separação de dois meios.

### 2.1 - Leis fundamentais de transmissão unidimensional de calor

Os balanços de energia para os componentes e tubulações do CH baseiam-se nas leis fundamentais da transmissão de calor:

Lei de Fourier:  $q = -k A \frac{dT}{dr}$

onde:

q    fluxo de calor por condução na direção r, watt

k    condutividade térmica do material,  $\frac{\text{watt}}{\text{m } ^\circ\text{C}}$

A    área de seção através do qual o calor flui por condução, medida perpendicularmente à direção do fluxo, m<sup>2</sup>

dT/dr    gradiente de temperatura na direção r, °C/m

Lei de Newton:  $q = h A \Delta T$

onde:

$q$  fluxo de calor por convecção, watt

$A$  área de transmissão de calor,  $m^2$

$\Delta T$  diferença de temperaturas entre a da superfície e a do fluido,  $^{\circ}C$

$h$  coeficiente de transmissão de calor por convecção,  $\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C}$

Acumulação de energia interna:

$$A_{cc} = M c \frac{dT}{dt}, \text{ para } M \text{ e } c \text{ constantes}$$

onde:  $A_{cc}$  acumulação de energia interna, watt

$M$  massa, Kg

$c$  calor específico,  $\frac{J}{Kg \cdot ^{\circ}C}$

$dT/dt$  variação da temperatura em relação ao tempo,  $^{\circ}C/\text{seg.}$

Calor Transmitido ao Fluido (Convecção Axial no Fluido)

$$q = \dot{m} c_p \Delta T$$

onde:

$q$  calor transmitido ao fluido por unidade de tempo, watt

$\dot{m}$  vazão em massa, Kg/Seg.

$c_p$  calor específico a pressão constante,  $\frac{J}{Kg \cdot ^{\circ}C}$

$\Delta T$  diferença das temperaturas entre as seções transversais em questão,  $^{\circ}C$

A distribuição de temperatura nas tubulações, isolamentos (considerando que não há convecção natural) e nos tubos dos Trocadores de Calor é obtida resolvendo-se a equação de condução de calor em sólidos para o estado transitório:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \nabla^2 T, \text{ para } c, \rho \text{ e } k \text{ constantes} \quad (1)$$

onde:

$$\alpha = \frac{k}{\rho c} \text{ é a difusidade térmica, m}^2/\text{seg.}$$

A solução da equação acima complica consideravelmente o problema, visto que se trata de uma equação diferencial parcial.

Em vista dessa dificuldade será adotada para os tubos, a solução para o estado permanente. Devido às boas propriedades de transmissão de calor nos metais, a diferença nos resultados, introduzida devido a essa aproximação, não é muito grande. No caso do isolamento essa diferença é mais acentuada. Em ambos os casos, entretanto, uma boa estimativa dessas diferenças é muito difícil de ser feita.

No estado permanente,  $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$  e a equação (1) simplifica-se consideravelmente:

$$\nabla^2 T = \frac{d^2 T}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dT}{dr} = 0 \quad (2)$$

A distribuição de temperatura nos tubos no estado permanente pode ser obtida pela solução da equação (2) ou pela integração direta da lei de Fourier:

$$T = T_i - \frac{q}{2\pi kL} \ln\left(\frac{r}{r_i}\right)$$

onde:

$T_i$  temperatura na superfície interna da parede, °C

- q fluxo de calor por condução radial na superfície cilíndrica concêntrica ao tubo, definida pela distância r, watt
- k condutividade térmica,  $\frac{\text{watt}}{\text{m}^\circ\text{C}}$
- L comprimento do tubo, m
- $r_i$  raio interno do tubo, m
- r distância do ponto onde se calcula a temperatura ao centro do tubo, m

Para  $r = r_e$ , o fluxo de calor radial por condução na parede do tubo é:

$$q = \frac{2 k A_e}{D_e} \frac{T_i - T_e}{\ln(D_e/D_i)} = K_x (T_i - T_e) \quad (3)$$

onde, para simplificações futuras, define-se a constante:

$$K_x = \frac{2 k A_e}{D_e} \frac{1}{\ln(D_e/D_i)}, \quad \frac{\text{watt}}{^\circ\text{C}} \quad (3a)$$

e:

$T_e$  temperatura na superfície externa da parede,  $^\circ\text{C}$

$r_e$  raio externo do tubo, m

Estas leis serão aplicadas, juntamente com as correlações para o cálculo dos coeficientes de transmissão de calor por convecção, para montar um sistema de equações diferenciais e algébricas não-lineares que descreva o comportamento térmico do CH.

## 2. 2 - Equações Básicas

O CH foi dividido em nove partes principais, cada uma contendo um ou mais componentes que, por sua vez, contém um ou dois sub-componentes .

Os componentes são: o Aquecedor, o TCR, a Seção de Teste, o Misturador, o Resfriador, a Bomba Circuladora e os Tubos para gás quente e para gás frio, onde a palavra Tubos refere-se tanto à parte metálica dos mesmos quanto ao seu isolamento térmico (externo ou interno). Apenas os Tubos e as carcaças do Aquecedor e do TCR é que são compostos de dois sub-componentes, quais sejam: a parte metálica e o isolamento térmico (fibras). As figuras 2 e 3 ilustram os sub-componentes de Tubos para gás quente e frio, respectivamente.

As nove partes principais foram modeladas uma a uma e, quando agrupadas, fornecem o modelo matemático. São elas:

- . Resfriador
- . Tubulação entre o Resfriador e a Bomba Circuladora, e a Tubulação entre a Bomba e a bifurcação (A)
- . Tubulação entre a Bifurcação e o Trocador de Calor Regenerativo (B)
- . Trocador de Calor Regenerativo
- . Tubulação entre o Trocador de Calor Regenerativo e o Aquecedor (F)
- . Aquecedor
- . Tubulação entre o Aquecedor e o Trocador de Calor Regenerativo (inclui a Seção de Teste) (G)
- . Tubulação entre o Misturador e o Resfriador (J)
- . Tubulação entre a Bifurcação e o Aquecedor (lado da camisa), e a Tubulação entre o Aquecedor (lado da camisa) e o Misturador (S)

Cada uma das partes será analisada separadamente. As equações de balanços de energia aplicadas aos sub-componentes das nove partes citadas enquadram-se sempre em uma das seis apresentadas abaixo:

$$M c \frac{dT}{dt} = \dot{m} c_{ph} (T_{in} - T_{out}) - h A_i \left( \frac{T_{in} + T_{out}}{2} - T_w \right) + Q \quad (4)$$

$$M c \frac{dT}{dt} = h A_i \left( \frac{T_{in} + T_{out}}{2} - T_w \right) - K_{x1} (T_w - T_m) \quad (5)$$

$$M c \frac{dT}{dt} = K_{x1} (T_w - T_m) - K_{x2} (T_m - T_e) \quad (6)$$

$$h_{ar} A_e (T_e - T_{ar}) - K_{x2} (T_m - T_e) = 0 \quad (7)$$

$$M c \frac{dT}{dt} = \dot{m} c_{ph} (T_{in} - T_{out}) \pm U A \Delta T \quad (8)$$

$$\dot{m}_a T_a = \dot{m}_b T_b + \dot{m}_c T_c \quad (9)$$

onde:

- M massa contida no volume de controle considerado, Kg
- c calor específico, J/Kg °C
- $c_{ph}$  calor específico do hélio a pressão constante, J/Kg °C
- $dT/dt$  variação da temperatura média da massa M em relação ao tempo, °C/seg.
- $\dot{m}$  vazão do gás hélio ou da água de refrigeração no resfriador, Kg/seg.
- $T_{in}$  e  $T_{out}$  Temperaturas de entrada e de saída do gás no sub-componente considerado, °C

$h$	coeficiente de transmissão de calor por convecção forçada, calculado para a temperatura do filme, $W/m^2 \cdot ^\circ C$
$T_{ar}$	temperatura ambiente, $^\circ C$
$T_w$	temperatura na parede interna do sub-componente considerado, $^\circ C$
$T_m$	temperatura entre os sub-componentes 1 e 2, $^\circ C$
$T_e$	temperatura na parede externa do sub-componente 2, $^\circ C$
$Q$	potência do aquecedor, $W$
$A_i$	área interna do sub-componente 1, $m^2$
$A$	área de troca de calor nos Trocadores de Calor, $m^2$
$A_e$	área externa do sub-componente 2, $m^2$
$h_{ar}$	coeficiente de transmissão de calor por convecção natural, calculado para temperatura do filme, $W/m^2 \cdot ^\circ C$
$U$	coeficiente global de transmissão de calor no resfriador ou no Trocador de Calor Regenerativo, $W/m^2 \cdot ^\circ C$
$\Delta T$	diferença de temperatura média entre o lado quente e frio nos Trocadores de Calor, $^\circ C$
$\dot{m}_a$ $\dot{m}_b$ e $\dot{m}_c$	vazões de hélio nos pontos a, b e c (ver fig. 4), $Kg/seg.$
$T_a$ $T_b$ e $T_c$	temperaturas do hélio nos pontos a, b e c (ver fig.4), $^\circ C.$
$K_{xi}$	é a constante definida pela equação (3a), $\frac{watt}{^\circ C}$

A equação (4) será aplicada aos Tubos ( $Q=0$ ) e ao Aquecedor. O lado esquerdo é o termo de acumulação da energia interna no gás hélio. O primeiro termo do lado direito é o termo de convecção axial de calor no gás, e o segundo é o termo de transmissão radial de calor por convecção entre o gás e a parede do tubo (ou da cerâmica). No caso do aquecedor,  $Q$  é a potência fornecida ao gás pelas resistências elétricas.

A equação (5) aplica-se aos tubos. O lado esquerdo é o termo de acmulação de energia no sub-componente 1. O primeiro termo do lado direito é o termo de transmissão radial de calor por convecção entre a parede e o gás, e o segundo é o termo de transmissão radial de calor por condução entre os sub-componentes 1 e 2.

A equação (6) aplica-se aos Tubos. O lado esquerdo representa a acmulação de energia interna no sub-componente 2. O primeiro termo do lado direito é o termo de transmissão radial de calor por condução entre os sub-componentes 1 e 2, e o segundo é o termo de transmissão radial de calor entre o sub-componente 2 e ar (meio ambiente).

A equação (7) resulta de um balanço térmico na superfície externa do Tubo em contacto com o ar. O primeiro termo é o termo de convecção de calor radial entre o sub-componente 2 e o ar, e o segundo é o termo de condução radial de calor entre esses meios.

A equação (8) aplica-se a ambos os lados (quente e frio) dos Trocadores de Calor, isto é, do Resfriador e do Trocador de Calor Regenerativo. O lado esquerdo representa a acumulação de energia no gás hélio ou na água de refrigeração do Resfriador. O primeiro termo do lado direito é o termo convectivo axial no fluido e o segundo é o termo de transmissão de calor entre os dois fluidos.

A equação (9) aplica-se à bifurcação existente entre a Bomba Circuladora, o Trocador de Calor Regenerativo e o Aquecedor, ao "By-pass" no interior do Resfriador, e ao Misturador. Foi obtida através de um balanço de energia na bifurcação, conforme ilustração da figura 4.

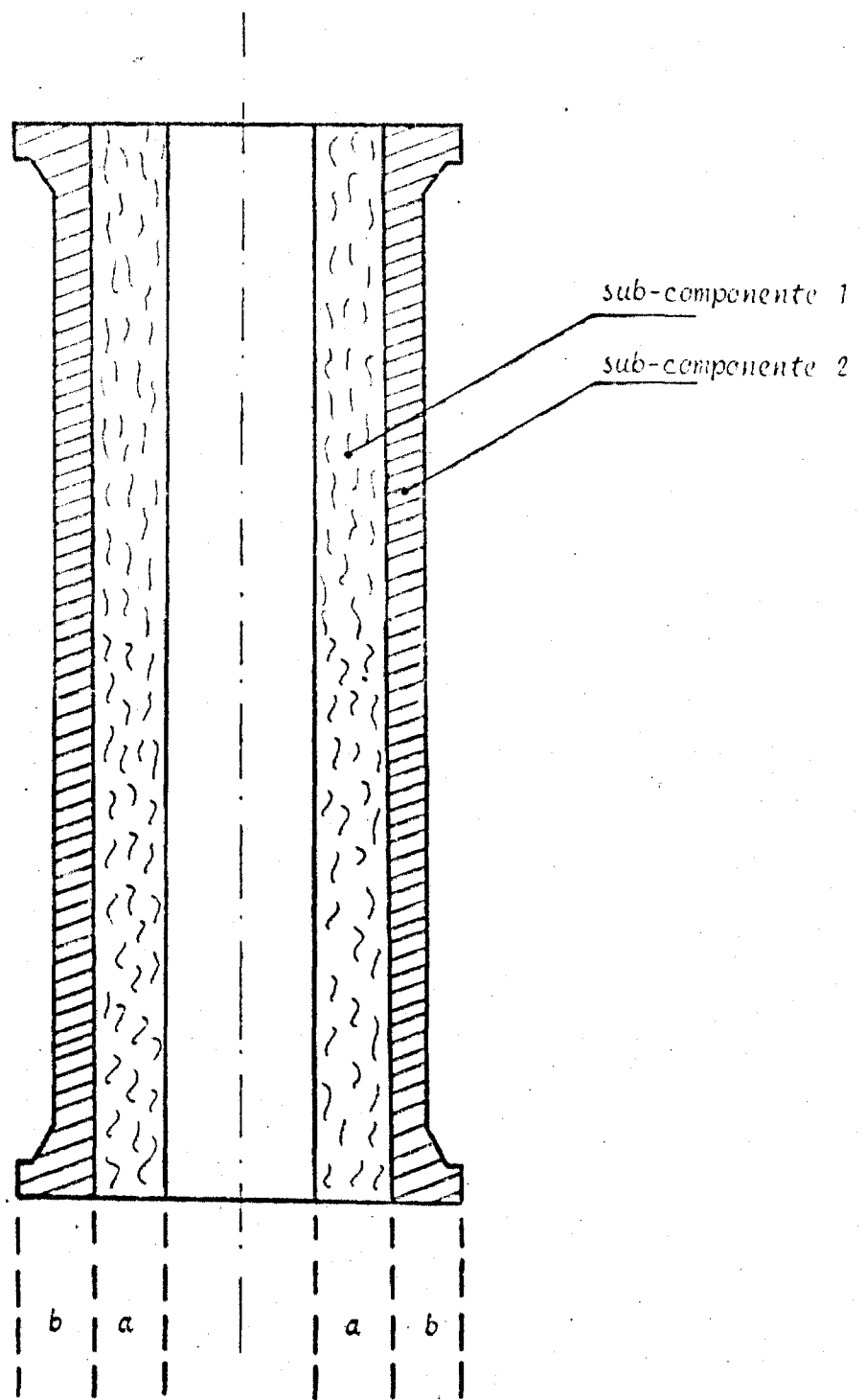


FIGURA 2 - Tubo de gás quente (a) isolamento térmico e (b) metal

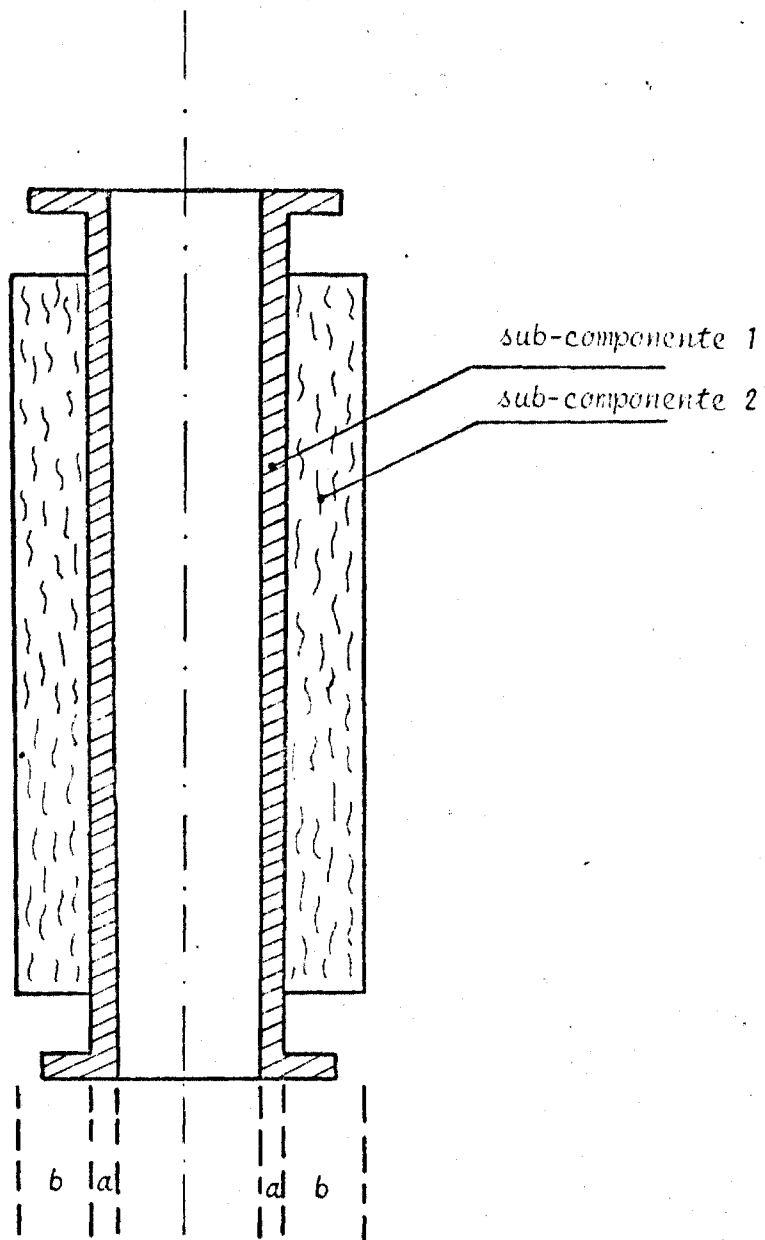


FIGURA 3 - Tubo de gás frio (a) metal e (b) isolamento térmico externo

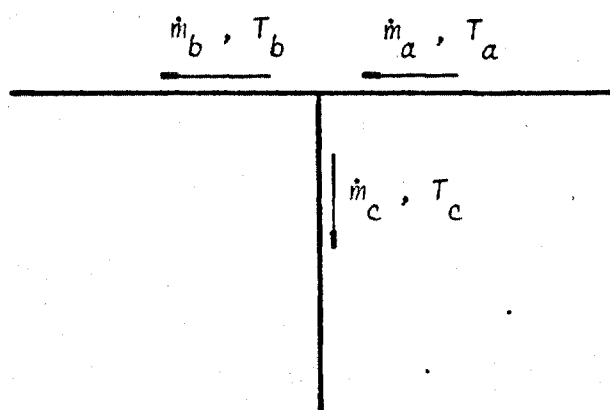


FIGURA 4 - Bifurcação

### 2.3 - Estabilidade da Integração Numérica

Antes de aplicar as equações básicas aos diversos componentes, é necessário fazer certos comentários sobre problemas de estabilidade da integração numérica de sistemas de equações diferenciais ordinárias com valores iniciais, visto que, devido a esses problemas, algumas considerações serão necessárias ao utilizar essas equações.

A estabilidade da integração numérica de tal sistema depende do intervalo de integração adotado na simulação. Intervalos muito grandes, em relação a duração total de um determinado transiente, levam a instabilidades na integração numérica. Por outro lado, intervalos de integração muito pequenos, embora reduzam o erro numérico associado à solução, exigem maiores tempos de utilização do computador e, conseqüentemente, maior custo. É necessário, portanto, calcular um intervalo de integração que garanta a estabilidade da solução mas atendendo, também, as exigências de tempo e custo aceitáveis.

As equações (4), (5), (6) e (8) são integradas e, conseqüentemente, definem o intervalo de integração. De forma a facilitar o estudo é conveniente reescrever essas equações na seguinte forma:

$$\frac{dT}{dt} = a_1 T + f$$

onde:

$f$  é função de outras temperaturas e o coeficiente  $a_1$  é função da própria temperatura  $T$ , daí a não linearidade do sistema.

Caso se tratasse apenas de uma equação diferencial ordinária linear ( $f$  e  $a_1$  constantes), seria definida uma constante de tempo igual ao inverso de  $a_1$ . O intervalo de integração máximo, nesse caso, seria proporcional a essa constante de tempo e dependeria do método de integração numérica. Para o método de Euler, por exemplo, o intervalo máximo é duas vezes a constante de tempo.

No caso de um sistema de equações diferenciais não lineares esse procedimento não é válido. Como não existe um método teórico geral para o

cálculo do intervalo de integração máximo para tal sistema, foi adotado o seguinte procedimento:

- . calculou-se a constante de tempo para cada equação como se elas - fossem lineares e independentes,
- . usou-se o menor intervalo de integração máximo permitido, como estimativa inicial e
- . calculou-se o valor correto por tentativas, usando o computador

Esses cálculos demonstraram que certas equações apresentavam constantes de tempo muito pequenas em relação as outras, indicando tratar - se de um sistema rígido ("rigid").

A estabilidade da integração numérica de sistemas rígidos é um problema bastante complexo. A solução adotada neste trabalho foi a comumente usada na prática da engenharia, a qual consiste em adotar um intervalo de integração pequeno em relação ao tempo total de integração e eliminar os termos de acumulação que provoquem instabilidade na solução numérica. Isto significa a transformação de uma equação diferencial em uma algébrica.

As operações do Circulador de Hélio duram de 1 a 3 dias, isto é, até aproximadamente 260000 segundos. Simulações efetuadas com o modelo indicaram que, transformando em equações algébricas as equações diferenciais com constantes de tempo inferior a 10 segundos, obtem-se bons resultados a custos aceitáveis.

Portanto, ao aplicar as equações básicas aos diversos sub-componentes do CH, as equações diferenciais com constantes de tempo inferior a 10 segundos tiveram seus termos de acumulação de energia interna iguados a zero, isto é, foram transformadas em equações algébricas. Esse procedimento foi adotado em todo o item 2.4, sem novas menções.

## 2.4 - Aplicação das Equações Básicas aos Componentes e Tubulações do Circulador de Hélio

### 2.4.1 - Resfriador

O Resfriador consiste em um conjunto de tubos em U contidos em uma carcaça, conforme ilustração da figura 5. O gás quente, proveniente do Misturador, entra pela parte superior direita do Resfriador e se divide em duas parcelas. Uma segue pelos tubos em U, cedendo parte de sua energia térmica para a água de refrigeração. A segunda parcela passa pelo "By-pass". As duas parcelas unem-se na parte superior esquerda e seguem para a Bomba Circuladora. A água de refrigeração entra pela parte inferior da carcaça e circula externamente aos tubos sob ação dos defletores ("baffles"), recebendo a energia cedida pelo gás, saindo pela parte superior da carcaça conforme indicado na figura 5.

O balanço térmico para o gás é dado pela equação (8):

$$M c_v \frac{dT}{dt} = \dot{m}_1 c_{ph} (T_g - T_{tu}) - U_{co} A_{co} \Delta T_{co} = 0 \quad (11)$$

onde:

$\dot{m}_1$  vazão do gás hélio nos tubos em U, Kg/seg.

$T_g$  temperatura do gás hélio ao entrar no Resfriador, °C

$T_{tu}$  temperatura do gás hélio ao sair dos tubos em U, °C

$U_{co}$  coeficiente global de transferência de calor no Resfriador,  $\frac{\text{watt}}{\text{m}^2\text{°C}}$

$A_{co}$  área de troca de calor da superfície externa dos tubos,  $\text{m}^2$

$\Delta T_{co}$  diferença de temperatura média entre a água e o gás dos tubos em U, °C

O balanço térmico para a água de refrigeração também é dado pela equação (8)

$$M_{\bar{a}gua} c_v \bar{a}gua \frac{d}{dt} \left( \frac{T_{in} + T_7}{2} \right) = \dot{m}_{\bar{a}gua} c_p \bar{a}gua (T_{in} - T_7) + U_{co} A_{co} \Delta T_{co} \quad (12)$$

onde:

$M_{\bar{a}gua}$	massa de água na carcaça do Resfriador, Kg
$c_v \bar{a}gua, c_p \bar{a}gua$	calores específicos da água a volume e pressão constantes, respectivamente, $\frac{J}{Kg \cdot ^\circ C}$
$T_{in}$	temperatura de entrada da água de refrigeração, $^\circ C$
$\dot{m}_{\bar{a}gua}$	vazão da água de refrigeração, Kg/seg.
$T_7$	temperatura de saída da água de refrigeração, $^\circ C$

Para o "By-pass", aplica-se a equação (9):

$$\dot{m}_{ht} T_{5l} = \dot{m}_1 T_{tu} + \dot{m}_2 T_8$$

onde:

$\dot{m}_{ht}$	vazão do gás hélio (total), Kg/seg.
$\dot{m}_1$	vazão do gás hélio nos tubos em U, Kg/seg.
$\dot{m}_2$	vazão do gás hélio pelo "By-pass", Kg/seg.
$T_{5l}$	temperatura do gás ao sair do Resfriador, $^\circ C$

A troca de calor no Resfriador dá-se somente pela parte do gás que se segue pelos tubos em U. É necessário, portanto, o cálculo da vazão neses tubos e no "By-pass". Para isto, procede-se do seguinte modo:

- . calcula-se a queda de pressão nos tubos em U (equação de Fanning);
- . calcula-se a queda de pressão no "BY-pass";
- . iguala-se as duas equações e tira-se uma relação entre as vazões;
- . Obtem-se uma segunda relação entre as duas vazões a partir da lei da conservação da massa;
- . resolve-se o sistema de 2 equações e 2 incógnitas, e obtem-se as vazões.

Para os tubos:

$$\Delta p = f \frac{G^2 v L}{2 g_c D_H} ; \text{ equação de Fanning}$$

onde:

f fator de atrito

G velocidade de massa,  $\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2 \text{ seg}}$

v volume específico,  $\text{m}^3/\text{Kg}$

L comprimento do tubo, m

$g_c$  fator de conversão gravitacional

$D_H$  diâmetro interno do tubo, m

Para o "By-pass", utiliza-se a relação para o cálculo da queda de pressão causada por uma súbita contração da área da seção transversal de um tubo:

$$\Delta p = \frac{1}{2} \frac{c \rho V^2}{g_c}$$

onde:

c função da geometria

$\rho$  densidade do gás no "By-pass"

V velocidade do gás

Essas relações fornecem a seguinte dependência entre as vazões:

$$\dot{m}_1 = \sqrt{\frac{c D_f \rho_1}{f \rho_2 L}} \frac{A_1}{A_2} \dot{m}_2 = R \dot{m}_2$$

onde:

$\rho_1$  densidade nos tubos em U, Kg/m<sup>3</sup>

$\rho_2$  densidade no "By-pass", Kg/m<sup>3</sup>

$A_1$  área total das seções transversais do tubos, m<sup>2</sup>

$A_2$  área mínima no "By-pass", m<sup>2</sup>

R relação entre as vazões

A segunda dependência entre as vazões é dada pela lei da conservação da massa:

$$\dot{m}_{ht} = \dot{m}_1 + \dot{m}_2$$

Resolvendo esse sistema:

$$\dot{m}_1 = \frac{\dot{m}_{ht}}{1 + 1/R}$$

$$\dot{m}_2 = \frac{\dot{m}_{ht}}{1 + R}$$

Como R depende do fator de atrito e das densidades do gás nos tubos e no "By-pass", que são funções da temperatura, seu valor é calculado em cada passo de integração, para as temperaturas correspondentes.

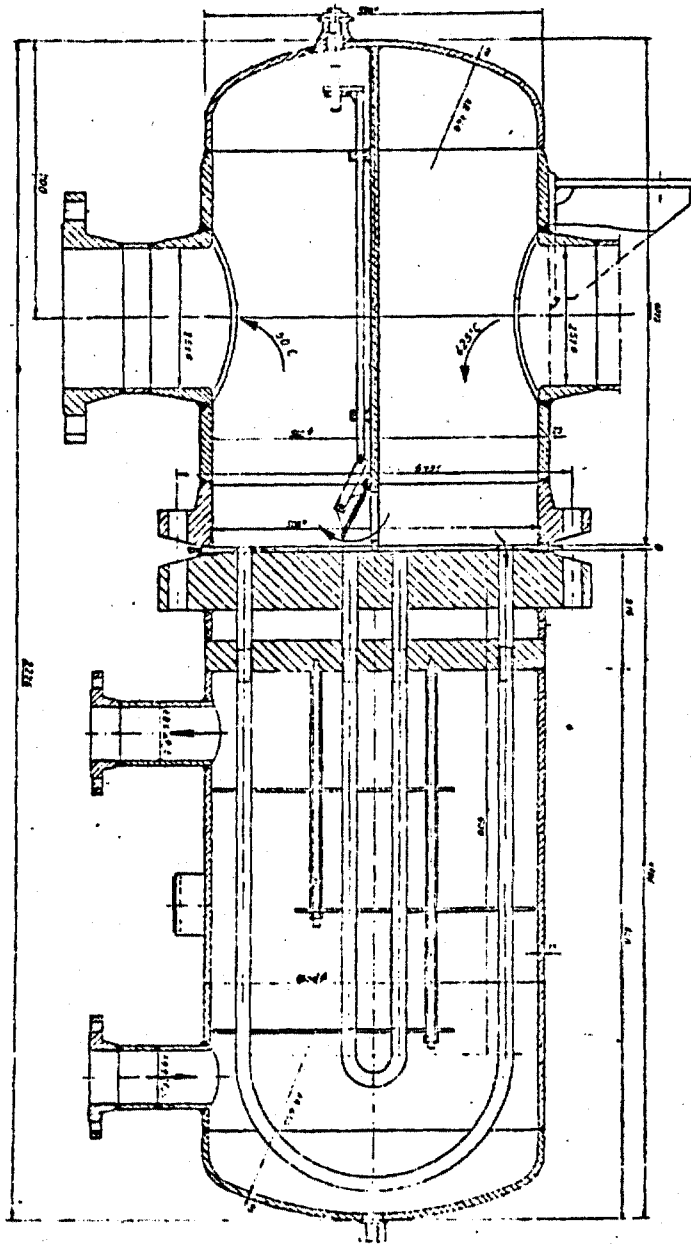


FIGURA 5 - Resfriador

## 2.4.2 - Tubulação entre o Resfriador e a Bomba Circuladora, e a Tubulação entre a Bomba Circuladora e a Bifurcação (A)

O esquema desta parte do CH está ilustrado na figura 6, onde os diâmetros internos e externos dos tubos, isolamentos e componentes estão normalizados. O gás percorre a parte superior esquerda do Resfriador (figura 5), segue pela tubulação até a Bomba Circuladora (figura 7) indo, em seguida, em direção à bifurcação. Nesta parte serão incluídas a carcaça superior esquerda do Resfriador e a Bomba Circuladora. A inclusão desses dois componentes prende-se ao fato de que eles têm uma massa grande (bem maior que a dos tubos), sendo, portanto, muito importantes no regime transiente do CH. Será considerado que em todo o percurso, o gás, no interior dos tubos e dos componentes, tem a mesma temperatura, sendo esta, igual a média entre a temperatura de saída do Resfriador e a temperatura do gás na Bifurcação.

As duas tubulações são isoladas externamente e serão consideradas como tendo a mesma distribuição de temperatura, o mesmo acontecendo para o Resfriador e a Bomba Circuladora, que não são isolados internamente externamente.

Ao passar para a Bomba Circuladora, o gás sofre um aumento de temperatura no processo de compressão. Para levar em conta a energia recebida pelo gás, aplica-se a equação (4) onde  $Q$  é, ao invés da potência do Aquecedor, o produto da potência da Bomba Circuladora por um fator que representa a parcela dessa potência que é fornecida ao gás. Esse fator foi determinado a partir de dados experimentais obtidos nas operações do CH, o qual será chamado rendimento da Bomba Circuladora.

Para o gás, aplica-se a equação (4), para as duas tubulações, as equações (5), (6) e (7) e para os dois componentes, apenas as equações (5) e (7), pois não têm isolamento interno nem externo.

Gás:

$$M c \frac{dT}{dt} = \dot{m}_{ht} c_{ph} (T_{5l} - T_5) - \sum_{i=1}^2 h_i A_i \left( \frac{T_{5l} + T_5}{2} - T_{wa1} \right) - \sum_{j=1}^2 h_j A_j \left( \frac{T_{5l} + T_5}{2} - T_{wa1l} \right) + \eta P_{BC} = 0 \quad (13)$$

Onde o termo  $\eta P_{BC}$  representa a energia acrescida ao gás na Bomba Circuladora. O valor do rendimento da Bomba Circuladora foi determinado a partir de dados experimentais do seguinte modo:

$$\eta = \frac{\dot{m}_{ht} c_{ph} (T_{in} - T_{out})}{P_{BC}}$$

Tubulações:

$$M_c \frac{d T_{a12}}{dt} = \sum_{i=1}^2 h_i A_i \left( \frac{T_5 + T_{5l}}{2} - T_{wa1} \right) - K_{a1} (T_{wa1} - T_{wa2}) = 0 \quad (14)$$

$$M_c \frac{d T_{a23}}{dt} = K_{a1} (T_{wa1} - T_{wa2}) - K_{a2} (T_{wa2} - T_{wa3}) = 0 \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^2 h_{ar i} A_{ei} (T_{wa3} - T_{ar}) - K_{a2} (T_{wa2} - T_{wa3}) = 0 \quad (16)$$

Componentes:

$$M_c \frac{d T_{a12l}}{dt} = \sum_{j=1}^2 h_j A_j \left( \frac{T_5 + T_{5l}}{2} - T_{wa1l} \right) - K_{a1l} (T_{wa1l} - T_{wa2l}) \quad (17)$$

$$\sum_{j=1}^2 h_{ar j} A_{ej} (T_{wa2l} - T_{ar}) - K_{a1l} (T_{wa1l} - T_{wa2l}) = 0 \quad (18)$$

$$T_{a12l} = \frac{T_{wa1l} + T_{wa2l}}{2} \quad (19)$$

Nas equações acima:

$T_5$  Temperatura do gás na bifurcação, °C

$M$  e  $c$  massa e calor específico do componente em questão, Kg e J/Kg°C

$h_{i,j}$	coeficiente de transmissão de calor por convecção forçada, watt/m <sup>2</sup> °C
$h_{ar\ i,j}$	coeficiente de transmissão de calor por convecção natural, watt/m <sup>2</sup> °C
$A_{i,j}$	área da superfície interna dos tubos e componentes, m <sup>2</sup>
$A_{e\ i,j}$	área da superfície externa dos tubos e componentes, m <sup>2</sup>
$i = 1$	tubulação entre o Resfriador e a Bomba Circuladora
2	tubulação entre a Bomba Circuladora e a bifurcação
$j = 1$	Resfriador
2	Bomba Circuladora
$  (T_{in} - T_{out})  $	aumento de temperatura sofrido pelo gás ao passar pela Bomba Circuladora, °C
$P_{BC}$	potência da Bomba Circuladora, watt
$\eta$	rendimento da Bomba Circuladora

as diversas temperaturas estão definidas na figura 6 e as constantes  $k_{a1}$ ,  $k_{a2}$  e  $k_{a1\ell}$  são definidas pela equação (3a).

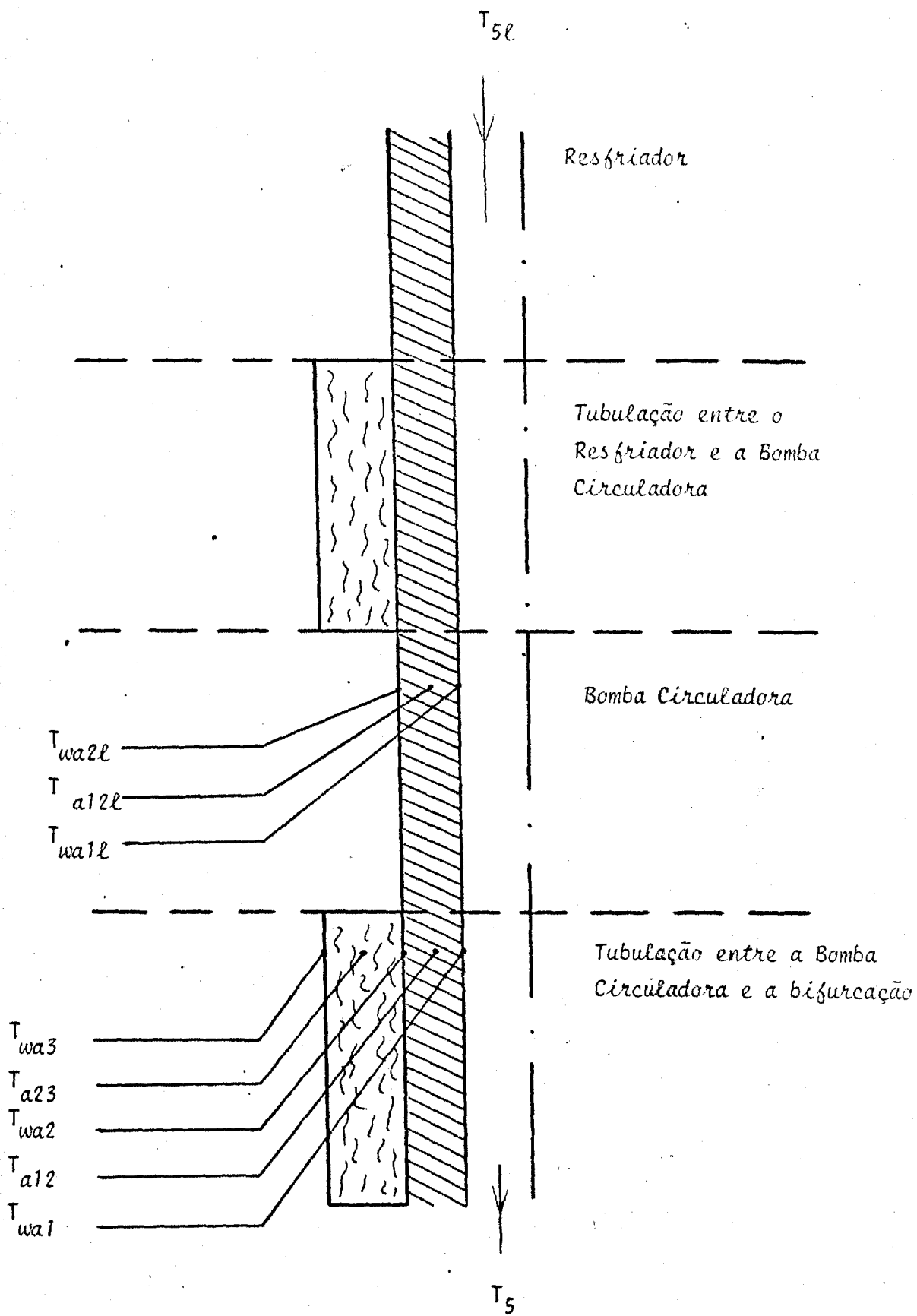


FIGURA 6 - Esquema das tubulações e componentes entre o Resfriador e a bifurcação

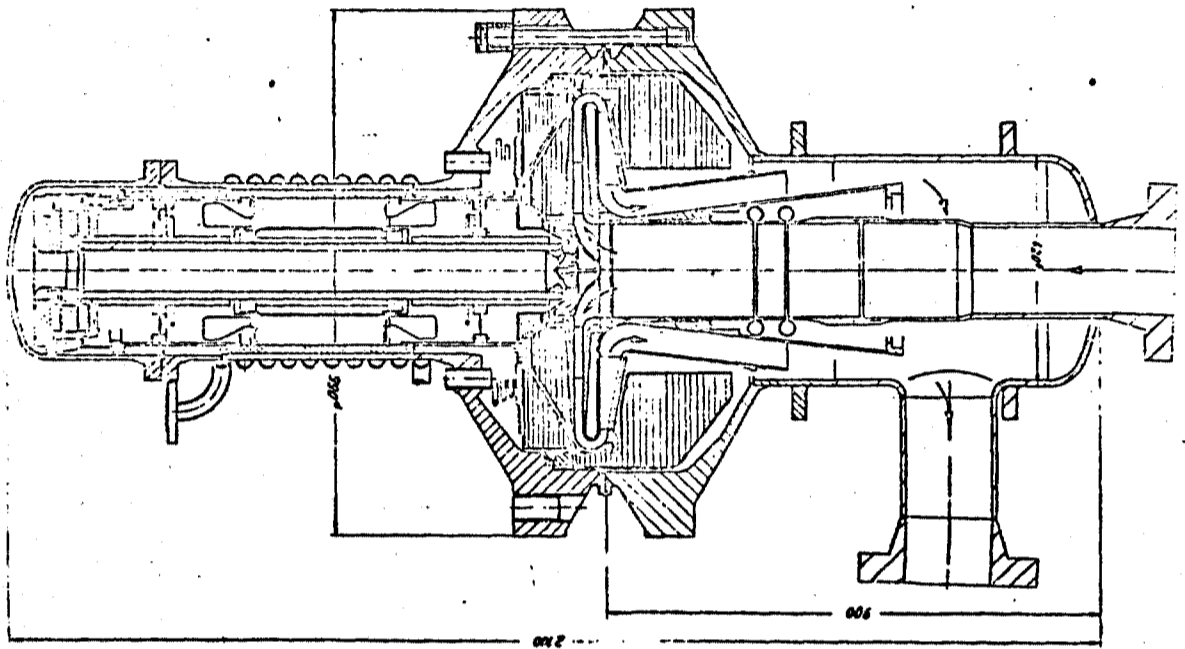


FIGURA 7 - Bomba Circuladora

### 2.4.3 - Tubulação entre a bifurcação e o Trocador de Calor Regenerativo vo (B)

O esquema desta parte do CH esta ilustrado na figura 8. O gás, deixando a bifurcação, segue para o Trocador de Calor Regenerativo. No TCR, o gás entra pela parte inferior e circula pela passagem anular existente entre a carcaça do TCR e seu recipiente interno, o qual retem gás a alta temperatura, atuando como arrefecedor. Com esse arrefecimento, por meio de gás a baixa temperatura mas com a mesma pressão do gás quente no interior do recipiente interno, assegura-se uma temperatura baixa na carcaça do TCR, retentora de gás a alta pressão.

Para o gás aplica-se a equação (4), para a tubulação e o trecho do TCR que está isolado externamente as equações (5), (6) e (7), e para o trecho do TCR que não está isolado, somente as equações (5) e (7).

Gás:

$$M c \frac{dT}{dt} = \dot{m}_{hq} c_{ph} (T_5 - T_1) \sum_{i=1}^2 h_i A_i \left( \frac{T_5 + T_1}{2} - T_{wb1} \right) - h_3 A_3 \left( \frac{T_5 + T_1}{2} - T_{b1} \right) = 0 \quad (20)$$

Tubulação e TCR (trecho com isolamento externo):

$$M c \frac{dT_{b12}}{dt} = \sum_{i=1}^2 h_i A_i \left( \frac{T_1 + T_5}{2} - T_{wb1} \right) - K_{b1} (T_{wb1} - T_{wb2}) \quad (21)$$

$$M c \frac{dT_{b23}}{dt} = K_{b1} (T_{wb1} - T_{wb2}) - K_{b2} (T_{wb2} - T_{wb3}) = 0 \quad (22)$$

$$\sum_{i=1}^2 h_{ar i} A_{ei} (T_{wb3} - T_{ar}) - K_{b2} (T_{wb2} - T_{wb3}) \quad (23)$$

$$T_{b12} = \frac{T_{wb1} + T_{wb2}}{2} \quad (24)$$

Trocador de Calor Regenerativo (trecho sem isolamento externo):

$$M c \frac{dT}{dt} T_{b2} = h_3 A_3 \left( \frac{T_1 + T_5}{2} - T_{b1} \right) - K_{b1l} (T_{b1} - T_{b2}) \quad (25)$$

$$h_{ar3} A_3 (T_{b2} - T_{ar}) - K_{b1l} (T_{b1} - T_{b2}) = 0 \quad (26)$$

$$T_{1b2} = \frac{T_{b1} + T_{b2}}{2} \quad (27)$$

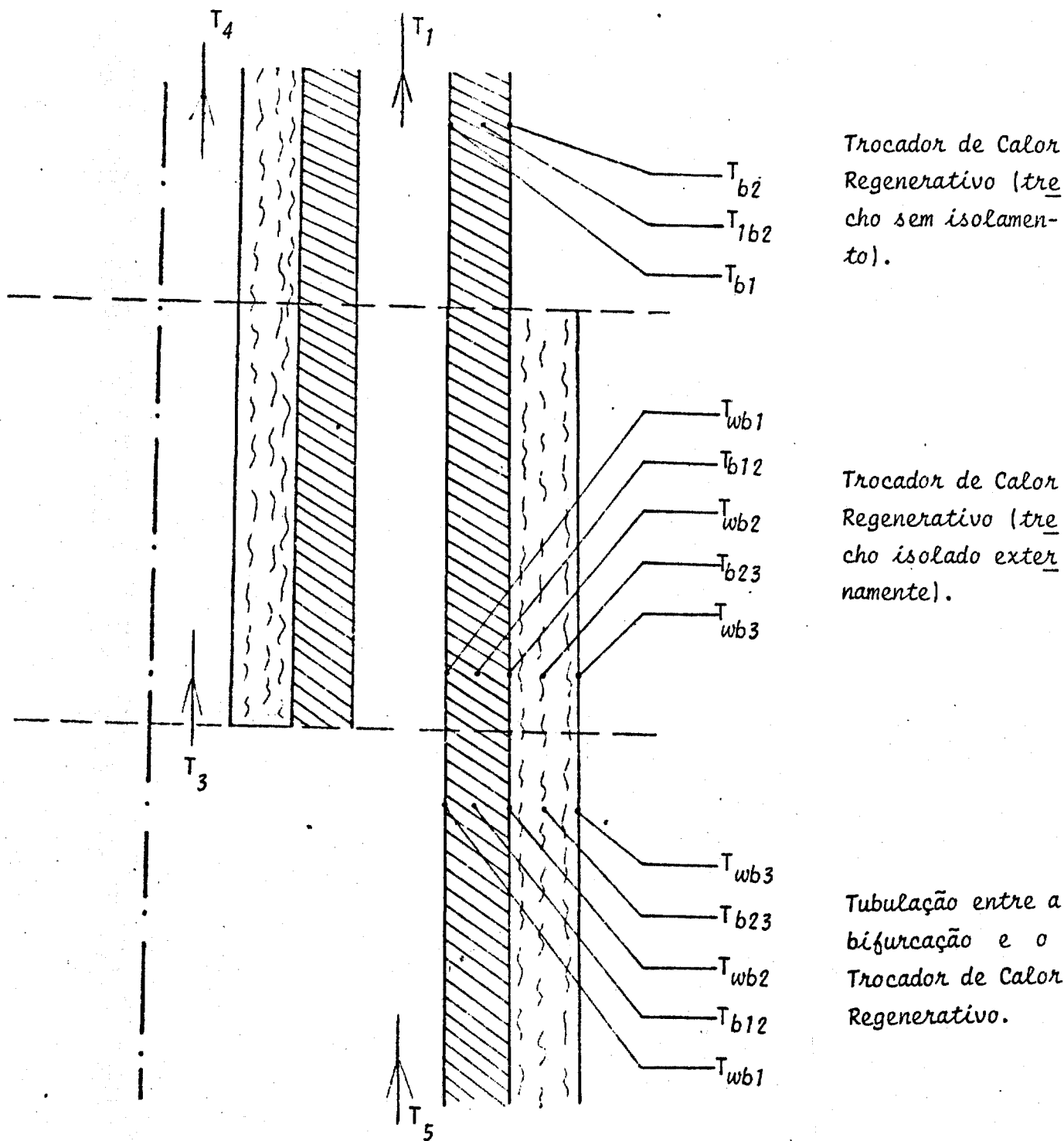
Nas equações acima:

- $\dot{m}_{hg}$  vazão do gás hélio no circuito principal, Kg/seg
- $T_1$  temperatura do gás hélio ao entrar nos tubos do TCR, °C
- $h_i$  coeficiente de transmissão de calor por convecção forçada, no interior da tubulação ( $i=1$ ) e do TCR (trecho com isolamento externo,  $i=1$ ), W/m<sup>2</sup>°C
- $h_3$  coeficiente de transmissão de calor, por convecção forçada, no interior do TCR (trecho sem isolamento externo), W/m<sup>2</sup>°C
- $h_{ar i}$  coeficiente de transmissão de calor, por convecção natural, nas superfícies externas da tubulação ( $i=1$ ) e do TCR (trecho sem isolamento externo,  $i=2$ ), W/m<sup>2</sup>°C
- $h_{ar 3}$  coeficiente de transmissão de calor, por convecção natural, na superfície externa do TCR (trecho sem isolamento externo), W/m<sup>2</sup>°C
- $A_i$  área da superfície interna da tubulação ( $i=1$ ) e do TCR (trecho com isolamento externo,  $i=1$ ), m<sup>2</sup>
- $A_3$  área da superfície interna do TCR (trecho sem isolamento externo), m<sup>2</sup>

$A_{e\ i}$  área da superfície externa da tubulação ( $i=1$ ) e do TCR (trecho com isolamento externo,  $i=2$ ),  $m^2$

$A_{e\ 3}$  área da superfície externa do TCR (trecho sem isolamento)  $m^2$

as diversas temperaturas estão definidas na figura 8 e as constantes  $K_{b1}$ ,  $K_{b2}$  e  $K_{b1\ell}$  são definidas pela equação (3a)



Trocador de Calor Regenerativo (trecho sem isolamento).

Trocador de Calor Regenerativo (trecho isolado externamente).

Tubulação entre a bifurcação e o Trocador de Calor Regenerativo.

FIGURA 3 - Esquema da Tubulação entre a bifurcação e o Trocador de Calor Regenerativo.

#### 2.4.4 - Trocador de Calor Regenerativo

Trata-se de um Trocador de Calor de passe único para os tubos e para a carcaça. É do tipo de correntes opostas e tem defletores do tipo disco e anel conforme ilustração da figura 9. O gás frio, vindo da bifurcação, entra pela parte inferior esquerda e circula pela passagem anular existente entre a carcaça e o recipiente interno. A carcaça suporta a alta pressão de operação no interior do CH, motivo pelo qual necessita do arrefecimento interno promovido pela circulação do gás frio na passagem anular. Ao atingir a parte superior o gás desce pelos tubos, recebendo um pré-aquecimento, e deixa o TCR pela parte inferior direita, em direção ao Aquecedor. O gás quente, entrando pela parte inferior do conjunto, percorre o TCR sob a ação dos defletores e vai juntar-se ao gás frio proveniente do circuito de arrefecimento do Aquecedor.

Para ambos os lados deste componente, aplica-se a equação ( $\theta$ )

$$M c \frac{dT}{dt} = \dot{m}_{hq} c_{ph} (T_1 - T_{2l}) + U_{tr} A_{tr} \Delta T_{tr} = 0 \quad (28)$$

$$M c \frac{dT}{dt} = \dot{m}_{hq} c_{ph} (T_3 - T_4) - U_{tr} A_{tr} \Delta T_{tr} = 0 \quad (29)$$

onde:

$T_1$  temperatura do gás hélio ao entrar nos tubos do TCR, °C

$T_{2l}$  temperatura do gás hélio ao sair dos tubos do TCR, °C

$T_3$  temperatura do gás hélio ao entrar no TCR, °C

$T_4$  temperatura do gás hélio ao sair do TCR, °C

$U_{tr}$  coeficiente global de transmissão de calor no TCR, W/m<sup>2</sup>°C

$A_{tr}$  área da superfície externa dos tubos,  $m^2$

$\Delta T_{tr}$  diferença de temperatura média entre os fluídos no TCR,  $^{\circ}C$

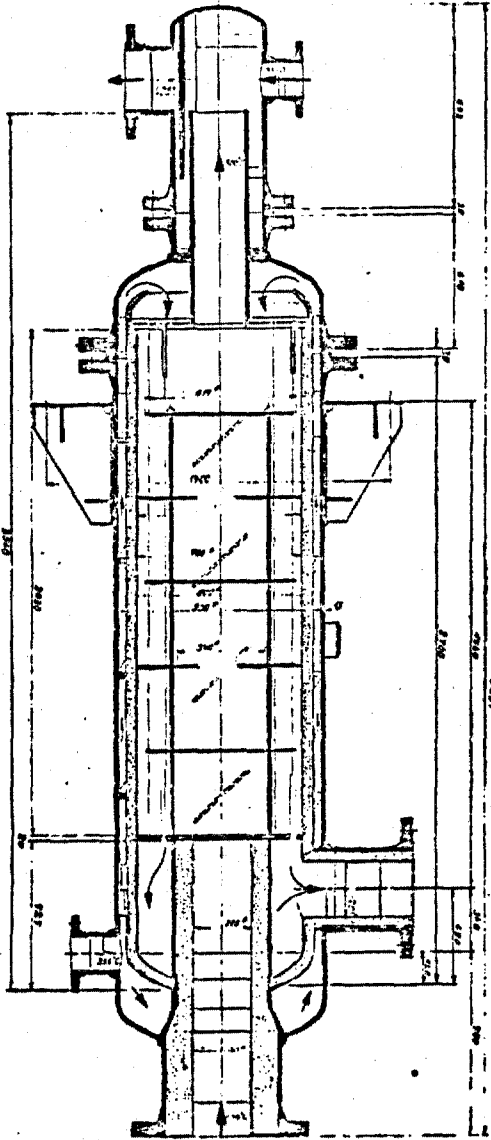


FIGURA 9 - Trocador de Calor Regenerativo

#### 2.4.5 - Tubulação entre o Trocador de Calor Regenerativo e o Aquecedor - Parte F

Trata-se de uma tubulação própria para a condução de gás quente. Essa tubulação tem isolamento interno para evitar que se tenha, simultaneamente, altas pressões e temperaturas na parede metálica do tubo (figura 2). Tal isolamento forma uma barreira para o fluxo de calor entre o gás e a parede metálica, mantendo sua temperatura abaixo de limites pré-estabelecidos.

A massa de metal nas junções é mais que duas vezes maior que a da tubulação propriamente dita e, além disso, a transmissão de calor é bem mais lenta devido a sua maior espessura. É conveniente, portanto, a separação desta parte em dois componentes, conforme o esquema ilustrado na figura 10.

Em ambos os casos, aplica-se as equações (5), (6) e (7), e para o gás a equação (4):

Gás:

$$M c \frac{dT}{dt} = \dot{m}_{hg} c_{ph} (T_{2\ell} - T_2) - h_1 A_1 \left( \frac{T_{2\ell} + T_2}{2} - T_{w\delta 1} \right) - h_2 A_2 \left( \frac{T_{2\ell} + T_2}{2} - T_{w\delta 1\ell} \right) = 0 \quad (30)$$

Tubulação:

$$M c \frac{dT}{dt} \delta 12 = h_1 A_1 \left( \frac{T_{2\ell} + T_2}{2} - T_{w\delta 1} \right) - K_{\delta 1} (T_{w\delta 1} - T_{w\delta 2}) \quad (31)$$

$$M c \frac{dT}{dt} \delta 23 = K_{\delta 1} (T_{w\delta 1} - T_{w\delta 2}) - K_{\delta 2} (T_{w\delta 2} - T_{w\delta 3}) = 0 \quad (32)$$

$$h_{ar} A_e (T_{w\delta 3} - T_{ar}) - K_{\delta 2} (T_{w\delta 2} - T_{w\delta 3}) = 0 \quad (33)$$

$$T_{f12} = \frac{T_{wf1} + T_{wf2}}{2} \quad (34)$$

Junções:

$$\frac{dT}{dt} f_{12L} = h_1 A_2 \left( \frac{T_2 + T_{2L}}{2} - T_{wf1L} \right) - K_{f1L} (T_{wf1L} - T_{wf2L}) \quad (35)$$

$$M c \frac{dT}{dt} f_{23L} = K_{f1L} (T_{wf1L} - T_{wf2L}) - K_{f2L} (T_{wf2L} - T_{wf3L}) \quad (36)$$

$$h_{ar} A_e (T_{wf3L} - T_{ar}) - K_{f2L} (T_{wf2L} - T_{wf3L}) = 0 \quad (37)$$

$$T_{f23L} = \frac{T_{wf2L} + T_{wf3L}}{2} \quad (38)$$

$$T_{f12L} = \frac{T_{wf1L} + T_{wf2L}}{2} \quad (39)$$

Nas equações acima:

$T_2$  temperatura do gás ao entrar no Aquecedor, °C

$T_{2L}$  temperatura do gás ao sair do TCR, °C

$h_i$  coeficiente de transmissão de calor por convecção forçada, W/m<sup>2</sup>°C

$h_{ar i}$  coeficiente de transmissão de calor por convecção natural, W/m<sup>2</sup>°C

$A_i$  área de troca de calor da superfície interna, m<sup>2</sup>

$A_{e i}$  área de troca de calor da superfície externa, m<sup>2</sup>

as diversas temperaturas estão definidas na figura 10 e as constantes  $K_{\delta 1}$ ,  $K_{\delta 2}$ ,  $K_{\delta 1L}$  e  $K_{\delta 2L}$  são definidas pela equação (3a) para o sub-componente correspondente.

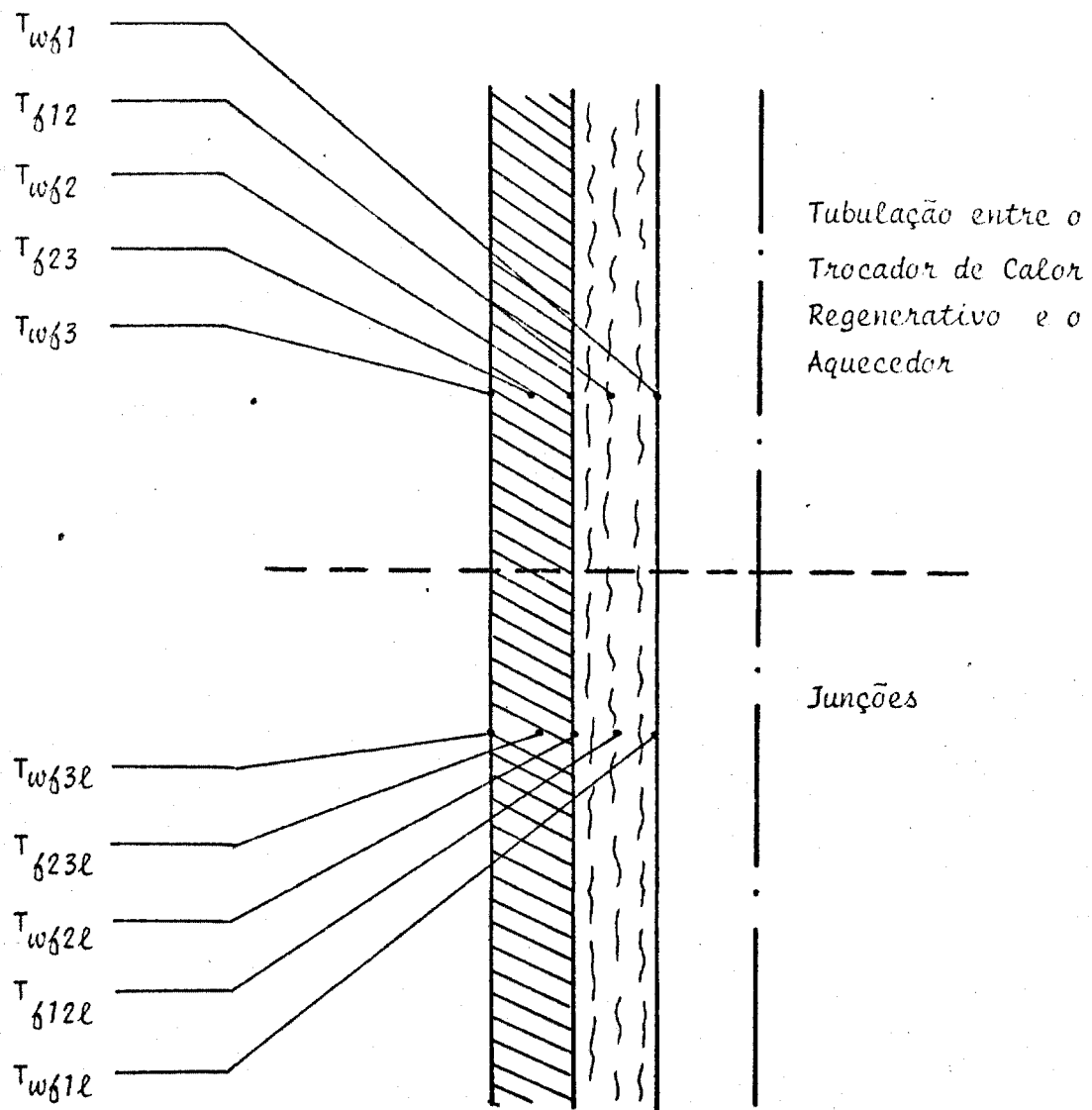


FIGURA 10 - Esquema da tubulação entre o  
TCR e o Aquecedor

#### 2.4.6 - Aquecedor

O Aquecedor é composto por três partes funcionalmente distintas, o recipiente de pressão, o recipiente interno e o grupo aquecedor propriamente dito, conforme ilustrado na figura 11.

Sob o ponto de vista estrutural, é claro que deve-se evitar que os materiais que suportam altas pressões (até 20 bar) estejam, também, sujeitos a altas temperaturas. O recipiente interno é isolado, do mesmo modo que os tubos de gás quente, promovendo assim, a separação entre o gás que entra no Aquecedor (pré-aquecido no TCR) e o recipiente retentor de pressão. A passagem anular existente entre os dois recipientes é percorrida por gás frio, também em alta pressão, tendo a dupla função de evitar pressões no recipiente interno e arrefecimento da parede interna do recipiente externo.

O grupo aquecedor é composto por blocos de cerâmica refratária, agrupados na forma apresentada na figura 12. Nos 402 canais existentes nos blocos de cerâmica refratária estão colocadas as fitas metálicas aquecedoras, torcidas em espiral.

O gás, previamente aquecido no TCR, entra pela parte inferior do recipiente interno e sobe pela passagem existente entre este vaso e as paredes do grupo aquecedor até atingir a parte superior do conjunto, onde, então, toma o sentido inverso, descendo pelos canais dos blocos cerâmicos refratários. Nesses canais, vistos em detalhe na figura 12, a potência elétrica dissipada nas fitas aquecedoras é transferida, sob a forma de calor, ao gás do circuito principal. De forma a simplificar o modelo, considera-se que toda a energia elétrica é transmitida diretamente ao gás. Parte dessa energia é, entretanto, cedida para o aquecimento dos blocos do material refratário.

O balanço de energia para o gás no Aquecedor é dado pela equação (4):

$$M c \frac{dT}{dt} = \dot{m}_{hg} c_{ph} (T_2 - T_{3\ell}) + h_{cer} A_{cer} (T_6 - \frac{T_2 + T_{3\ell}}{2}) + Q=0 \quad (40)$$

onde:

$T_{3l}$	temperatura do gás ao sair do Aquecedor, °C
$T_2$	temperatura do gás ao entrar no Aquecedor, °C
$T_6$	temperatura média do bloco cerâmico refratário, °C
$h_{cer}$	coeficiente de transmissão de calor por convecção radial entre o gás e a superfície cerâmica, W/m <sup>2</sup> °C
$A_{cer}$	área de troca de calor da superfície cerâmica, m <sup>2</sup>

A temperatura nas fitas metálicas aquecedoras é um parâmetro importante na operação do Circulador de Hélio. Seu cálculo pode ser feito supondo que todo o calor é transmitido ao gás somente por convecção a través de um balanço de energia conforme a equação (4):

$$Q = h_{fitas} A_{fitas} (T_{fitas} - \frac{T_{3l} + T_2}{2}) = 0 \quad (41)$$

onde:

$A_{fitas}$	área de troca de calor da superfície das fitas metálicas aquecedoras, m <sup>2</sup>
$T_{fitas}$	temperatura média das fitas metálicas aquecedoras, °C
$h_{fitas}$	coeficiente de transmissão de calor por convecção entre o gás e a superfície das fitas metálicas aquecedoras, W/m <sup>2</sup> °C

Os cálculos do coeficiente de transmissão de calor por convecção ( $h_{fitas}$ ) e da área da superfície de troca de calor ( $A_{fitas}$ ) foram feitos como se as fitas metálicas aquecedoras não fossem torcidas. Os valores reais são, certamente, maiores do que estas estimativas devido à turbulência adicional causada pelas torções e a maior área da superfície de troca de calor, o que garante que a temperatura real nas fitas metálicas aquecedoras está abaixo do valor calculado pela equação correspondente.

A temperatura média dos blocos de material refratário é obtida pelo caso da equação (5), na qual o termo de transmissão de calor por condução é desprezado, pois considera-se que em todos os blocos a temperatura é a mesma e igual a da superfície:

$$M c \frac{dT}{dt} = h_{cer} A_{cer} \left( \frac{T_2 + T_{3l}}{2} - T_6 \right) \quad (42)$$

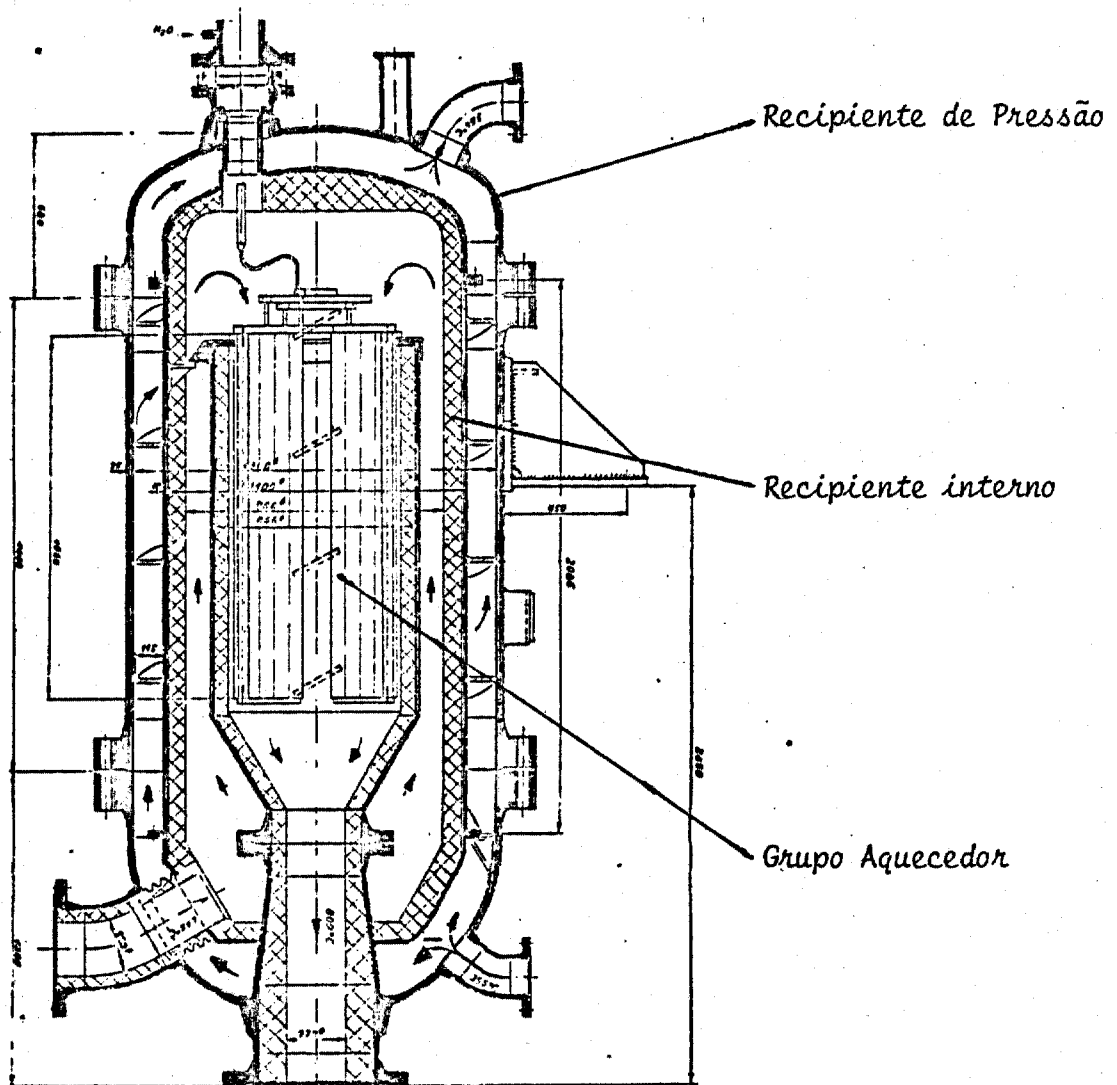


FIGURA 11 - Aquecedor

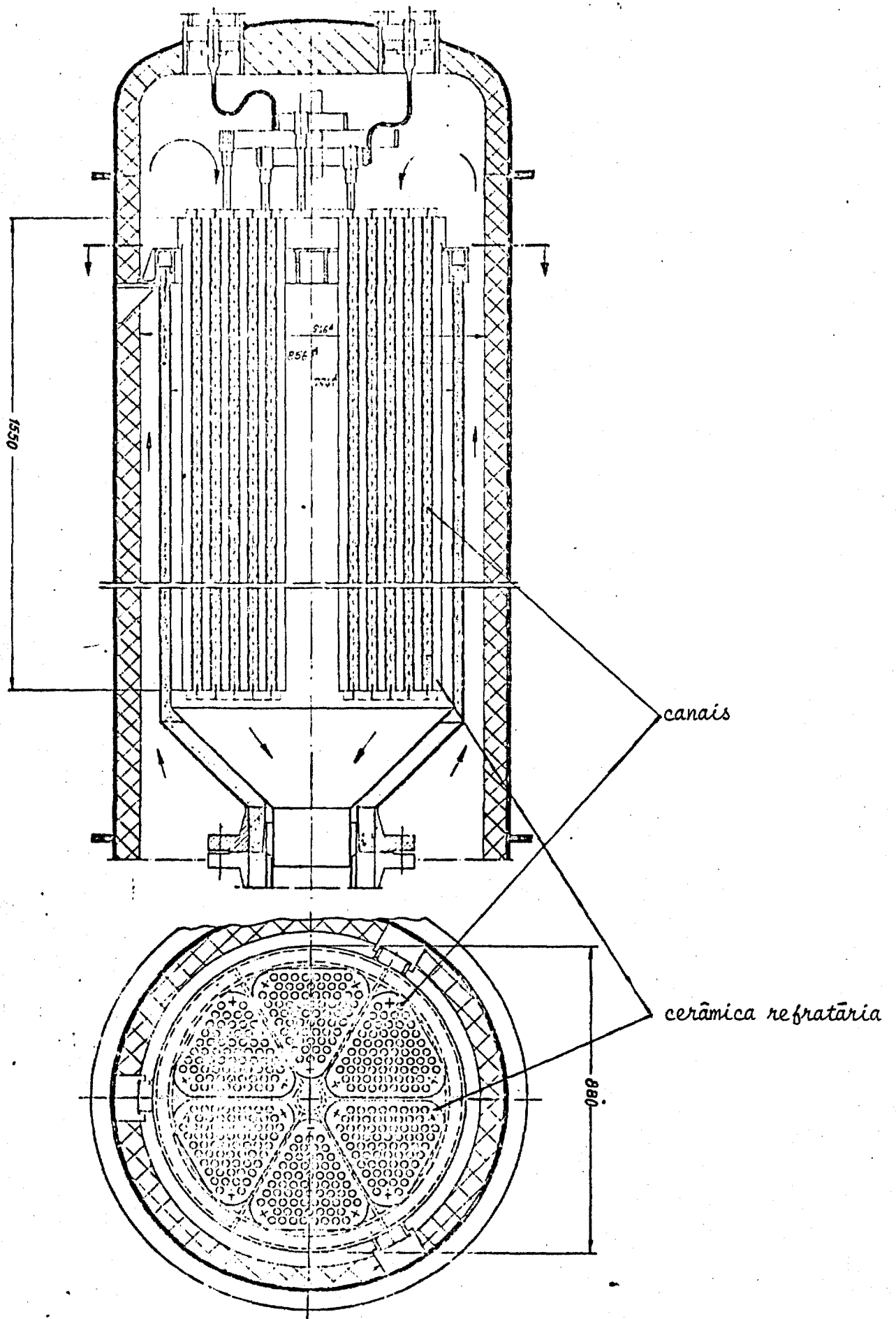


FIGURA 12 - Recipiente Interno e Grupo Aquecedor

#### 2.4.7 - Tubulação entre o Aquecedor e o Trocador de Calor Regenerativo (inclui a Seção de Teste) - (G)

Esta primeira parte engloba a tubulação que conduz o gás até a Seção de Teste (ST), a própria ST e a tubulação que conduz o gás desta ao Trocador de Calor Regenerativo. Do mesmo modo que foi considerado para a parte F, foram separados os tubos das junções resultando - assim, três componentes distintos para esta parte: tubos, junções e ST.

A ST (figura 14) é similar aos tubos de gás quente, apresentando como diferença fundamental o fato de que esta é circundada por quatro serpentinas de arrefecimento independentes. Além do isolamento interno, ela também está isolada externamente.

A figura 13 apresenta o esquema normalizado para esta parte. Para os tubos e junções aplica-se as equações (5), (6) e (7), e para o gás a equação (4).

Para a ST aplica-se as equações (5), (6) e (7), sendo que nesta última, ao invés do coeficiente de transmissão de calor por convecção natural, da área da superfície externa da ST e da temperatura ambiente, foram usados, respectivamente, o coeficiente de transmissão de calor por convecção forçada nos tubos das serpentinas, a área da superfície de troca de calor das mesmas e as temperaturas médias da água de arrefecimento de cada serpentina. Desta forma, não se considerou as perdas de calor para o meio ambiente, já que o isolamento externo reduz esse fluxo de calor a valores desprezíveis. Para calcular a temperatura da água de arrefecimento na saída de cada uma das serpentinas, aplica-se quatro vezes a equação (4).

**Gás:**

$$M c \frac{dT}{dt} = \dot{m}_{hg} c_{ph} (T_{3l} - T_3) - h_1 A_1 \left( \frac{T_{3l} + T_3}{2} - T_{wg1} \right) - h_2 A_2 \left( \frac{T_{3l} + T_3}{2} - T_{wg1l} \right) - h_3 A_3 \left( \frac{T_{3l} + T_3}{2} - T_{g1} \right) = 0 \quad (43)$$

Tubos:

$$M c \frac{dT}{dt} = h_1 A_1 \left( \frac{T_{3\ell} + T_3}{2} - T_{wg1} \right) - K_{g1} (T_{wg1} - T_{wg2}) \quad (44)$$

$$M c \frac{dT}{dt} = K_{g1} (T_{wg1} - T_{wg2}) - K_{g2} (T_{wg2} - T_{wg3}) = 0 \quad (45)$$

$$h_{ar1} A_{e1} (T_{wg3} - T_{ar}) - K_{g2} (T_{wg2} - T_{wg3}) = 0 \quad (46)$$

$$T_{g12} = \frac{T_{wg1} + T_{wg2}}{2} \quad (47)$$

Junções:

$$M c \frac{dT}{dt} 1g2 = h_3 A_3 \left( \frac{T_3 + T_{3\ell}}{2} - T_{g1} \right) - K_{g1\ell} (T_{g1} - T_{g2}) \quad (48)$$

$$M c \frac{dT}{dt} 2g3 = K_{g1\ell} (T_{g1} - T_{g2}) - K_{g2\ell} (T_{g2} - T_{g3}) \quad (49)$$

$$h_{ar2} A_{e2} (T_{g3} - T_{ar}) - K_{g2\ell} (T_{g2} - T_{g3}) = 0 \quad (50)$$

$$T_{1g2} = \frac{T_{g1} + T_{g2}}{2} \quad (51)$$

$$T_{2g3} = \frac{T_{g2} + T_{g3}}{2} \quad (52)$$

Seção de Teste:

$$M c \frac{dT}{dt} g_{12l} = h_2 A_2 \left( \frac{T_{3l} + T_3}{2} - T_{wg1l} \right) - K_{g1ll} (T_{wg1l} - T_{wg2l}) \quad (53)$$

$$M c \frac{dT}{dt} g_{23l} = K_{g1ll} (T_{wg1l} - T_{wg2l}) - K_{g2ll} (T_{wg2l} - T_{wg3l}) = 0 \quad (54)$$

$$T_{g12l} = \frac{T_{wg1l} + T_{wg2l}}{2} \quad (55)$$

$$\begin{aligned} & h_1 A_1 (T_{wg3l} - \frac{T_{71} + T_{in}}{2}) + h_2 A_2 (T_{wg3l} - \frac{T_{72} + T_{in}}{2}) + \\ & + h_3 A_3 (T_{wg3l} - \frac{T_{73} + T_{in}}{2}) + h_4 A_4 (T_{wg3l} - \frac{T_{74} + T_{in}}{2}) - \\ & - K_{g2ll} (T_{wg2l} - T_{wg3l}) = 0 \end{aligned} \quad (56)$$

$$M c \frac{dT}{dt} = \dot{m}_{\bar{a}gua1} c_p \bar{a}gua (T_{in} - T_{71}) - h_1 A_1 \left( \frac{T_{71} + T_{in}}{2} - T_{wg3l} \right) = 0 \quad (57)$$

$$M c \frac{dT}{dt} = \dot{m}_{\bar{a}gua2} c_p \bar{a}gua (T_{in} - T_{72}) - h_2 A_2 \left( \frac{T_{72} + T_{in}}{2} - T_{wg3l} \right) = 0 \quad (58)$$

$$M c \frac{dT}{dt} = \dot{m}_{\bar{a}gua3} c_p \bar{a}gua (T_{in} - T_{73}) - h_3 A_3 \left( \frac{T_{73} + T_{in}}{2} - T_{wg3l} \right) = 0 \quad (59)$$

$$M c \frac{dT}{dt} = \dot{m}_{\bar{a}gua4} c_p \bar{a}gua (T_{in} - T_{74}) - h_4 A_4 \left( \frac{T_{74} + T_{in}}{2} - T_{wg3l} \right) = 0 \quad (60)$$

Nas equações apresentadas:

$T_3$	temperatura do gás ao entrar no TCR, °C
$T_{in}$	temperatura da água de arrefecimento ao entrar nas serpentinas, °C
$h_i$	coeficiente de transmissão de calor por convecção no interior de componente ( $i$ ), $W/m^2\text{°C}$
$A_i$	área da superfície interna de troca de calor do componente ( $i$ ), $m^2$
$h_{ar\ i}$	coeficiente de transmissão de calor por convecção natural na superfície externa do componente ( $i$ ), $W/m^2\text{°C}$
$A_{ei}$	área da superfície externa de troca de calor do componente ( $i$ ), $m^2$
$i = 1$	tubos
2	ST
3	junções
$h_j$	coeficiente de transmissão de calor por convecção no interior da serpentina ( $j$ ), $W/m^2\text{°C}$
$A_j$	área da superfície interna de troca de calor da serpentina ( $j$ ), $m^2$
$\dot{m}_{\text{água } j}$	vazão da água de arrefecimento na serpentina ( $j$ ), $Kg/seg$
$j=1,2,3$ e 4	serpentina 1,2,3 e 4, respectivamente.

as diversas temperaturas estão definidas na figura 13 e as constantes  $K_{g1}$ ,  $K_{g2}$ ,  $K_{g1l}$ ,  $K_{g2l}$ ,  $K_{g1ll}$  e  $K_{g2ll}$  são definidas pela equação (3a) para os sub-componentes correspondentes.

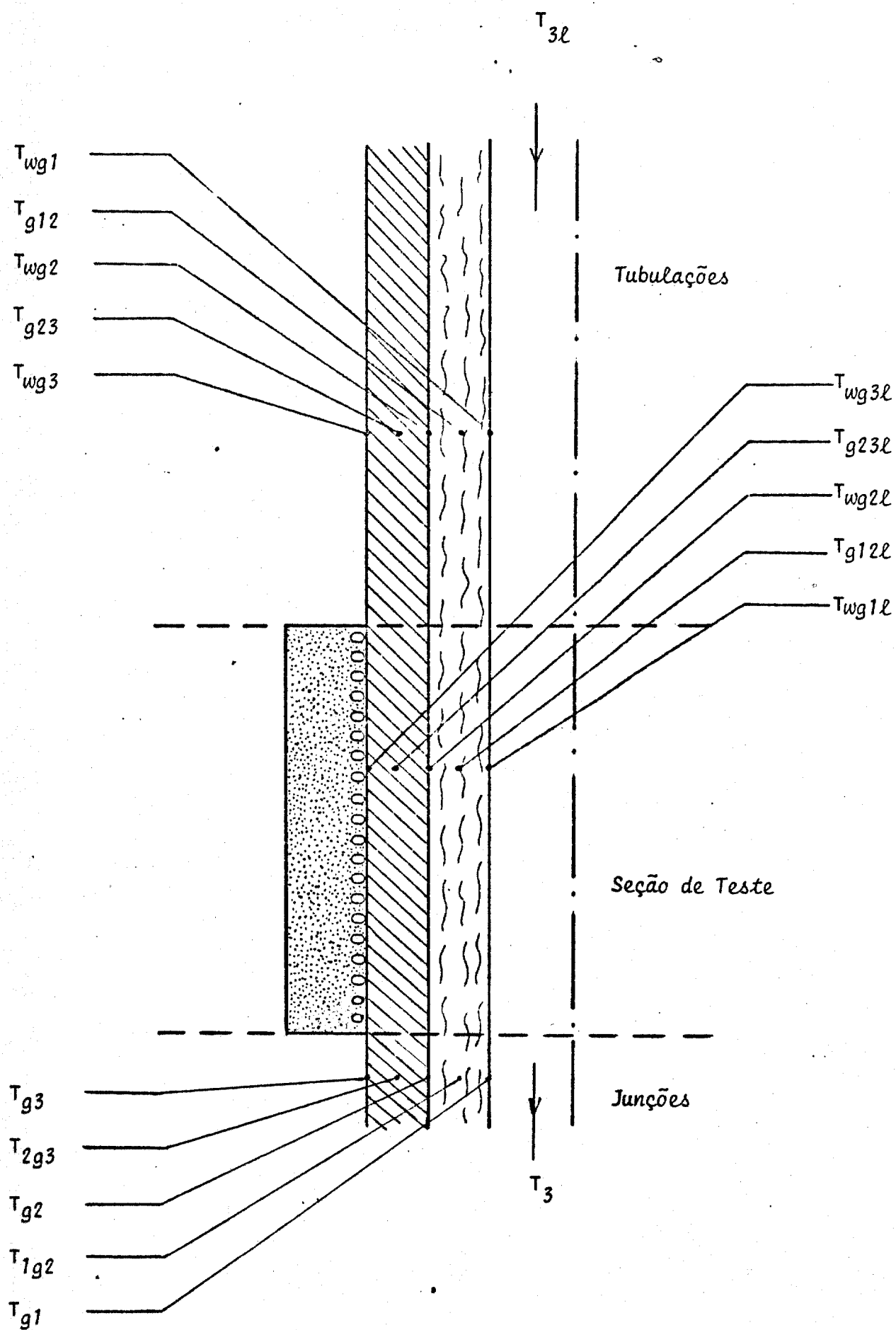


FIGURA 13 - Esquema do trecho entre o Aquecedor e o TCR (inclui a ST)

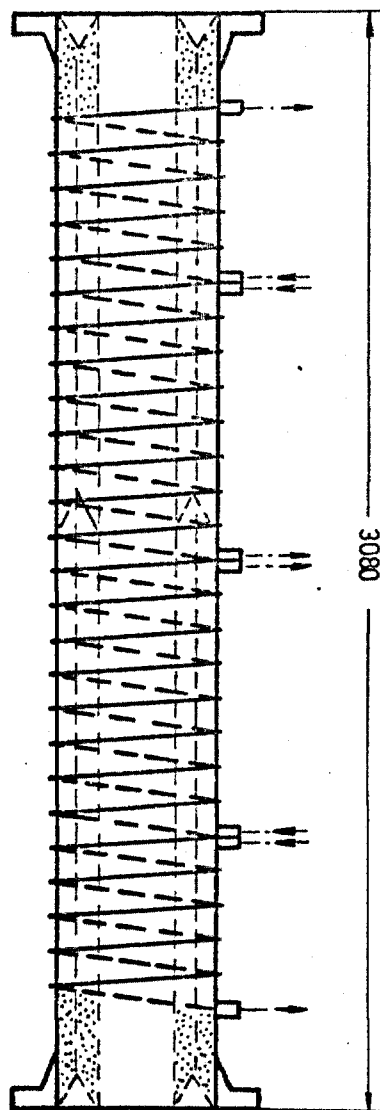


FIGURA 14 - Seção de Teste

#### 2.4.8 - Tubulação entre o Misturador e o Resfriador (J)

O esquema básico normalizado está ilustrado na figura 15. O misturador é acoplado à parte superior do Trocador de Calor Regenerativo, conforme ilustrado na figura 9. O gás, deixando esse componente, percorre a tubulação e entra no Resfriador pela parte superior direita como indicado na figura 5. Devido a grande massa de metal do Misturador e da parte citada do Resfriador, eles são importantes nos regimes transientes do CH. É necessária portanto, a inclusão desses componentes nesta parte.

Para o gás, aplica-se a equação (4), para a tubulação (isolada externamente), as equações (5), (6) e (7), e para os dois componentes, por não terem isolamento externo, apenas as equações (5) e (7).

Gás:

$$M c \frac{dT}{dt} = \dot{m}_{ht} c_{ph} (T_{8l} - T_g) - \sum_{i=1}^2 h_i A_i \left( \frac{T_{8l} + T_g}{2} - T_{wj1l} \right) - h_3 A_3 \left( \frac{T_{8l} + T_g}{2} - T_{wj1} \right) = 0 \quad (61)$$

Tubulação:

$$M c \frac{dT_{j12}}{dt} = h_3 A_3 \left( \frac{T_{8l} + T_g}{2} - T_{wj1} \right) - K_{j1} (T_{wj1} - T_{wj2}) = 0 \quad (62)$$

$$M c \frac{dT_{j23}}{dt} = K_{j1} (T_{wj1} - T_{wj2}) - K_{j2} (T_{wj2} - T_{wj3}) = 0 \quad (63)$$

$$h_{ar3} A_{e3} (T_{wj3} - T_{ar}) - K_{j2} (T_{wj2} - T_{wj3}) = 0 \quad (64)$$

Componentes:

$$M c \frac{dT_{j12l}}{dt} = \sum_{i=1}^2 h_i A_i \left( \frac{T_{8l} + T_g}{2} - T_{wj1l} \right) - K_{j1l} (T_{wj1l} - T_{wj2l}) \quad (65)$$

$$\sum_{i=1}^2 h_{ari} A_{ei} (T_{wj2l} - T_{ar}) - K_{j1l} (T_{wj1l} - T_{wj2l}) = 0 \quad (66)$$

$$T_{j12l} = \frac{T_{wj1l} + T_{wj2l}}{2} \quad (67)$$

Nas equações apresentadas acima:

$T_g$	temperatura do gás ao entrar no Resfriador, °C
$T_{8l}$	temperatura do gás ao sair do Misturador, °C
$h_i$	coeficiente de transmissão de calor por convecção - no interior do componente ( $i$ ), W/m <sup>2</sup> °C
$h_{ari}$	coeficiente de transmissão de calor por convecção - natural na superfície externa do componente ( $i$ ), W/m <sup>2</sup> °C
$A_i$	área da superfície interna de troca de calor no componente ( $i$ ), m <sup>2</sup>
$A_{ei}$	área da superfície externa de troca de calor no componente ( $i$ ), m <sup>2</sup>
$i =$	
1	Misturador
2	parte superior direita do Resfriador
3	tubos

as diversas temperaturas estão definidas na figura 15 e as constantes  $K_{j1}$ ,  $K_{j2}$  e  $K_{j12}$  são definidas pela equação (3a) para o sub-componente em questão.

Nas operações do CH antes da instalação do "By-pass", a tubulação deste trecho era desprovida de isolamento externo. Uma das operações simuladas para a apresentação neste trabalho foi anterior à introdução do "By-pass" e foi necessário, portanto, modificar as equações acima. Neste caso, foram retiradas do programa as três equações referentes à tubulação e, em substituição, a somatória das equações para os componentes foi feita de  $\lambda=1$  a 3, onde o terceiro termo representa a tubulação sem o isolamento térmico.

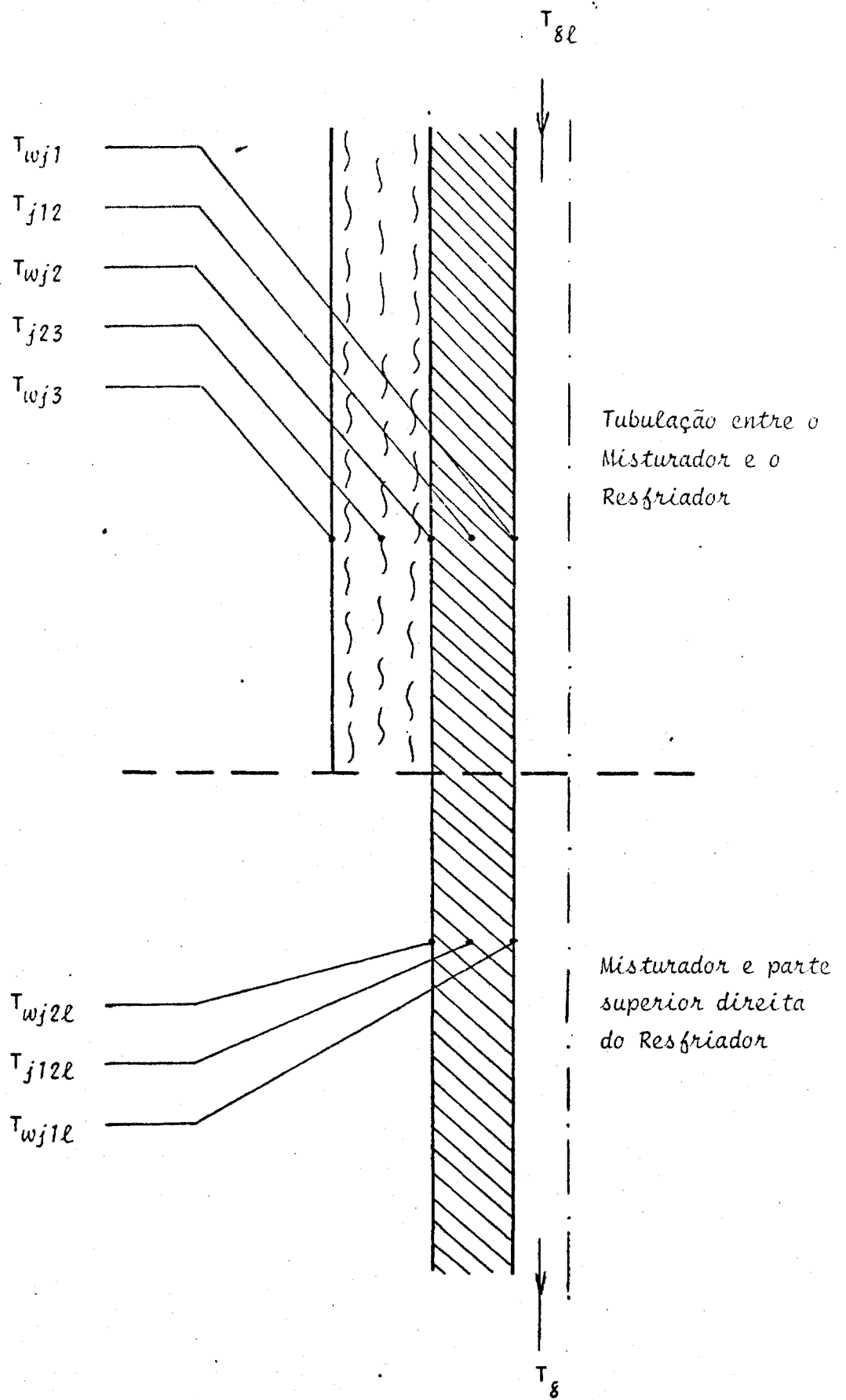


FIGURA 15 - Esquema da tubulação entre o Misturador e o Resfriador

#### 2.4.9 - Tubulação entre a bifurcação e o Aquecedor e a tubulação entre o Aquecedor e o Misturador (S)

Como explicado anteriormente, esta parte do CH tem a finalidade de evitar que as paredes do Aquecedor fiquem, simultaneamente, sujeitas a altas pressões e temperaturas. O esquema desta parte é bastante simples, conforme ilustração da figura 16. O gás, proveniente da bifurcação, circula na passagem anular existente entre os recipientes interno e de pressão do Aquecedor seguindo, então, para o Misturador.

Para o gás, aplica-se a equação (4) e para as tubulações e o Aquecedor, as equações (5), (6) e (7).

**Gás:**

$$M c \frac{dT}{dt} = \dot{m} h_f c_{ph} (T_5 - T_{1ell}) - \sum_{i=1}^3 h_i A_i \left( \frac{T_5 + T_{1ell}}{2} - T_{ws1} \right) = 0 \quad (68)$$

**Tubulações e carcaça do Aquecedor:**

$$M c \frac{dT_{ws12}}{dt} = \sum_{i=1}^2 h_i A_i \left( \frac{T_5 + T_{1ell}}{2} \right) - K_{s1} (T_{ws1} - T_{ws2}) \quad (69)$$

$$M c \frac{dT_{ws23}}{dt} = K_{s1} (T_{ws1} - T_{ws2}) - K_{s2} (T_{ws2} - T_{ws3}) \quad (70)$$

$$\sum_{i=1}^3 h_{ar i} A_{ei} (T_{ws3} - T_{ar}) - K_{s2} (T_{ws2} - T_{ws3}) = 0 \quad (71)$$

onde:

$T_{1ll}$	temperatura do gás ao entrar no Misturador, °C
$\dot{m}_{hf}$	vazão de hélio no circuito de arrefecimento do Aquecedor, Kg/seg.
$h_i$	coeficiente de transmissão de calor por convecção no interior do componente ( $i$ ), W/m <sup>2</sup> °C
$h_{ar\ i}$	coeficiente de transmissão de calor por convecção natural na superfície externa do componente ( $i$ ), W/m <sup>2</sup> °C
$A_i$	área da superfície interna de troca de calor no componente ( $i$ ), m <sup>2</sup>
$A_{e\ i}$	área da superfície externa de troca de calor no componente ( $i$ ), m <sup>2</sup>
$i =$	
1	tubulação entre a bifurcação e o Aquecedor
2	Aquecedor
3	tubulação entre o Aquecedor e o Misturador

as diversas temperaturas estão definidas na figura 16 e as constantes  $K_{s1}$  e  $K_{s2}$  são definidas pela equação (3a) para o sub-componente em questão.

As parcelas de gás quente e frio, provenientes, respectivamente, do TCR e do circuito de arrefecimento do Aquecedor, encontram-se no Misturador e seguem para o Resfriador. Para o cálculo da temperatura do gás ao sair do Misturador, aplica-se a equação (9), que representa um balanço de energia conforme ilustração da figura 4.

$$\dot{m}_{ht} T_{8l} = \dot{m}_{hq} T_4 + \dot{m}_{hf} T_{1ll} \quad (72)$$

onde:

$T_{8l}$  é a temperatura do gás ao deixar o Misturador, °C

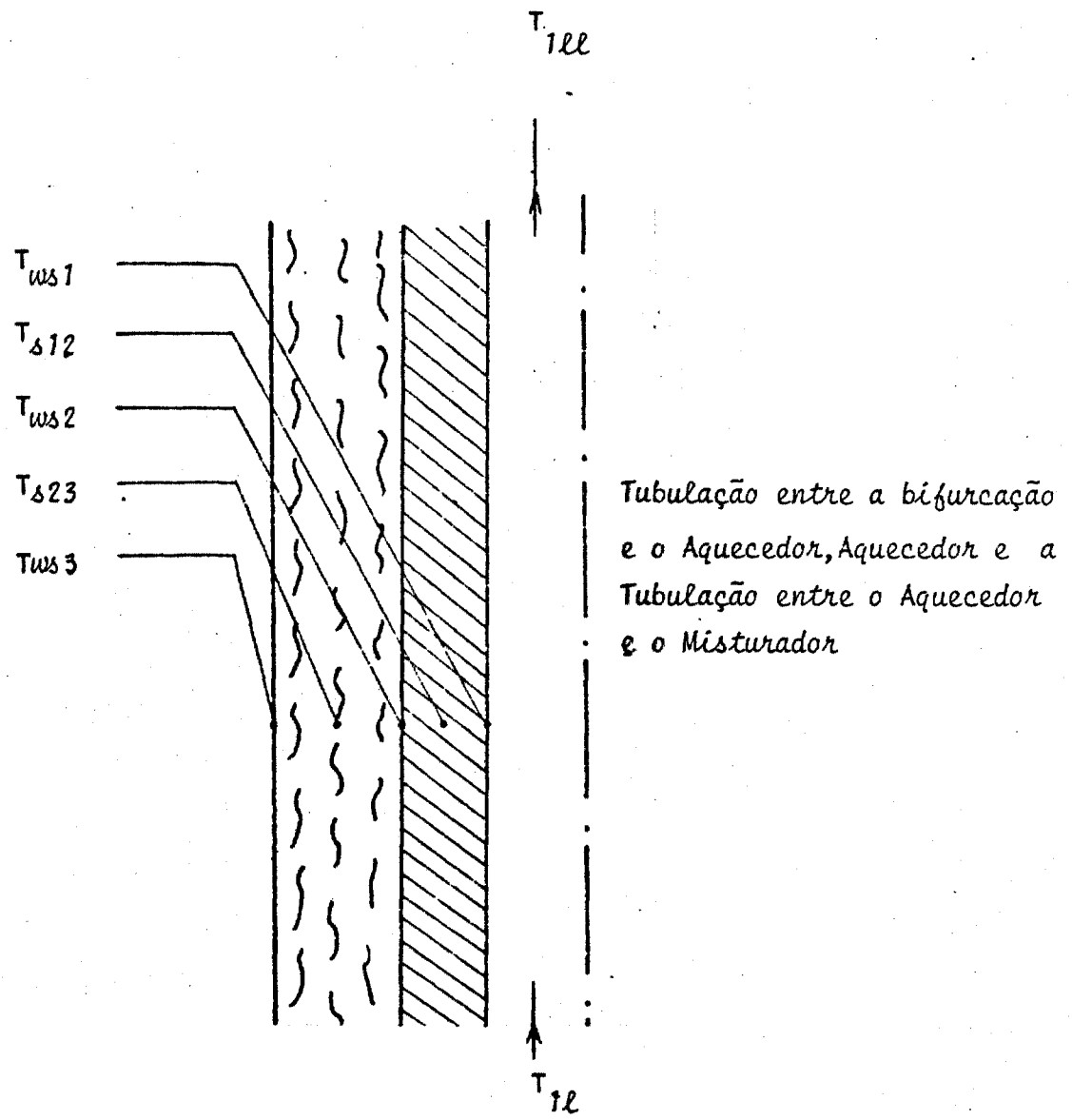


FIGURA 16 - Esquema da tubulação entre a bifurcação e o Misturador

## 2.5 - Programação

### 2.5.1 - "Continuous System Modeling Program - CSMP"

As solução numérica do modelo foi obtida utilizando-se o S/360 - CSMP (SUSTEM/360 Continuous System Modeling Program) que é um programa elaborado pela IBM. O S/360 - CSMP resolve sistemas de equações diferenciais ordinárias de primeiro grau com valores iniciais e permite também, que se incluam equações algébricas. A linguagem de entrada do S/360-CSMP permite a preparação das declarações de estrutura, que descrevem o sistema físico, a partir de diagramas de bloco ou de um conjunto de equações diferenciais na sua forma analítica.

O programa inclui um conjunto básico de 34 blocos funcionais e permite ao usuário a definição de novos blocos para atender as necessidades particulares de sua simulação. Nesse conjunto básico de blocos funcionais estão incluídos componentes comuns em computadores analógicos como, por exemplo, integradores. Funções especiais podem ser definidas através de programação FORTRAN ou, de uma forma mais simples, através do próprio S/360-CSMP. O S/360-CSMP também aceita declarações em FORTRAN.

Um tradutor converte automaticamente as declarações de estrutura usadas na programação em S/360-CSMP para a linguagem FORTRAN-IV, nível G

Duas características importantes do S/360-CSMP são o sequenciamento das declarações e a escolha do método de integração. Com poucas exceções, declarações de estrutura podem ser escritas em qualquer ordem e, como uma opção ao usuário, podem ser sequenciadas automaticamente pelo sistema, para estabelecer o fluxo correto de informações. A escolha do método de integração pode ser feita entre as seguintes:

- Milne predictor - corrector (quinta ordem)
- Runge-Kutta (quarta ordem)
- Simpson
- Adams (segunda ordem)

. Trapezoidal

. Retangular

Os dois primeiros permitem que o intervalo de integração seja ajustado automaticamente pelo sistema, para atender a um critério de erro especificado.

Uma outra característica importante é que o S/360-CSMP permite a inicialização de variáveis e parâmetros, isto é, um grupo de declarações de estrutura é executado somente uma vez no início da simulação. Geralmente há computações que devem ser efetuadas antes de cada simulação e, algumas vezes, depois de cada simulação. Por exemplo, certos parâmetros do modelo podem ser considerados básicos; parâmetros secundário e condições iniciais podem ser expressos como funções desses parâmetros básicos. A avaliação dessas funções é desejável somente uma vez em cada simulação.

Para atender a essas exigências o modelo é dividido em três segmentos INITIAL, DYNAMIC E TERMINAL que descrevem as computações a serem realizadas antes, durante e depois de cada simulação respectivamente. Cada um dos segmentos pode conter uma ou mais seções. Estas, por sua vez, contêm as declarações de estrutura que especificam a dinâmica do modelo e as computações associadas. As seções representam grupos de declarações de estrutura e podem ser programadas tanto na forma paralela (SORT), na qual um algoritmo SORT, interno ao S/360-CSMP, faz o sequenciamento correto do fluxo de informações, ou na forma sequenciada (NOSORT). A hierarquia estrutural está ilustrada na figura 17.

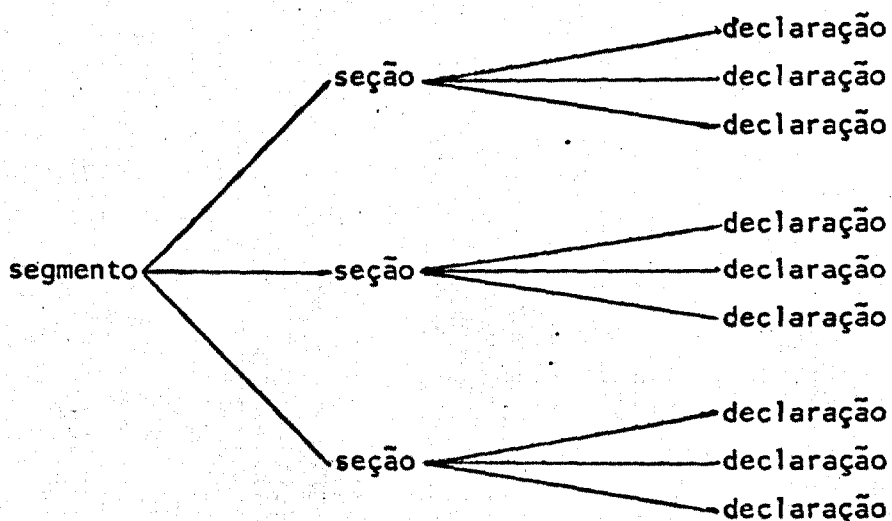


Figura 17 - Hierarquia estrutural do S/360-CSMP

O segmento INITIAL é exclusivo para computações de valores de condições iniciais e aqueles valores de parâmetros que o usuário prefere expressar em termos de parâmetros mais básicos. Este segmento é opcional e foi utilizado no presente trabalho.

O segmento DYNAMIC é normalmente o mais extenso do modelo. Este inclui uma descrição completa do sistema dinâmico. As declarações de estrutura neste segmento são, geralmente, uma mistura de declarações S/360-CSMP e FORTRAN:

O segmento TERMINAL é usado para computações desejadas depois de realizada a simulação. Geralmente é um cálculo simples baseado no valor final de uma ou mais variáveis. Este segmento também é opcional, não tendo sido empregado nesse trabalho.

## 2.5.2.- Estrutura do Modelo

O modelo matemático para simulação do CH foi estruturado em duas partes principais:

- Segmento INITIAL
- Segmento DYNAMIC

O segmento INITIAL é usado somente para computações de valores de condições iniciais, constantes básicas e parâmetros expressos em termos das constantes básicas. Neste segmento são fornecidas ao programa todas as constantes, como condutividades térmicas, diâmetros, áreas de troca de calor, massas, calores específicos e outras, necessárias à simulação. São calculados parâmetros, como áreas de seções transversais, constantes a serem usadas no cálculo dos coeficientes de transmissão de calor por convecção forçada e outros, que são constantes e não precisam ser calculados em cada passo ("step") de integração. É neste segmento que são fornecidos ao programa os valores experimentais das temperaturas, obtidos na operação do CH, para a posterior comparação com os dados obtidos pelo modelo. Esses valores entram na forma de tabelas como uma função do tempo. Os dados relativos às condições de operação também são introduzidos neste segmento, na forma de tabelas em função do tempo (vazão de hélio, potência do aquecedor, pressão de operação, vazões de água no resfriador e nas serpentinas arrefecimento da seção de teste, temperatura de entrada da água de arrefecimento e outros). Parâmetros que dependem da temperatura são tabelados em função desta e também entram no segmento INITIAL (viscosidades, condutividades térmicas e outros). Esquemáticamente:

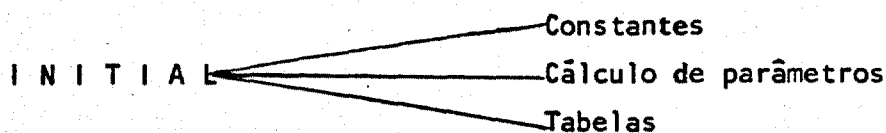


FIGURA 18 A - Segmento INITIAL

No segmento DYNAMIC as declarações são executadas em todos os passos de integração. Neste segmento são feitas as leituras dos dados relativos às condições de operação (vazões, potências e outras) nas tabelas definidas no segmento INITIAL. São calculados parâmetros que dependem do tempo, como os coeficientes de transferência de calor por convecção forçada e natural, viscosidades e condutividades do gás nos diversos pontos do CH e outros. O sistema de equações diferenciais não-lineares é resolvido por meio do método de integração escolhido e posteriormente é resolvido o sistema de equações algébricas não-lineares. No fim do segmento DYNAMIC são feitas as comparações dos valores obtidos pelo modelo de simulação do CH e os dados experimentais da operação correspondente. Esquemáticamente:

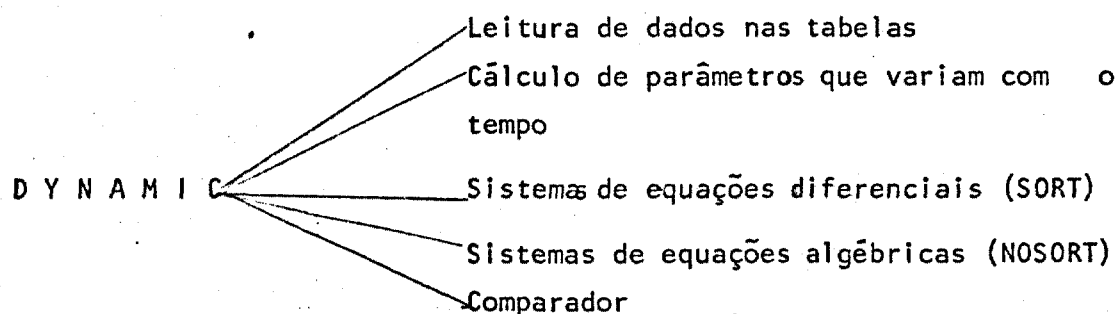


FIGURA 18 B - Segmento DYNAMIC

Em diagrama de blocos, o modelo pode ser representado como ilustrado na Figura 18.

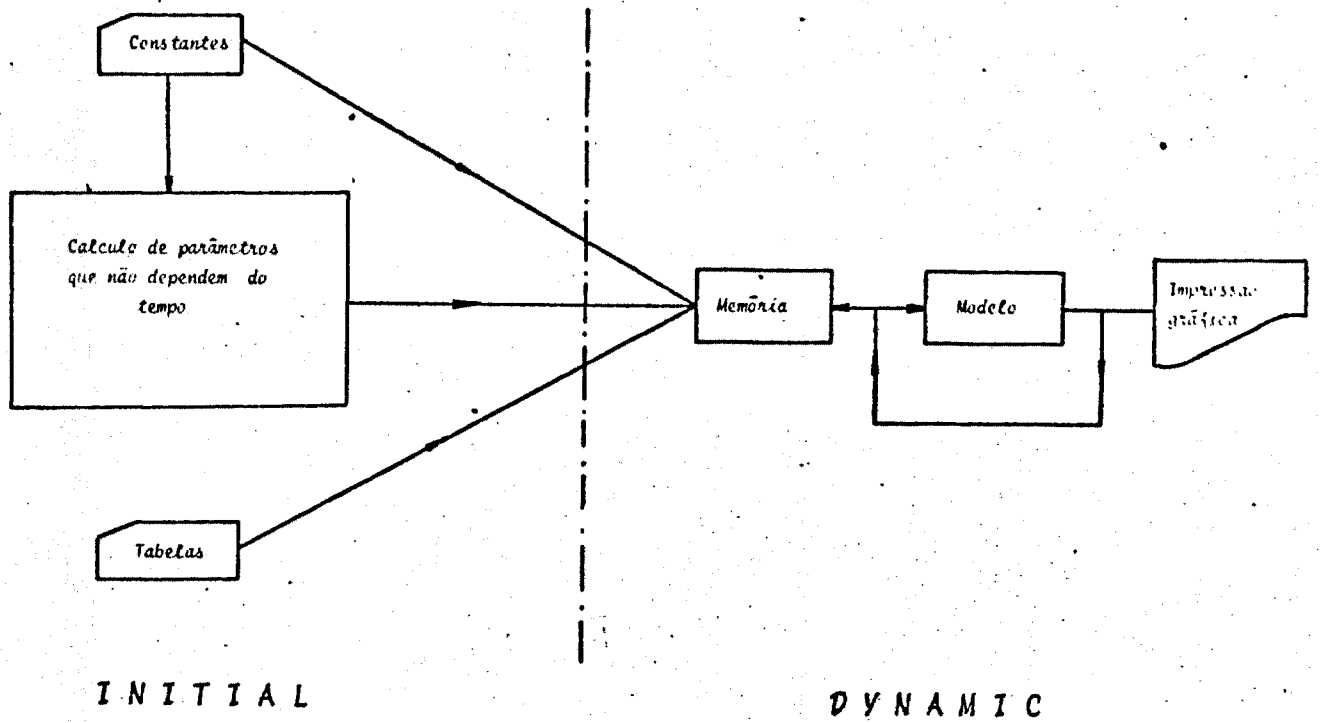


FIGURA 16 C - Diagrama de blocos do modelo

## 2.6 - Métodos de Integração

A seleção de um método de integração e o intervalo a ser usado para uma determinada simulação não pode ser feito casualmente, mas sim, somente depois de considerar uma série de fatores interrelacionados. O objetivo é escolher uma combinação de métodos e intervalo que irá fornecer a execução mais rápida dentro dos limites de precisão necessários.

Em geral, quanto maior a complexibilidade do método de integração, maior é o tempo de computador requerido para um único "step" de integração. Por outro lado, a estabilidade do método numérico também aumenta, permitindo maiores intervalos de integração. Portanto, numa gama de possibilidades devemos escolher aquela que nos dê o menor tempo para processar dentro da faixa de precisão necessária.

Basicamente, dois tipos de métodos de integração são fornecidos pelo S/360 - CSMP: passo-fixo e passo variável. O último faz automaticamente o ajuste do intervalo de integração para ser consistente com as exigências de erro dadas pelos comandos RELEER e ABSERR pelo usuário. Nesses métodos, a estimativa do erro é feita calculando  $Y(t + \Delta t)$  por duas fórmulas diferentes contendo termos de erros complementares e aplicando os resultados em uma equação de estimação. A vantagem desses métodos é que eles alcançam uma precisão especificada com o maior intervalo de integração possível.

Dois métodos de passo-variável são fornecidos no S/360 - CSMP:

- . MILNE fifth-order Predictor-Corrector

- . RUNGE-KUTTA fourth-order

Ambos são sofisticados e exigem bastante tempo de utilização do computador para um passo ("step") de integração. Eles têm a vantagem de assegurar soluções satisfatórias, mas, possivelmente, com um custo excessivo, se o critério de erro for muito exigente. Deve-se notar que o critério de erro pode ser fixado independentemente para cada integrador na simulação. Permite, portanto, que grandes exigências sejam feitas somente quanto necessárias.

Dentro dos métodos de pass-fixo disponíveis, as seguintes opções em ordem de complexibilidade decrescente, são fornecidas:

. RUNGE - KUTTA passo-fixo (RKSF)

. SIMPSON'S (SIMP)

. TRAPEZOIDAL (TRAPZ)

. ADAMS

. RETANGULAR (RECT)

Para um certo "step", a velocidade de solução seria na ordem inversa. Geralmente, entretanto, por razões de estabilidade, os métodos menos sofisticados requerem menores intervalos de integração para alcançar precisões da mesma ordem.

Se nenhum método de integração é especificado, o programa utiliza automaticamente o RKS (passo variável).

Comentários e comparações dos resultados obtidos por intermédio desses métodos, estão apresentados no capítulo 3.

## 2.7 - Coefficientes de Transmissão de Calor

Os coeficientes médios de transmissão de calor foram calculados a partir de correlações. Essas correlações estão disponíveis na maioria dos compêndios especializados.

### 2.7.1 - Coefficiente Global de Transmissão de Calor

Esses coeficientes, calculados para o Resfriador e o TCR, apresentam a seguinte forma:

$$\frac{1}{U_o D_o} = \frac{1}{D_o h_o} + \frac{\ln D_1/D_o}{2k} + \frac{1}{D_1 h_1}$$

onde:

- U<sub>o</sub>      coeficiente global de transmissão de calor, W/m °C
- D<sub>o</sub>      diâmetro externo dos tubos, m
- D<sub>1</sub>      diâmetro interno dos tubos, m
- k        condutibilidade térmica do material dos tubos, W/m °C
- h<sub>o</sub>      coeficiente de transmissão de calor por convecção na su perfície externa dos tubos, W/m °C
- h<sub>1</sub>      coeficiente de transmissão de calor por convecção na su perfície interna dos tubos, W/m °C

As correlações empregadas para o cálculo de h<sub>1</sub> e h<sub>o</sub> foram as de Donohue (vide referência bibliográfica).

## 2.7.2 - Coefficientes de Transmissão de Calor por convecção forçada

Os coeficientes de transmissão de calor por convecção forçada são calculados através da seguinte correlação:

$$h = 0.023 \frac{k}{D} Re^{0.8} Pr^{0.33}$$

onde:

k condutibilidade térmica do fluido (hélio), avaliada na temperatura do filme, W/m°C

D diâmetro hidráulico, m

Re número de Reynolds, avaliada na temperatura do filme

P número de Prandtl, avaliada na temperatura do filme

Esses coeficientes serão calculados 22 vezes em cada passo ("step") de integração, dando um total de 110000 a 550000 vezes em simulações de operações de duração variando de 1 a 3 dias, respectivamente. Visando diminuição nos cálculos para avaliação desses coeficientes, é conveniente separá-los em três partes distintas:

$$h = \left( \frac{0.023 D^{0.2} c_p^{0.33}}{A^{0.8}} \right) \left( \frac{k^{0.57}}{\mu^{0.47}} \right) (m^{0.8})$$

onde:

A área da seção transversal do tubo, m

$\dot{m}$  vazão do fluido, Kg/seg.

A correlação, na forma apresentada acima, é composta de um produto de três fatores:

- O primeiro, constante para cada tubo, é calculado apenas uma vez em cada simulação (segmento INITIAL)
- O segundo, depende somente da temperatura do filme ( $T_f$ ), é tabelado em função de  $T_f$
- O terceiro depende das condições de operação, isto é da vazão em massa. É calculado em todos os passos ("steps") de integração.

### 2.7.3 - Coefficientes de Transmissão de Calor por Convecção Natural

Os coeficientes de transmissão de calor por convecção natural são calculados a partir do número de Nusselt:

$$h_h = \frac{Nu_h K}{D}, \text{ para cilindros horizontais}$$

$$h_v = \frac{Nu_v K}{L}, \text{ para cilindros verticais}$$

O número de Nusselt é calculado a partir dos números de Grashof e Prandtl, pelas seguintes correlações:

$$Nu_h = 0.525 (Gr Pr)^{0.25}, \text{ para cilindros horizontais}$$

$$Nu_v = 0.59 (Gr Pr)^{0.25}, \text{ para cilindros verticais}$$

E os números de Grashof e Prandtl, por sua vez, são calculados por:

$$Pr = \frac{c_p \mu}{k}$$

$$Gr_h = D^3 \frac{\rho^2 g \beta \Delta T}{\mu^2}, \text{ para cilindros horizontais}$$

$$Gr = L^3 \frac{\rho^2 g \beta \Delta T}{\mu^2}, \text{ para cilindros verticais}$$

onde:

D	diâmetro externo do cilindro horizontal, m
L	comprimento do cilindro vertical, m
$\rho$	densidade do fluido, Kg/m
$\mu$	viscosidade do fluido, N seg/m
k	condutividade térmica do fluido, W/m °C
g	aceleração da gravidade, m/seg
$\beta$	coeficiente de expansão térmica, °C <sup>-1</sup>
$\Delta T$	diferença de temperatura entre a superfície externa e o ar, °C

Obs: todas as propriedades do fluido devem ser avaliadas na temperatura do filme.

Como o número de coeficientes de transmissão de calor por convecção natural é grande e eles variam com a temperatura e, conseqüentemente, com o tempo, os cálculos apresentados acima serão efetuados muitas vezes em cada simulação (105000 a 525000 vezes para simulações de operações durando de 1 a 3 dias, respectivamente). Isto exige otimização neste cálculo.

Essa otimização é alcançada fazendo-se uso de tabelas para cálculos de parâmetros que variam somente com a temperatura da mesma forma que foi feito para o item anterior.

### 3. RESULTADOS E COMPARAÇÕES COM DADOS EXPERIMENTAIS

Os resultados e comparações com dados experimentais podem ser apresentados graficamente em função do tempo ou da posição onde calculou-se a temperatura. A primeira forma é mais apropriada para mostrar o comportamento das temperaturas nos estados transitórios, enquanto que a segunda forma de apresentação, presta-se melhor para análise dos estados permanentes.

Foram escolhidas duas simulações de operações para serem apresentadas neste trabalho. A primeira, realizada em abril de 1977, é anterior à instalação do "By-pass" de hélio no Resfriador, o que equivale ao "By-pass" totalmente fechado. A segunda é recente, realizada em agosto de 1979, já com o "By-pass" incluído e mantido totalmente aberto. Essas operações serão referidas como operação com abertura igual a zero (0) e um (1) ( $A=0$  e  $1$ ), respectivamente.

#### 3.1 - Condições de Operação

As condições de operação estão ilustradas nas figuras de 19 a 21, para  $A=0$  e de 22 a 24, para  $A=1$ . Em todas essas figuras, na primeira coluna transcrevemos o tempo de operação (segundos).

Nas figuras 19 e 22, na segunda coluna transcrevemos a potência de operação do Aquecedor (watt), seguida pelo seu gráfico em função do tempo.

Nas figuras 20 e 23, na segunda coluna transcrevemos a vazão total de hélio (MHT), seguida pelo gráfico correspondente. Nas duas colunas do

lado direito as vazões de gás no circuito principal (MHQ) e no circuito de arrefecimento (MHF), todas em Kg/seg.

Nas figuras 21 e 24, na segunda coluna transcrevemos a vazão da água de arrefecimento no Resfriador (MAG), também em Kg/seg.

Outras condições de operação (como por exemplo, as vazões da água de arrefecimento nas serpentinas e a potência da Bomba Circuladora, são necessárias como dados de entrada para o programa. Essas condições também entraram no conjunto de dados fornecidos para simulação e só não estão aqui apresentadas porque não são tão importantes no comportamento térmico do complexo experimental.

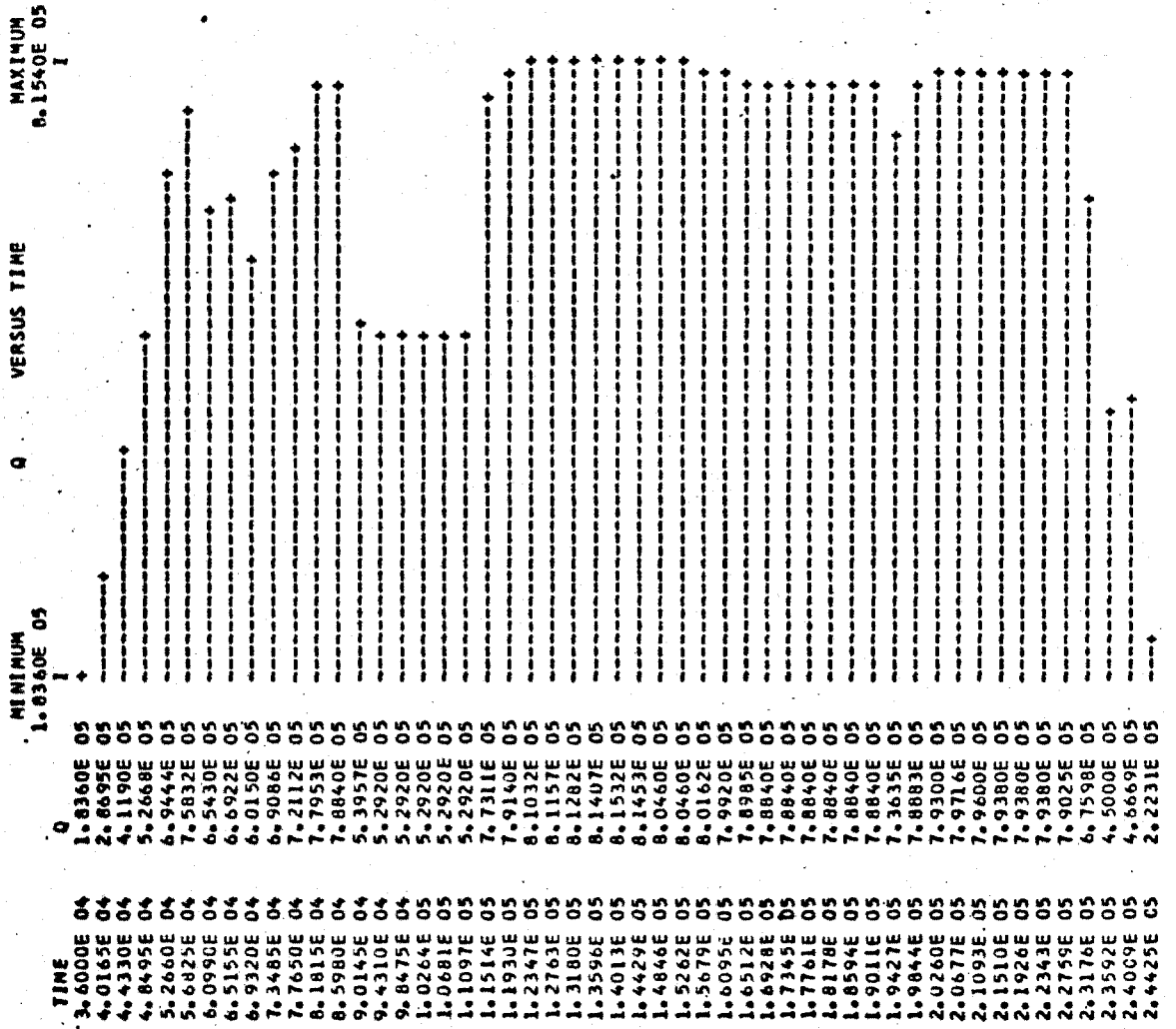


FIGURA 19 - Potência do Aquecedor (A=0), watt

TIME	MHT	MINIMUM	MHT	VERSUS TIME	MAXIMUM	MHT	MHF
3.600E 04	1.7040E 00	1.2700E 00			1.8839E 00	1.4200E 00	2.8400E-01
4.0165E 04	1.7929E 00					1.4941E 00	2.9882E-01
4.4330E 04	1.8539E 00					1.5449E 00	3.0898E-01
4.8495E 04	1.7993E 00					1.4994E 00	2.9988E-01
5.2660E 04	1.8120E 00					1.5100E 00	3.0200E-01
5.6825E 04	1.8497E 00					1.5414E 00	3.0828E-01
6.0990E 04	1.7922E 00					1.4935E 00	2.9870E-01
6.5155E 04	1.8049E 00					1.5041E 00	3.0082E-01
6.9320E 04	1.7124E 00					1.4270E 00	2.8540E-01
7.3485E 04	1.6320E 00					1.3600E 00	2.7200E-01
7.7650E 04	1.7208E 00					1.4340E 00	2.8580E-01
8.1815E 04	1.7967E 00					1.4973E 00	2.9945E-01
8.5980E 04	1.8106E 00					1.5088E 00	3.0177E-01
9.0145E 04	1.2700E 00					1.2600E 00	1.0000E-02
9.4310E 04	1.2700E 00					1.2600E 00	1.0000E-02
9.8475E 04	1.2700E 00					1.2600E 00	1.0000E-02
1.0264E 05	1.2700E 00					1.2600E 00	1.0000E-02
1.0681E 05	1.2700E 00					1.2600E 00	1.0000E-02
1.1097E 05	1.2700E 00					1.2600E 00	1.0000E-02
1.1514E 05	1.4860E 00					1.2600E 00	1.0000E-02
1.1930E 05	1.5030E 00					1.4760E 00	1.0000E-02
1.2347E 05	1.5162E 00					1.4930E 00	1.0000E-02
1.2763E 05	1.5295E 00					1.5062E 00	1.0000E-02
1.3180E 05	1.5427E 00					1.5195E 00	1.0000E-02
1.3596E 05	1.5559E 00					1.5327E 00	1.0000E-02
1.4013E 05	1.5691E 00					1.5459E 00	1.0000E-02
1.4429E 05	1.5700E 00					1.5591E 00	1.0000E-02
1.4846E 05	1.5700E 00					1.5600E 00	1.0000E-02
1.5262E 05	1.5700E 00					1.5600E 00	1.0000E-02
1.5679E 05	1.5700E 00					1.5600E 00	1.0000E-02
1.6095E 05	1.5700E 00					1.5600E 00	1.0000E-02
1.6512E 05	1.5700E 00					1.5600E 00	1.0000E-02
1.6928E 05	1.5696E 00					1.5596E 00	1.0000E-02
1.7345E 05	1.5498E 00					1.5398E 00	1.0000E-02
1.7761E 05	1.5483E 00					1.5383E 00	1.0000E-02
1.8178E 05	1.5469E 00					1.5369E 00	1.0000E-02
1.8594E 05	1.5454E 00					1.5354E 00	1.0000E-02
1.9011E 05	1.5440E 00					1.5340E 00	1.0000E-02
1.9427E 05	1.5425E 00					1.5325E 00	1.0000E-02
1.9844E 05	1.5411E 00					1.5311E 00	1.0000E-02
2.0260E 05	1.5511E 00					1.5411E 00	1.0000E-02
2.0677E 05	1.5800E 00					1.5700E 00	1.0000E-02
2.1093E 05	1.5800E 00					1.5700E 00	1.0000E-02
2.1510E 05	1.5800E 00					1.5700E 00	1.0000E-02
2.1926E 05	1.5800E 00					1.5700E 00	1.0000E-02
2.2343E 05	1.5800E 00					1.5700E 00	1.0000E-02
2.2759E 05	1.5800E 00					1.5700E 00	1.0000E-02
2.3176E 05	1.5800E 00					1.5700E 00	1.0000E-02
2.3592E 05	1.5800E 00					1.5700E 00	1.0000E-02
2.4009E 05	1.5800E 00					1.5700E 00	1.0000E-02
2.4425E 05	1.3936E 00					1.3836E 00	1.0000E-02

FIGURA 20 - Vazões de hélio (A=0), Kg/seg.

TIME	MAG	MINIMUM	MAG	VERSUS TIME	MAXIMUM
		1.7000E 00			3.0000E 00
3.6000E 04	1.7000E 00	↑			
4.0165E 04	1.7000E 00	↑			
4.4330E 04	1.7000E 00	↑			
4.8495E 04	1.7000E 00	↑			
5.2660E 04	2.2022E 00	↑			
6.0990E 04	2.5000E 00	↑			
6.5155E 04	2.5000E 00	↑			
6.9320E 04	2.5000E 00	↑			
7.3485E 04	2.5000E 00	↑			
7.7650E 04	2.5000E 00	↑			
8.1815E 04	2.5000E 00	↑			
8.5980E 04	2.5000E 00	↑			
9.0145E 04	2.0000E 00	↑			
9.4310E 04	2.0000E 00	↑			
9.8475E 04	2.0000E 00	↑			
1.0264E 05	2.0000E 00	↑			
1.0681E 05	2.0000E 00	↑			
1.1097E 05	2.0000E 00	↑			
1.1514E 05	2.8837E 00	↑			
1.1930E 05	2.9000E 00	↑			
1.2347E 05	2.9000E 00	↑			
1.2763E 05	2.9000E 00	↑			
1.3180E 05	2.9000E 00	↑			
1.3596E 05	2.9000E 00	↑			
1.4013E 05	2.9000E 00	↑			
1.4429E 05	2.9000E 00	↑			
1.4846E 05	2.9000E 00	↑			
1.5262E 05	2.9000E 00	↑			
1.5679E 05	2.9000E 00	↑			
1.6095E 05	2.9000E 00	↑			
1.6512E 05	2.9000E 00	↑			
1.6928E 05	3.0000E 00	↑			
1.7345E 05	3.0000E 00	↑			
1.7761E 05	3.0000E 00	↑			
1.8178E 05	3.0000E 00	↑			
1.8594E 05	3.0000E 00	↑			
1.9011E 05	3.0000E 00	↑			
1.9427E 05	2.9000E 00	↑			
1.9844E 05	2.9000E 00	↑			
2.0260E 05	2.9000E 00	↑			
2.0677E 05	2.9000E 00	↑			
2.1093E 05	2.9000E 00	↑			
2.1510E 05	2.7002E 00	↑			
2.1926E 05	2.7000E 00	↑			
2.2343E 05	2.7000E 00	↑			
2.2759E 05	2.7000E 00	↑			
2.3176E 05	2.7000E 00	↑			
2.3592E 05	2.1000E 00	↑			
2.4009E 05	2.1000E 00	↑			
2.4425E 05	2.1000E 00	↑			

FIGURA 21 - Vazão da água de arrefecimento (A=0), Kg/seg.



TIME	MHT	MINIMUM	MHT	VERSUS TIME	MAXIMUM	MHQ	MHF
0.0	0.0	0.0	0.0		1.4045E 00	0.0	0.0
9.0000E 02	1.1588E 00					7.5757E-01	4.0120E-01
1.8000E 03	1.1775E 00					7.5988E-01	4.1761E-01
2.7000E 03	1.2024E 00					7.7643E-01	4.2602E-01
3.6000E 03	1.2211E 00					7.7623E-01	4.4483E-01
4.5000E 03	1.2424E 00					7.9021E-01	4.5219E-01
5.4000E 03	1.2488E 00					7.9428E-01	4.5452E-01
6.3000E 03	1.3556E 00					9.4640E-01	4.0921E-01
7.2000E 03	1.3617E 00					9.5030E-01	4.1141E-01
8.1000E 03	1.3732E 00					9.5836E-01	4.1489E-01
9.0000E 03	1.3660E 00					9.5365E-01	4.1236E-01
9.9000E 03	1.3151E 00					9.4904E-01	3.6707E-01
1.0800E 04	1.3352E 00					9.4681E-01	3.8840E-01
1.1700E 04	1.3527E 00					9.5994E-01	3.9288E-01
1.2600E 04	1.3557E 00					9.6133E-01	3.9435E-01
1.3500E 04	1.3303E 00					9.5925E-01	3.7100E-01
1.4400E 04	1.3256E 00					9.5591E-01	3.6971E-01
1.5300E 04	1.3206E 00					9.4978E-01	3.7078E-01
1.6200E 04	1.3148E 00					9.4490E-01	3.7000E-01
1.7100E 04	1.3099E 00					9.4195E-01	3.6807E-01
1.8000E 04	1.3068E 00					9.3939E-01	3.6692E-01
1.8900E 04	1.2938E 00					9.3892E-01	3.5490E-01
1.9800E 04	1.2892E 00					9.3507E-01	3.5417E-01
2.0700E 04	1.2906E 00					9.3603E-01	3.5454E-01
2.1600E 04	1.2836E 00					9.2906E-01	3.5454E-01
2.2500E 04	1.2843E 00					9.2811E-01	3.5527E-01
2.3400E 04	1.2830E 00					9.2905E-01	3.5490E-01
2.4300E 04	1.2840E 00					9.2906E-01	3.5490E-01
2.5200E 04	1.2840E 00					9.2906E-01	3.5490E-01
2.6100E 04	1.4045E 00					9.9835E-01	4.0646E-01
2.7000E 04	1.3974E 00					9.9304E-01	4.0441E-01
2.7900E 04	1.3909E 00					9.8809E-01	4.0280E-01
2.8800E 04	1.3901E 00					9.8309E-01	4.0199E-01
2.9700E 04	1.3782E 00					9.7705E-01	4.0120E-01
3.0600E 04	1.3759E 00					9.7512E-01	4.0080E-01
3.1500E 04	1.3773E 00					9.7608E-01	4.0120E-01
3.2400E 04	1.3702E 00					9.7107E-01	3.9915E-01
3.3300E 04	1.3610E 00					9.6478E-01	3.9617E-01
3.4200E 04	1.3457E 00					9.5398E-01	3.9174E-01
3.5100E 04	1.3499E 00					9.5699E-01	3.9327E-01
3.6000E 04	1.3260E 00					9.3967E-01	3.8630E-01
3.6900E 04	1.2775E 00					9.1694E-01	3.6063E-01
3.7800E 04	1.2776E 00					9.1694E-01	3.6063E-01
3.8700E 04	1.2456E 00					8.9398E-01	3.4664E-01
3.9600E 04	1.2278E 00					8.9413E-01	3.3367E-01
4.0500E 04	1.2087E 00					8.7992E-01	3.2879E-01
4.1400E 04	1.1939E 00					8.6941E-01	3.2445E-01
4.2300E 04	1.1878E 00					8.6435E-01	3.2342E-01
4.3200E 04	1.1963E 00					8.7117E-01	3.2510E-01
4.4100E 04	1.1736E 00					8.5464E-01	3.1893E-01
4.5000E 04	1.1710E 00					8.5271E-01	3.1830E-01

FIGURA 23 - Vazões de hélio (A=1), Kg/seg.

TIME	MAG	MINIMUM 2.5000E 00	MAG	VERSUS TIME	MAXIMUM 7.0000E 00
0.0	2.5000E 00	2.5000E 00	2.5000E 00	↑	7.0000E 00
9.0000E 02	4.0000E 00	2.5000E 00	4.0000E 00	↑	7.0000E 00
1.8000E 03	4.0000E 00	2.5000E 00	4.0000E 00	↑	7.0000E 00
2.7000E 03	4.0000E 00	2.5000E 00	4.0000E 00	↑	7.0000E 00
3.6000E 03	4.0000E 00	2.5000E 00	4.0000E 00	↑	7.0000E 00
4.5000E 03	4.0000E 00	2.5000E 00	4.0000E 00	↑	7.0000E 00
5.4000E 03	4.0000E 00	2.5000E 00	4.0000E 00	↑	7.0000E 00
6.3000E 03	4.0000E 00	2.5000E 00	4.0000E 00	↑	7.0000E 00
7.2000E 03	4.0000E 00	2.5000E 00	4.0000E 00	↑	7.0000E 00
8.1000E 03	4.0000E 00	2.5000E 00	4.0000E 00	↑	7.0000E 00
9.0000E 03	4.0000E 00	2.5000E 00	4.0000E 00	↑	7.0000E 00
1.0800E 04	4.0000E 00	2.5000E 00	4.0000E 00	↑	7.0000E 00
1.1700E 04	4.0000E 00	2.5000E 00	4.0000E 00	↑	7.0000E 00
1.2600E 04	4.0000E 00	2.5000E 00	4.0000E 00	↑	7.0000E 00
1.3500E 04	4.0000E 00	2.5000E 00	4.0000E 00	↑	7.0000E 00
1.4400E 04	4.0000E 00	2.5000E 00	4.0000E 00	↑	7.0000E 00
1.5300E 04	4.0000E 00	2.5000E 00	4.0000E 00	↑	7.0000E 00
1.6200E 04	4.0000E 00	2.5000E 00	4.0000E 00	↑	7.0000E 00
1.7100E 04	4.0000E 00	2.5000E 00	4.0000E 00	↑	7.0000E 00
1.8000E 04	4.0000E 00	2.5000E 00	4.0000E 00	↑	7.0000E 00
1.8900E 04	4.0000E 00	2.5000E 00	4.0000E 00	↑	7.0000E 00
1.9800E 04	4.0000E 00	2.5000E 00	4.0000E 00	↑	7.0000E 00
2.0700E 04	7.0000E 00	2.5000E 00	7.0000E 00	↑	7.0000E 00
2.1600E 04	7.0000E 00	2.5000E 00	7.0000E 00	↑	7.0000E 00
2.2500E 04	7.0000E 00	2.5000E 00	7.0000E 00	↑	7.0000E 00
2.3400E 04	7.0000E 00	2.5000E 00	7.0000E 00	↑	7.0000E 00
2.4300E 04	7.0000E 00	2.5000E 00	7.0000E 00	↑	7.0000E 00
2.5200E 04	7.0000E 00	2.5000E 00	7.0000E 00	↑	7.0000E 00
2.6100E 04	7.0000E 00	2.5000E 00	7.0000E 00	↑	7.0000E 00
2.7000E 04	5.8000E 00	2.5000E 00	5.8000E 00	↑	7.0000E 00
2.7900E 04	5.8000E 00	2.5000E 00	5.8000E 00	↑	7.0000E 00
2.8800E 04	5.8000E 00	2.5000E 00	5.8000E 00	↑	7.0000E 00
2.9700E 04	5.8000E 00	2.5000E 00	5.8000E 00	↑	7.0000E 00
3.0600E 04	5.8000E 00	2.5000E 00	5.8000E 00	↑	7.0000E 00
3.1500E 04	5.8000E 00	2.5000E 00	5.8000E 00	↑	7.0000E 00
3.2400E 04	5.8000E 00	2.5000E 00	5.8000E 00	↑	7.0000E 00
3.3300E 04	5.8000E 00	2.5000E 00	5.8000E 00	↑	7.0000E 00
3.4200E 04	5.8000E 00	2.5000E 00	5.8000E 00	↑	7.0000E 00
3.5100E 04	5.8000E 00	2.5000E 00	5.8000E 00	↑	7.0000E 00
3.6000E 04	5.8000E 00	2.5000E 00	5.8000E 00	↑	7.0000E 00
3.6900E 04	5.8000E 00	2.5000E 00	5.8000E 00	↑	7.0000E 00
3.7800E 04	5.8000E 00	2.5000E 00	5.8000E 00	↑	7.0000E 00
3.8700E 04	5.8000E 00	2.5000E 00	5.8000E 00	↑	7.0000E 00
3.9600E 04	5.8000E 00	2.5000E 00	5.8000E 00	↑	7.0000E 00
4.0500E 04	5.8000E 00	2.5000E 00	5.8000E 00	↑	7.0000E 00
4.1400E 04	5.8000E 00	2.5000E 00	5.8000E 00	↑	7.0000E 00
4.2300E 04	5.8000E 00	2.5000E 00	5.8000E 00	↑	7.0000E 00
4.3200E 04	5.8000E 00	2.5000E 00	5.8000E 00	↑	7.0000E 00
4.4100E 04	5.8000E 00	2.5000E 00	5.8000E 00	↑	7.0000E 00
4.5000E 04	5.8000E 00	2.5000E 00	5.8000E 00	↑	7.0000E 00

FIGURA 24 - Vazão da água de arrefecimento (A=1), Kg/seg.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PESQUISAS NUCLEARES

### 3.2 - Análise dos resultados em regime permanente.

As figuras 25 e 26 mostram o perfil de temperaturas ao longo do circuito percorrido pelo gás para  $A=0$  e  $A=1$ , respectivamente. O eixo vertical representa os diversos pontos do Circulador de Hélio, conforme convencionado abaixo:

1. temperatura do gás ao entrar no TCR (lado dos tubos), T1
2. temperatura do gás ao sair do TCR (lado dos tubos), T2L
3. temperatura do gás ao entrar no Aquecedor, T2
4. temperatura do gás ao sair do Aquecedor, T3L
5. temperatura do gás ao entrar no TCR (carcaça), T3
6. temperatura do gás ao sair do TCR (carcaça), T4
7. temperatura do gás ao sair do Misturador, T8L
8. temperatura do gás ao entrar no Resfriador, T8
9. temperatura do gás ao sair do Resfriador, T5L
10. temperatura do gás na bifurcação, T1L
11. temperatura de saída da água de arrefecimento, T7

Esses instantâneos da distribuição de temperaturas no Circulador de Hélio correspondem a leituras tomadas às 8 horas do segundo dia de operação no caso de  $A=0$  e às 18 horas do primeiro dia de operação no caso de  $A=1$ .

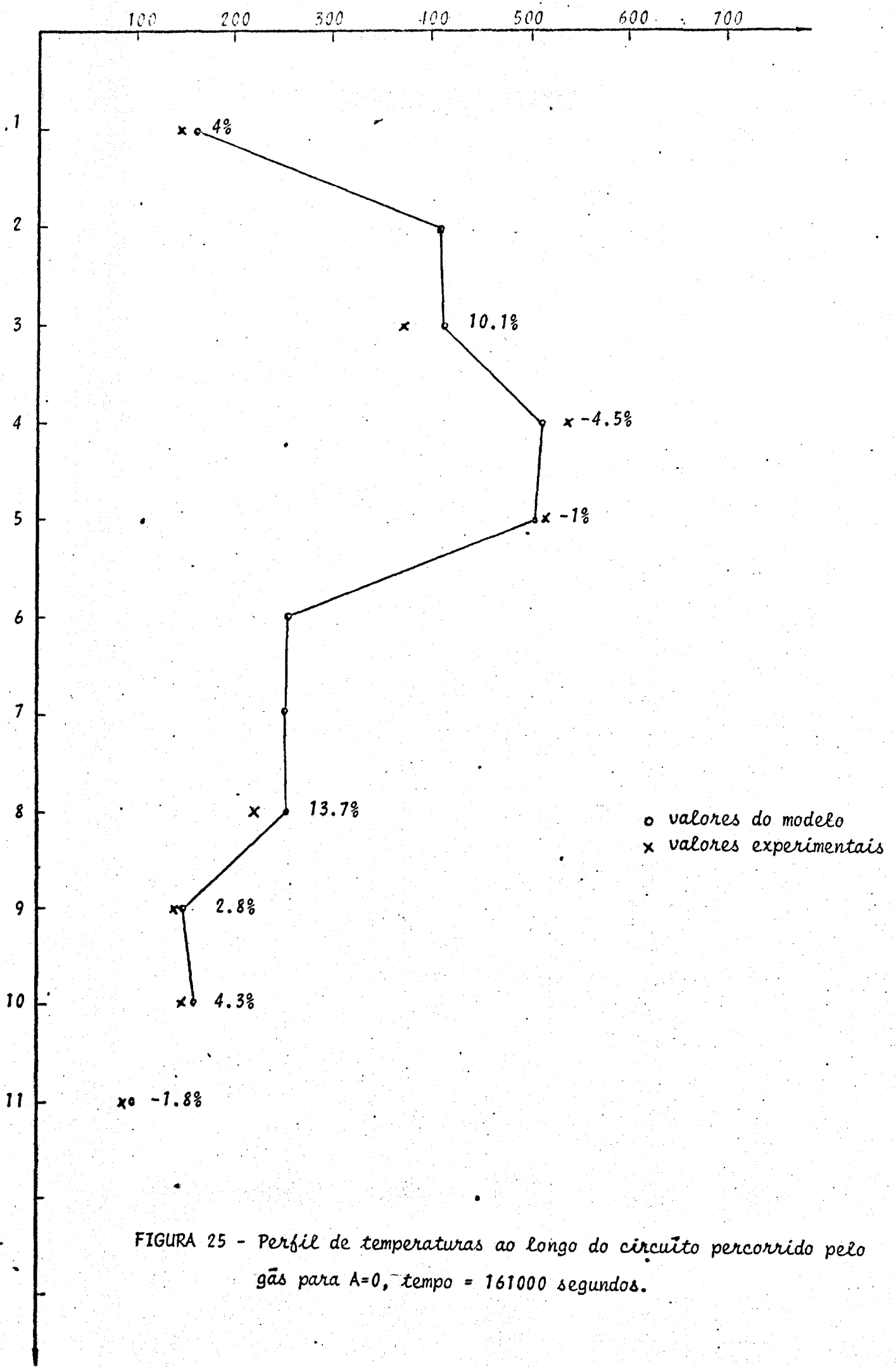


FIGURA 25 - Perfil de temperaturas ao longo do circuito percorrido pelo gás para  $A=0$ , tempo = 161000 segundos.

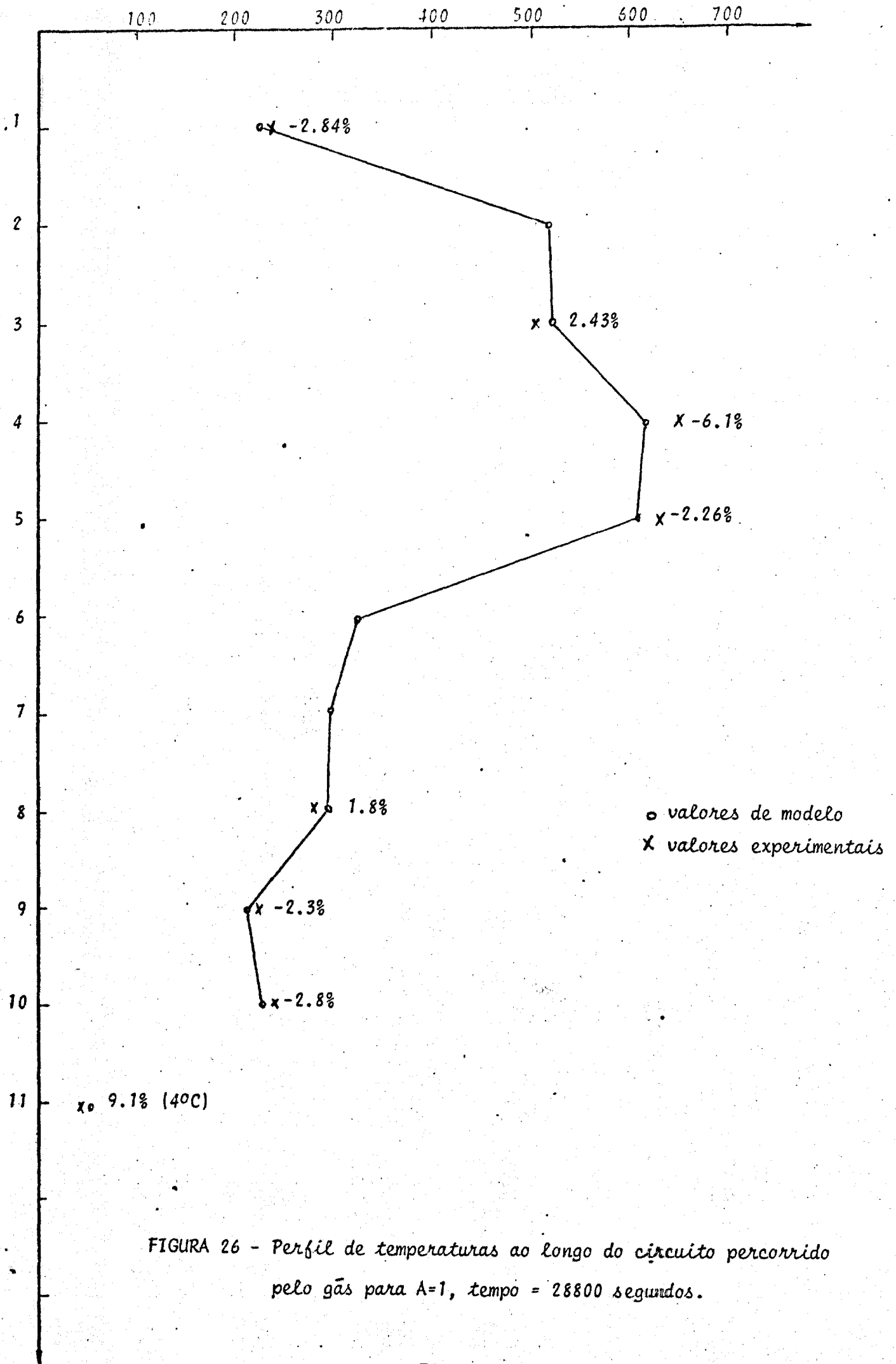


FIGURA 26 - Perfil de temperaturas ao longo do circuito percorrido pelo gás para A=1, tempo = 28800 segundos.

Conforme anotado nas figuras, as discrepâncias entre os valores calculados pelo modelo e os obtidos pela experiência estão em torno de 3 % (máx. de 9.1%) para A=1 e 6.5 % (máx. de 13.8%) para A=0.

Ao analisar a temperatura da água de arrefecimento, deve-se atentar para o fato de que, neste caso, grandes discrepâncias percentuais não representam mais do que alguns poucos graus de diferença nas temperaturas, devido a estas serem baixas. Na operação para A=1, por exemplo, a discrepância para água de arrefecimento foi a maior entre todas dessa operação em termos percentuais, embora a diferença entre as temperaturas tenha sido de apenas 4 °C. No entanto, na saída do Aquecedor, uma discrepância percentual de 6% representou quase 40 °C de diferença de temperatura.

Observa-se ainda, que as discrepâncias são ligeiramente maiores para a operação com A=0 do que com A=1, ao contrário do que se poderia esperar, visto que na operação com A=0 o modelo não incorre em erros no cálculo das vazões nos tubos em U e no "By-pass". Primeiramente, devido ao nível de temperatura ser mais baixo para A=0, essas diferenças são menos acentuadas quando consideradas diretamente, isto é, uma menos a outra. Algumas propriedades dos diversos materiais empregados no CH como, por exemplo, a condutividade térmica dos tubos, variam ligeiramente com a temperatura. No modelo estas propriedades foram consideradas constantes, visando minimização de custos e também, devido a dificuldade de se encontrar tabelas específicas das propriedades desses materiais em função da temperatura. Deve-se lembrar ainda, que as correlações usadas no cálculo dos coeficientes de transmissão de calor por convecção nos tubos e nos trocadores de calor não apresentam a mesma precisão em condições de operação diferentes (vazões e temperaturas). Baseado no exposto acima, pode-se esperar que o modelo não se comporte do mesmo modo em regimes diferentes. Além disso, a precisão dos instrumentos de medidas também é função da temperatura em que estas são efetuadas.

### 3.3 - Análise dos Resultados em Regime Transiente

As distribuições de temperaturas em função do tempo de operação para os diversos pontos do Circulador de Hélio estão apresentadas nas figuras de 27 a 37 (A=0) e 28 a 48 (A=1). Em todas as figuras, na primeira coluna transcrevemos os tempos de operação (segundos), na segunda, os valores das temperaturas calculadas pelo modelo (°C) na terceira os valores obtidos experimentalmente (°C), na quarta a diferença entre as duas temperaturas, e a quinta essa diferença em porcentagem, calculada em relação ao valor experimental. Os diversos gráficos são referentes aos valores do modelo.

Na figura 49 estão apresentadas as vazões do gás hélio nos tubos em U (MH1) e no "By-pass" (MH2), sendo que o gráfico é referente à primeira. Evidentemente, essa curva é para a operação com A=1.

A nomenclatura para as diversas temperaturas é a mesma utilizada no item anterior, restando acrescentar, apenas:

TREST temperatura média das fitas metálicas aquecedoras

T6 temperatura média dos blocos de material refratário usados no Aquecedor.

Das diversas curvas apresentadas, pode-se extrair o seguinte quadro:

Temperatura	erro máximo %	
	A=0	A=1
T1	24	30
T2	27	23
T3L	18	31
T3	12	18
T8	35	48
T5L	15	60
T1L	23	41
T7	10	25

De uma maneira geral, pode-se dizer que as respostas do modelo foram boas nos períodos transientes do CH, principalmente naqueles não referentes a partida e parada. Nota-se, por inspeção das curvas, que em alguns transitórios intermediários as discrepâncias chegaram mesmo a ser iguais às do estado permanente, fato que poderia ser previsto, pois, quanto menores as variações em um transiente, mais se assemelha a um estado estacionário e, conseqüentemente, menores os erros a ele associados.

Pode-se ver claramente que com  $A=0$  os resultados apresentaram discrepâncias menores. Uma análise mais detalhada das curvas nas duas operações, mostra que os transientes foram muito mais acentuados na operação com  $A=1$  e, como era de se esperar, as discrepâncias foram maiores para esta operação. Nas curvas da temperatura do gás, ao sair do Aquecedor, por exemplo, observa-se que com  $A=0$ , foram consumidas quase 6 horas para atingir o valor de  $515^{\circ}\text{C}$ , enquanto que com  $A=1$  essa temperatura foi atingida em apenas 3 horas. No desligamento com  $A=0$  essa temperatura sofreu uma queda de  $510$  para  $300^{\circ}\text{C}$  em quase 5 horas, enquanto que  $A=1$  a temperatura foi abaixada de  $650$  para  $110^{\circ}\text{C}$  em apenas 4 horas e 15 minutos.

Uma outra observação importante é a relativa às durações dos transientes. Na operação com  $A=1$  a escala do tempo é apresentada de 15 em 15 minutos, o que a torna mais apropriada para verificação desse efeito (com  $A=0$ , os intervalos são pouco mais que uma hora). Observando-se a temperatura do gás ao sair do Aquecedor, por exemplo, nota-se (olhando na coluna dos valores experimentais), que o primeiro estado estacionário foi atingido decorridas 5 horas e 15 minutos após o início da operação, enquanto que o período previsto pelo modelo foi de alguns minutos a menos (menos de 15 minutos). As outras curvas também apresentaram-se dessa forma, sendo de aproximadamente 15 minutos o erro máximo nessa previsão.

TIME	T1	MINIMUM 1.1224E 01	T1	VERSUS TIME	MAXIMUM 1.6444E 02	T1EX?	ET1	EPT1
3.600E 04	1.674E 01	---	---	---	---	2.500E 01	-8.2555E 00	-3.3022E 01
4.016E 04	8.864E 01	---	---	---	---	8.100E 01	7.6424E 00	9.4350E 03
4.430E 04	1.148E 02	---	---	---	---	9.9417E 01	1.5443E 01	1.5533E 01
4.849E 04	1.353E 02	---	---	---	---	1.1942E 02	1.5946E 01	1.3354E 01
5.266E 04	1.470E 02	---	---	---	---	1.2778E 02	1.9286E 01	1.5093E 01
5.682E 04	1.558E 02	---	---	---	---	1.3577E 02	2.0035E 01	1.4756E 01
6.099E 04	1.487E 02	---	---	---	---	1.3058E 02	1.8145E 01	1.3898E 01
6.515E 04	1.456E 02	---	---	---	---	1.3860E 02	7.0115E 00	5.0583E 03
6.932E 04	1.355E 02	---	---	---	---	1.2144E 02	1.4079E 01	1.1593E 01
7.348E 04	1.441E 02	---	---	---	---	1.2456E 02	1.9602E 01	1.5735E 01
7.765E 04	1.494E 02	---	---	---	---	1.3500E 02	1.4414E 01	1.0677E 01
8.181E 04	1.573E 02	---	---	---	---	1.4150E 02	1.5835E 01	1.1191E 01
8.598E 04	1.607E 02	---	---	---	---	1.4150E 02	1.9221E 01	1.3594E 01
9.014E 04	1.483E 02	---	---	---	---	1.1950E 02	2.8892E 01	2.4177E 01
9.431E 04	1.389E 02	---	---	---	---	1.1950E 02	1.9491E 01	1.6311E 01
9.847E 04	1.372E 02	---	---	---	---	1.1950E 02	1.7739E 01	1.4844E 01
1.026E 05	1.367E 02	---	---	---	---	1.1950E 02	1.7287E 01	1.4466E 01
1.068E 05	1.360E 02	---	---	---	---	1.1950E 02	1.7103E 01	1.4312E 01
1.097E 05	1.365E 02	---	---	---	---	1.2015E 02	1.6361E 01	1.3617E 01
1.151E 05	1.439E 02	---	---	---	---	1.3271E 02	1.1182E 01	8.4251E 03
1.193E 05	1.514E 02	---	---	---	---	1.4300E 02	8.4490E 00	5.9084E 03
1.234E 05	1.545E 02	---	---	---	---	1.4418E 02	1.0374E 01	7.1946E 03
1.276E 05	1.554E 02	---	---	---	---	1.4772E 02	7.7117E 00	5.2230E 03
1.318E 05	1.557E 02	---	---	---	---	1.4800E 02	7.7077E 00	5.2079E 03
1.359E 05	1.559E 02	---	---	---	---	1.5013E 02	5.7673E 00	3.3415E 03
1.401E 05	1.560E 02	---	---	---	---	1.5000E 02	6.0654E 00	4.0435E 03
1.442E 05	1.559E 02	---	---	---	---	1.4988E 02	6.2753E 00	4.1925E 03
1.484E 05	1.549E 02	---	---	---	---	1.4800E 02	6.9415E 00	4.6902E 03
1.526E 05	1.546E 02	---	---	---	---	1.4800E 02	6.6370E 00	4.4945E 03
1.567E 05	1.544E 02	---	---	---	---	1.4800E 02	6.4603E 00	4.3650E 03
1.609E 05	1.539E 02	---	---	---	---	1.4800E 02	5.9763E 00	4.0381E 03
1.651E 05	1.530E 02	---	---	---	---	1.4800E 02	5.3030E 00	3.5831E 03
1.692E 05	1.510E 02	---	---	---	---	1.4500E 02	6.0614E 00	4.1803E 03
1.734E 05	1.504E 02	---	---	---	---	1.4500E 02	5.4227E 00	3.7393E 03
1.776E 05	1.505E 02	---	---	---	---	1.4500E 02	5.5639E 00	3.8372E 03
1.817E 05	1.505E 02	---	---	---	---	1.4500E 02	5.5604E 00	3.8347E 03
1.859E 05	1.505E 02	---	---	---	---	1.4500E 02	5.5576E 00	3.8329E 03
1.901E 05	1.505E 02	---	---	---	---	1.4500E 02	5.5564E 00	3.8320E 03
1.942E 05	1.484E 02	---	---	---	---	1.4500E 02	3.4425E 00	2.3741E 03
1.984E 05	1.504E 02	---	---	---	---	1.4621E 02	4.2615E 00	2.9147E 03
2.026E 05	1.529E 02	---	---	---	---	1.4722E 02	5.7369E 00	3.8954E 03
2.067E 05	1.535E 02	---	---	---	---	1.5000E 02	3.5805E 00	2.3870E 03
2.109E 05	1.536E 02	---	---	---	---	1.5000E 02	4.5941E 00	3.0224E 03
2.151E 05	1.565E 02	---	---	---	---	1.5200E 02	5.3893E 00	3.5455E 03
2.192E 05	1.573E 02	---	---	---	---	1.5200E 02	5.4850E 00	3.6085E 03
2.234E 05	1.574E 02	---	---	---	---	1.5200E 02	5.448E 00	3.5845E 03
2.275E 05	1.574E 02	---	---	---	---	1.5200E 02	2.0545E 00	1.3674E 03
2.316E 05	1.523E 02	---	---	---	---	1.5025E 02	-2.8355E 00	-2.1103E 03
2.359E 05	1.3150E 02	---	---	---	---	1.2100E 02	1.7650E 00	1.4587E 03
2.400E 05	1.227E 02	---	---	---	---	1.0596E 02	1.0228E 00	9.6523E-01
2.442E 05	1.069E 02	---	---	---	---	---	---	---

FIGURA 27 - Temperatura do gás ao entrar no TCR (lado dos tubos), A=0.

MINIMUM 2.3604E 01  
 T2  
 MAXIMUM 4.5870E 02  
 T2 VERSUS TIME

TIME	T2	MINIMUM	T2	VERSUS TIME	MAXIMUM	T2 EXP	ET2	EPT2
3.6000E 04	2.3604E 01	2.3604E 01	4.5870E 02		4.5870E 02	7.5000E 01	-5.1396E 01	-6.8528E 01
4.0165E 04	1.7490E 02					1.6314E 02	1.1762E 01	7.2095E 00
4.4330E 04	2.4350E 02					2.1767E 02	2.5833E 01	1.1868E 01
4.8495E 04	3.1671E 02					2.6883E 02	4.7879E 01	1.7810E 01
5.2660E 04	3.8627E 02					3.1659E 02	6.9768E 01	2.2044E 01
5.6825E 04	4.3307E 02					3.5931E 02	7.3768E 01	2.0531E 01
6.0990E 04	4.0433E 02					3.8267E 02	2.1665E 01	5.6617E 00
6.5155E 04	3.9649E 02					3.5704E 02	3.9453E 01	1.1050E 01
6.9320E 04	3.6782E 02					3.5267E 02	1.5152E 01	4.2954E 00
7.3485E 04	4.3516E 02					3.7325E 02	6.1911E 01	1.6537E 01
7.7650E 04	4.3690E 02					3.6500E 02	7.1902E 01	1.9697E 01
8.1815E 04	4.5067E 02					3.6500E 02	8.5675E 01	2.3472E 01
8.5980E 04	4.5868E 02					3.6000E 02	9.8677E 01	2.7410E 01
9.0145E 04	3.8529E 02					3.4400E 02	4.0690E 01	1.1808E 01
9.4310E 04	3.5832E 02					3.4000E 02	1.8316E 01	5.3872E 00
9.8475E 04	3.5464E 02					3.4000E 02	1.4639E 01	4.3057E 00
1.0264E 05	3.5390E 02					3.4000E 02	1.3903E 01	4.0991E 00
1.0681E 05	3.5361E 02					3.3832E 02	1.5295E 01	4.5203E 00
1.1097E 05	3.5347E 02					3.4175E 02	1.1718E 01	3.4288E 00
1.1514E 05	3.9444E 02					3.7392E 02	2.0529E 01	5.4901E 00
1.1930E 05	4.1567E 02					3.8639E 02	2.9283E 01	7.5795E 00
1.2347E 05	4.2364E 02					3.9296E 02	3.0679E 01	7.8072E 00
1.2763E 05	4.272E 02					3.9953E 02	2.3193E 01	5.8031E 00
1.3180E 05	4.2042E 02					4.0000E 02	2.0423E 01	5.1057E 00
1.3596E 05	4.1803E 02					4.0000E 02	1.8028E 01	4.5071E 00
1.4013E 05	4.1564E 02					3.8000E 02	3.5637E 01	9.3783E 00
1.4429E 05	4.1489E 02					3.6919E 02	4.5597E 01	1.2377E 01
1.4846E 05	4.1066E 02					3.6500E 02	4.5656E 01	1.2503E 01
1.5262E 05	4.0990E 02					3.6500E 02	4.4898E 01	1.2301E 01
1.5679E 05	4.0909E 02					3.7000E 02	3.9886E 01	1.0564E 01
1.6095E 05	4.0740E 02					3.7000E 02	3.7396E 01	1.0107E 01
1.6512E 05	4.0439E 02					3.7000E 02	3.4385E 01	9.2934E 00
1.6928E 05	4.0090E 02					3.7000E 02	3.0998E 01	8.3599E 00
1.7345E 05	4.0384E 02					3.7500E 02	2.8845E 01	7.6919E 00
1.7761E 05	4.0469E 02					3.7836E 02	2.6326E 01	6.9579E 00
1.8178E 05	4.0502E 02					3.8000E 02	2.5016E 01	6.5832E 00
1.8594E 05	4.0534E 02					3.7500E 02	3.0340E 01	8.0905E 00
1.9011E 05	4.0566E 02					3.8000E 02	2.5662E 01	6.7532E 00
1.9427E 05	3.9042E 02					3.8500E 02	5.4175E 00	1.4071E 00
1.9844E 05	4.0310E 02					3.8000E 02	2.3098E 01	6.0765E 00
2.0260E 05	4.0894E 02					3.8000E 02	2.8940E 01	7.6153E 00
2.0677E 05	4.0404E 02					3.7000E 02	3.4039E 01	9.1997E 00
2.1093E 05	4.0406E 02					3.7092E 02	3.3148E 01	8.9363E 00
2.1510E 05	4.0556E 02					3.6751E 02	3.8044E 01	1.0352E 01
2.1926E 05	4.0697E 02					3.6500E 02	4.1968E 01	1.1495E 01
2.2343E 05	4.0712E 02					3.6438E 02	4.2741E 01	1.1730E 01
2.2759E 05	4.0664E 02					3.6000E 02	4.6645E 01	1.2957E 01
2.3176E 05	3.7977E 02					3.4371E 02	3.6062E 01	1.0492E 01
2.3592E 05	2.7799E 02					2.7800E 02	-6.5918E -03	-2.3711E -03
2.4009E 05	2.5808E 02					2.3810E 02	1.9986E 01	8.3934E 00
2.4425E 05	2.0936E 02					2.3000E 02	-2.0643E 01	-8.9754E 00

FIGURA 28 - Temperatura do gás ao entrar no Aquecedor, A=0

TIME	T3L	MINIMUM 3.5553E 01	T3L	VERSUS TIME	T3L	MAXIMUM 5.5940E 02	T3LEK	EY3L	EPT3L
3.600E 04	3.5553E 01	↑					6.5000E 01	-2.9447E 01	-4.5303E 01
4.0165E 04	2.0854E 02	↑	↑				2.1471E 02	-6.1655E 00	-2.8715E 00
4.4330E 04	2.9177E 02	↑	↑	↑			3.1569E 02	-2.3922E 01	-7.5775E 00
4.8495E 04	3.8175E 02	↑	↑	↑	↑		4.0296E 02	-2.1206E 01	-5.2626E 00
5.2660E 04	4.7081E 02	↑	↑	↑	↑	↑	4.9511E 02	-2.4298E 01	-4.9077E 00
5.6825E 04	5.2800E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.1576E 02	1.2236E 01	2.3724E 00
6.0990E 04	4.9070E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.6300E 02	-7.2304E 01	-1.2943E 01
6.5155E 04	4.8240E 02	↑	↑	↑	↑	↑	4.9613E 02	-1.3724E 01	-2.7653E 00
6.9320E 04	4.4760E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.1533E 02	-6.7736E 01	-1.3144E 01
7.3485E 04	5.3193E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.4003E 02	-8.0703E 00	-1.4945E 00
7.7650E 04	5.2343E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.2569E 02	-8.0703E 00	-1.4945E 00
8.1815E 04	5.5016E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.2000E 02	3.0158E 01	5.7997E 00
8.5980E 04	5.5932E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.2000E 02	3.9322E 01	7.5619E 00
9.0145E 04	4.7114E 02	↑	↑	↑	↑	↑	4.9040E 02	-1.9262E 01	-3.9279E 00
9.4310E 04	4.3966E 02	↑	↑	↑	↑	↑	4.9503E 02	-5.5338E 01	-1.1179E 01
9.8475E 04	4.3558E 02	↑	↑	↑	↑	↑	4.8792E 02	-5.2339E 01	-1.0727E 01
1.0264E 05	4.3480E 02	↑	↑	↑	↑	↑	4.8500E 02	-5.0201E 01	-1.0351E 01
1.0681E 05	4.3450E 02	↑	↑	↑	↑	↑	4.8332E 02	-4.8920E 01	-1.0101E 01
1.1097E 05	4.3435E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.0000E 02	-6.5649E 01	-1.3130E 01
1.1514E 05	4.9244E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.1964E 02	-2.7198E 01	-5.2341E 00
1.1930E 05	5.1740E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.6003E 02	-4.2604E 01	-7.5079E 00
1.2347E 05	5.2713E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.6500E 02	-3.7874E 01	-6.7034E 00
1.2763E 05	5.2566E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.8003E 02	-5.4335E 01	-9.3682E 00
1.3180E 05	5.2265E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.8003E 02	-5.7353E 01	-9.8834E 00
1.3596E 05	5.1954E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.6667E 02	-4.7132E 01	-8.3175E 00
1.4013E 05	5.1644E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.4003E 02	-2.3563E 01	-4.3535E 00
1.4429E 05	5.1549E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.2412E 02	-8.7004E 00	-1.5598E 00
1.4846E 05	5.1008E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.2000E 02	-9.9158E 00	-1.9069E 00
1.5262E 05	5.0922E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.2000E 02	-1.0777E 01	-2.0725E 00
1.5679E 05	5.0814E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.2551E 02	-1.7377E 01	-3.3087E 00
1.6095E 05	5.0606E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.3000E 02	-2.3937E 01	-4.5165E 00
1.6512E 05	5.0318E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.3003E 02	-2.7890E 01	-5.2622E 00
1.6928E 05	4.9831E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.3000E 02	-3.1689E 01	-5.9791E 00
1.7345E 05	5.0239E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.3000E 02	-2.7665E 01	-5.2199E 00
1.7761E 05	5.0336E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.3672E 02	-3.3361E 01	-6.2157E 00
1.8178E 05	5.0378E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.4007E 02	-3.6286E 01	-6.7189E 00
1.8594E 05	5.0420E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.4000E 02	-3.5800E 01	-6.5296E 00
1.9011E 05	5.0462E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.4061E 02	-3.5998E 01	-6.6583E 00
1.9427E 05	4.8404E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.4500E 02	-6.0960E 01	-1.1185E 01
1.9844E 05	5.0150E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.4000E 02	-3.8504E 01	-7.1303E 00
2.0260E 05	5.0819E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.3722E 02	-2.9036E 01	-5.4043E 00
2.0677E 05	5.0178E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.2065E 02	-1.8935E 01	-3.6176E 00
2.1093E 05	5.0178E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.3092E 02	-2.9132E 01	-5.4871E 00
2.1510E 05	5.0277E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.2754E 02	-2.4770E 01	-4.6954E 00
2.1926E 05	5.0432E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.2000E 02	-1.5695E 01	-3.0163E 00
2.2343E 05	5.0447E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.1875E 02	-1.4276E 01	-2.7521E 00
2.2759E 05	5.0375E 02	↑	↑	↑	↑	↑	5.1000E 02	-6.2512E 00	-1.2257E 00
2.3176E 05	4.6652E 02	↑	↑	↑	↑	↑	4.7113E 02	-4.2048E 00	-8.9251E 01
2.3592E 05	3.3578E 02	↑	↑	↑	↑	↑	3.6733E 02	-3.1559E 01	-8.5914E 00
2.4009E 05	3.1382E 02	↑	↑	↑	↑	↑	3.2761E 02	-1.3791E 01	-4.2077E 00
2.4425E 05	2.4684E 02	↑	↑	↑	↑	↑	3.0445E 02	-5.7608E 01	-1.8922E 01

FIGURA 29 - Temperatura do gás ao sair do Aquecedor, A=0

MINIMUM  
3.6662E 01

T3 VERSUS TIME

MAXIMUM  
5.5824E 02

TIME	T3	T3EXP	ET3	EPT3
3.4000E 04	3.7358E 01	6.0003E 01	-2.2642E 01	-3.7736E 01
4.0165E 04	2.0482E 02	2.0971E 02	-2.8902E 00	-1.3782E 00
4.4301E 04	3.8977E 02	2.9569E 02	-5.7200E 00	-1.9344E 00
4.8437E 04	3.1989E 02	3.8795E 02	-8.0562E 00	-2.0791E 00
5.2562E 04	4.6327E 02	4.8511E 02	-1.6839E 01	-3.4711E 00
5.6687E 04	5.2919E 02	5.0576E 02	2.1044E 01	4.1603E 00
6.0813E 04	4.3146E 02	5.5359E 02	-6.3334E 01	-1.1441E 01
6.4938E 04	4.6178E 02	4.8415E 02	-2.6951E 00	-5.5691E 01
6.9064E 04	5.2534E 02	5.9333E 02	-5.9158E 01	-1.1707E 01
7.3189E 04	5.2534E 02	5.2425E 02	-2.3776E 00	3.9131E 01
7.7315E 04	5.3215E 02	5.2008E 02	1.2160E 01	2.3394E 00
8.1441E 04	5.6875E 02	5.0547E 02	4.3291E 01	8.5624E 00
8.5567E 04	5.5019E 02	5.0003E 02	5.8180E 01	1.1636E 01
8.9693E 04	4.7122E 02	4.8081E 02	-9.5872E 00	-1.9943E 00
9.3818E 04	4.3867E 02	4.8014E 02	-4.1268E 01	-8.5949E 00
9.7944E 04	4.3455E 02	4.6500E 02	-3.0353E 01	-6.5276E 00
1.0244E 05	4.3384E 02	4.6500E 02	-3.1163E 01	-6.7018E 00
1.0591E 05	4.3324E 02	4.6500E 02	-3.1478E 01	-6.7694E 00
1.0937E 05	4.3352E 02	4.8003E 02	-4.6537E 01	-9.7161E 00
1.1284E 05	4.9343E 02	5.3855E 02	-4.8124E 01	-8.9357E 00
1.1630E 05	5.1620E 02	5.5003E 02	-3.1803E 01	-6.1450E 00
1.1977E 05	5.2818E 02	5.5795E 02	-3.1948E 01	-5.7260E 00
1.2323E 05	5.2664E 02	5.6547E 02	-4.0329E 01	-7.2204E 00
1.2670E 05	5.2166E 02	5.6203E 02	-4.0343E 01	-7.1785E 00
1.3016E 05	5.1957E 02	5.5123E 02	-3.2631E 01	-5.9203E 00
1.3363E 05	5.1949E 02	5.3001E 02	-1.4507E 01	-2.7372E 00
1.3709E 05	5.1454E 02	5.0917E 02	5.3459E 00	1.0499E 00
1.4056E 05	5.0916E 02	5.0503E 02	4.1626E 00	8.2424E 01
1.4402E 05	3.8877E 02	5.0500E 02	3.2688E 00	6.4729E 01
1.4749E 05	5.0722E 02	5.1821E 02	-1.0989E 01	-2.1206E 00
1.5095E 05	5.0312E 02	5.1033E 02	-4.8809E 00	-9.5703E 01
1.5442E 05	5.0173E 02	5.1731E 02	-1.6058E 01	-3.1041E 00
1.5788E 05	4.9740E 02	5.2000E 02	-2.2599E 01	-4.3460E 00
1.6135E 05	5.0134E 02	5.2030E 02	-1.8657E 01	-3.5878E 00
1.6481E 05	5.0299E 02	5.2336E 02	-2.0968E 01	-4.0063E 00
1.6828E 05	5.0222E 02	5.2503E 02	-2.2184E 01	-4.2854E 00
1.7174E 05	5.0364E 02	5.2503E 02	-2.1769E 01	-4.1644E 00
1.7521E 05	4.9519E 02	5.2503E 02	-2.1356E 01	-4.0873E 00
1.7867E 05	5.0027E 02	5.2503E 02	-3.6494E 01	-7.0182E 00
1.8214E 05	5.0281E 02	5.2222E 02	-2.4733E 01	-4.7111E 00
1.8560E 05	5.0281E 02	5.1055E 02	-9.7712E 00	-1.9135E 00
1.8907E 05	5.0281E 02	5.2033E 02	-1.9124E 01	-3.6759E 00
1.9253E 05	5.0387E 02	5.1254E 02	-1.0754E 01	-2.0891E 00
1.9600E 05	5.0387E 02	5.0500E 02	-1.6335E 00	-3.2347E 01
1.9946E 05	5.0353E 02	5.0000E 02	3.5288E 00	7.0571E 01
2.0293E 05	5.0281E 02	4.9912E 02	3.7466E 00	7.5063E 01
2.0639E 05	4.6752E 02	4.5434E 02	1.3179E 01	2.9038E 00
2.0986E 05	3.1619E 02	3.5247E 02	-1.6476E 01	-4.6718E 00
2.1332E 05	3.1287E 02	3.0301E 02	9.0601E 00	2.9872E 00
2.1679E 05	2.4875E 02	2.8534E 02	-3.7007E 01	-1.2975E 01

UFGPA 30 - Temperatura do n3s ao entrar no TCR (logaritmica) A=0

TIME	T4	MINIMUM 1.6906E 01	T4	VERSUS TIME	MAXIMUM 2.6912E 02
3.600E 04	1.6906E 01	↑	↑	↑	↑
4.016E 04	1.1925E 02	↑	↑	↑	↑
4.432E 04	1.6065E 02	↑	↑	↑	↑
4.848E 04	1.9789E 02	↑	↑	↑	↑
5.264E 04	2.2818E 02	↑	↑	↑	↑
5.680E 04	2.4931E 02	↑	↑	↑	↑
6.096E 04	2.3477E 02	↑	↑	↑	↑
6.512E 04	2.3042E 02	↑	↑	↑	↑
6.928E 04	2.1346E 02	↑	↑	↑	↑
7.344E 04	2.3890E 02	↑	↑	↑	↑
7.760E 04	2.4434E 02	↑	↑	↑	↑
8.176E 04	2.5503E 02	↑	↑	↑	↑
8.592E 04	2.5998E 02	↑	↑	↑	↑
9.008E 04	2.3499E 02	↑	↑	↑	↑
9.424E 04	2.1941E 02	↑	↑	↑	↑
9.840E 04	2.1705E 02	↑	↑	↑	↑
1.0256E 05	2.1651E 02	↑	↑	↑	↑
1.068E 05	2.1630E 02	↑	↑	↑	↑
1.1097E 05	2.1619E 02	↑	↑	↑	↑
1.1514E 05	2.3920E 02	↑	↑	↑	↑
1.1930E 05	2.5169E 02	↑	↑	↑	↑
1.2347E 05	2.5668E 02	↑	↑	↑	↑
1.2763E 05	2.5714E 02	↑	↑	↑	↑
1.3180E 05	2.5676E 02	↑	↑	↑	↑
1.3596E 05	2.5629E 02	↑	↑	↑	↑
1.4013E 05	2.5573E 02	↑	↑	↑	↑
1.4429E 05	2.5541E 02	↑	↑	↑	↑
1.4846E 05	2.5326E 02	↑	↑	↑	↑
1.5262E 05	2.5280E 02	↑	↑	↑	↑
1.5679E 05	2.5240E 02	↑	↑	↑	↑
1.6095E 05	2.5150E 02	↑	↑	↑	↑
1.6512E 05	2.5090E 02	↑	↑	↑	↑
1.6928E 05	2.4738E 02	↑	↑	↑	↑
1.7345E 05	2.4770E 02	↑	↑	↑	↑
1.7761E 05	2.4805E 02	↑	↑	↑	↑
1.8178E 05	2.4815E 02	↑	↑	↑	↑
1.8594E 05	2.4824E 02	↑	↑	↑	↑
1.9011E 05	2.4833E 02	↑	↑	↑	↑
1.9427E 05	2.4151E 02	↑	↑	↑	↑
1.9844E 05	2.4731E 02	↑	↑	↑	↑
2.0260E 05	2.5110E 02	↑	↑	↑	↑
2.0677E 05	2.5022E 02	↑	↑	↑	↑
2.1093E 05	2.5027E 02	↑	↑	↑	↑
2.1510E 05	2.5259E 02	↑	↑	↑	↑
2.1926E 05	2.5358E 02	↑	↑	↑	↑
2.2343E 05	2.5370E 02	↑	↑	↑	↑
2.2759E 05	2.5350E 02	↑	↑	↑	↑
2.3176E 05	2.4057E 02	↑	↑	↑	↑
2.3592E 05	1.8999E 02	↑	↑	↑	↑
2.4009E 05	1.7720E 02	↑	↑	↑	↑
2.4425E 05	1.4730E 02	↑	↑	↑	↑

FIGURA 31 - Temperatura do gás ao sair do TCR (carcaça), A=0

TIME	T8	MINIMUM 1.0334E 00	T8	VERSUS TIME	MAXIMUM 2.6703E 02	T8EXP	ETB	EPTB
3.600E 04	1.0334E 00	↑	-----	-----	-----	5.000E 01	-4.8967E 01	-9.7933E 01
4.0125E 04	1.1253E 02	-----	-----	-----	-----	1.0314E 02	9.3925E 00	9.1065E 00
4.4330E 04	1.5199E 02	-----	-----	-----	-----	1.3255E 02	1.8937E 01	1.4286E 01
4.8455E 04	1.8590E 02	-----	-----	-----	-----	1.5942E 02	2.6488E 01	1.6015E 01
5.2600E 04	2.1349E 02	-----	-----	-----	-----	1.6767E 02	4.5825E 01	2.7331E 01
5.6825E 04	2.3288E 02	-----	-----	-----	-----	2.0000E 02	3.2876E 01	1.6433E 01
6.0950E 04	2.4050E 02	-----	-----	-----	-----	2.0000E 02	2.0497E 01	1.0249E 01
6.5155E 04	2.1569E 02	-----	-----	-----	-----	1.9600E 02	1.9632E 01	1.0013E 01
6.9320E 04	2.0016E 02	-----	-----	-----	-----	1.5756E 02	4.2633E 01	2.7040E 01
7.3465E 04	2.2189E 02	-----	-----	-----	-----	1.6412E 02	5.7762E 01	3.5193E 01
7.7630E 04	2.2744E 02	-----	-----	-----	-----	1.8139E 02	4.5056E 01	2.5391E 01
8.1815E 04	2.3780E 02	-----	-----	-----	-----	2.0000E 02	3.7804E 01	1.9502E 01
8.5980E 04	2.4270E 02	-----	-----	-----	-----	2.0000E 02	4.2704E 01	2.1352E 01
9.0155E 04	2.3435E 02	-----	-----	-----	-----	1.7960E 02	5.4752E 01	3.0486E 01
9.4310E 04	2.1852E 02	-----	-----	-----	-----	1.7000E 02	4.6516E 01	2.8535E 01
9.8475E 04	2.1595E 02	-----	-----	-----	-----	1.7000E 02	4.5948E 01	2.7029E 01
1.0264E 05	2.1531E 02	-----	-----	-----	-----	1.7000E 02	4.5112E 01	2.6654E 01
1.0681E 05	2.1504E 02	-----	-----	-----	-----	1.7000E 02	4.5035E 01	2.6491E 01
1.1097E 05	2.1489E 02	-----	-----	-----	-----	1.8000E 02	3.4886E 01	1.9381E 01
1.1514E 05	2.3718E 02	-----	-----	-----	-----	2.0000E 02	3.2718E 01	1.6002E 01
1.1930E 05	2.5013E 02	-----	-----	-----	-----	2.2000E 02	3.0131E 01	1.3696E 01
1.2347E 05	2.5515E 02	-----	-----	-----	-----	2.2000E 02	3.0154E 01	1.3492E 01
1.2763E 05	2.5569E 02	-----	-----	-----	-----	2.2000E 02	2.6165E 01	1.1399E 01
1.3180E 05	2.5533E 02	-----	-----	-----	-----	2.2000E 02	2.5326E 01	1.1011E 01
1.3598E 05	2.5486E 02	-----	-----	-----	-----	2.3000E 02	2.4859E 01	1.0306E 01
1.4013E 05	2.5436E 02	-----	-----	-----	-----	2.2500E 02	2.9355E 01	1.3051E 01
1.4429E 05	2.5405E 02	-----	-----	-----	-----	2.2000E 02	3.4052E 01	1.5478E 01
1.4846E 05	2.5195E 02	-----	-----	-----	-----	2.2000E 02	3.1951E 01	1.4523E 01
1.5262E 05	2.5147E 02	-----	-----	-----	-----	2.2000E 02	3.1472E 01	1.4305E 01
1.5679E 05	2.5109E 02	-----	-----	-----	-----	2.2000E 02	3.1992E 01	1.4133E 01
1.6095E 05	2.5018E 02	-----	-----	-----	-----	2.2000E 02	3.0180E 01	1.3718E 01
1.6512E 05	2.4874E 02	-----	-----	-----	-----	2.2000E 02	2.8739E 01	1.3063E 01
1.6926E 05	2.4613E 02	-----	-----	-----	-----	2.2000E 02	2.6132E 01	1.1878E 01
1.7345E 05	2.4617E 02	-----	-----	-----	-----	2.2000E 02	2.6372E 01	1.1987E 01
1.7761E 05	2.4674E 02	-----	-----	-----	-----	2.3672E 02	1.0019E 01	4.2324E 00
1.8178E 05	2.4683E 02	-----	-----	-----	-----	2.4000E 02	5.8256E 00	2.9440E 00
1.8594E 05	2.4691E 02	-----	-----	-----	-----	2.4000E 02	5.9090E 00	2.9739E 00
1.9011E 05	2.4699E 02	-----	-----	-----	-----	2.4000E 02	6.9941E 00	2.5142E 00
1.9427E 05	2.4645E 02	-----	-----	-----	-----	2.4000E 02	4.5142E 01	1.8604E 01
1.9844E 05	2.4578E 02	-----	-----	-----	-----	2.2000E 02	2.5783E 01	1.1720E 01
2.0260E 05	2.4971E 02	-----	-----	-----	-----	2.2278E 02	2.6935E 01	1.2090E 01
2.0677E 05	2.4890E 02	-----	-----	-----	-----	2.2226E 02	2.6636E 01	1.1984E 01
2.1093E 05	2.4896E 02	-----	-----	-----	-----	2.2500E 02	2.3955E 01	1.0651E 01
2.1510E 05	2.5118E 02	-----	-----	-----	-----	2.2500E 02	2.6175E 01	1.1633E 01
2.1926E 05	2.5223E 02	-----	-----	-----	-----	2.2419E 02	2.8041E 01	1.2508E 01
2.2343E 05	2.5235E 02	-----	-----	-----	-----	2.2500E 02	2.7351E 01	1.2156E 01
2.2759E 05	2.5220E 02	-----	-----	-----	-----	2.2056E 02	3.1637E 01	1.5344E 01
2.3176E 05	2.4019E 02	-----	-----	-----	-----	2.1475E 02	2.7121E 01	1.3047E 01
2.3592E 05	1.8976E 02	-----	-----	-----	-----	1.7933E 02	1.4824E 01	5.8127E 00
2.4009E 05	1.7620E 02	-----	-----	-----	-----	1.6190E 02	1.4295E 01	9.8294E 00
2.4425E 05	1.4683E 02	-----	-----	-----	-----	1.2917E 02	1.9178E 01	1.4684E 01

FIGURA 32 - Temperatura do gás ao entrar no Resfriador, A=0

MINIMUM  
8.4084E 00

TSL VERSUS TIME

MAXIMUM  
1.5612E 02

TIME	TSL	MINIMUM	TSL	VERSUS TIME	MAXIMUM	TSL	ETSL	EPTSL
3.600E 04	8.4084E 00	8.4084E 00				2.500E 01	-1.6592E 01	-6.6367E 01
4.016E 04	8.1503E 01					8.1599E 01	-6.6559E -02	-8.1598E -02
4.433E 04	1.0686E 02					9.9417E 01	7.4460E 00	7.4997E 00
4.849E 04	1.2732E 02					1.1000E 02	1.7316E 01	1.5742E 01
5.266E 04	1.3809E 02					1.2256E 02	1.5534E 01	1.2675E 01
5.682E 04	1.4671E 02					1.3285E 02	1.3664E 01	1.0435E 01
6.099E 04	1.3837E 02					1.3056E 02	7.7901E 00	5.9655E 00
6.515E 04	1.3591E 02					1.3000E 02	5.9098E 00	4.5600E 00
6.932E 04	1.2534E 02					1.2000E 02	5.3364E 00	4.4473E 00
7.348E 04	1.3225E 02					1.2000E 02	1.5250E 01	1.2705E 01
7.765E 04	1.4052E 02					1.242E 02	1.6107E 01	1.4791E 01
8.181E 04	1.4824E 02					1.2905E 02	1.5184E 01	1.4367E 01
8.598E 04	1.5136E 02					1.4000E 02	1.1360E 01	8.1140E 00
9.014E 04	1.3723E 02					1.2000E 02	1.7230E 01	1.4356E 01
9.431E 04	1.2894E 02					1.2000E 02	6.9419E 00	7.4516E 00
9.847E 04	1.2759E 02					1.2000E 02	7.5895E 00	6.3245E 00
1.0264E 05	1.2726E 02					1.2000E 02	7.2550E 00	6.0459E 00
1.0661E 05	1.2711E 02					1.2900E 02	7.1092E 00	5.9444E 00
1.1097E 05	1.2703E 02					1.2000E 02	7.0307E 00	5.8589E 00
1.1514E 05	1.3537E 02					1.2664E 02	5.7337E 00	4.4226E 00
1.1930E 05	1.4232E 02					1.4000E 02	2.3247E 00	1.6605E 00
1.2347E 05	1.4530E 02					1.4000E 02	5.3010E 00	3.7905E 00
1.2763E 05	1.4600E 02					1.4453E 02	1.4724E 00	1.0183E 00
1.3180E 05	1.4623E 02					1.4250E 02	3.7318E 00	2.6184E 00
1.3596E 05	1.4641E 02					1.4383E 02	2.5730E 00	1.7659E 00
1.4013E 05	1.4656E 02					1.4373E 02	2.8325E 00	1.9707E 00
1.4429E 05	1.4643E 02					1.4444E 02	1.9913E 00	1.3767E 00
1.4846E 05	1.4534E 02					1.4050E 02	4.8421E 00	3.4463E 00
1.5262E 05	1.4509E 02					1.4050E 02	4.5938E 00	3.2859E 00
1.5679E 05	1.4490E 02					1.4050E 02	4.3584E 00	3.1305E 00
1.6095E 05	1.4443E 02					1.4050E 02	3.9201E 00	2.7947E 00
1.6512E 05	1.4388E 02					1.4013E 02	3.5472E 00	2.5313E 00
1.6928E 05	1.4139E 02					1.4000E 02	1.3514E 00	9.6528E -01
1.7345E 05	1.4088E 02					1.4000E 02	8.7691E -01	5.2315E -01
1.7761E 05	1.4102E 02					1.4000E 02	1.0225E 00	7.3335E -01
1.8178E 05	1.4102E 02					1.4000E 02	1.0217E 00	7.2942E -01
1.8594E 05	1.4102E 02					1.4000E 02	1.0204E 00	7.2920E -01
1.9011E 05	1.4102E 02					1.4000E 02	1.0204E 00	7.2881E -01
1.9427E 05	1.3858E 02					1.4000E 02	-1.4215E 00	-1.0154E 00
1.9844E 05	1.4128E 02					1.4000E 02	1.2769E 00	9.1201E -01
2.0260E 05	1.4361E 02					1.4000E 02	6.3149E -01	5.8234E -01
2.0677E 05	1.4406E 02					1.4400E 02	6.2134E -02	4.3143E -02
2.1093E 05	1.4410E 02					1.4400E 02	9.7748E -02	6.7880E -02
2.1510E 05	1.4735E 02					1.4649E 02	8.6316E -01	5.8924E -01
2.1926E 05	1.4792E 02					1.4900E 02	-1.0809E 00	-7.2542E -01
2.2343E 05	1.4798E 02					1.4900E 02	-1.0166E 00	-6.6226E -01
2.2759E 05	1.4790E 02					1.4700E 02	9.0407E -01	6.1501E -01
2.3176E 05	1.4159E 02					1.4248E 02	-8.9091E -01	-6.2523E -01
2.3592E 05	1.2073E 02					1.2535E 02	-5.6046E 00	-6.6915E 00
2.4009E 05	1.1314E 02					1.1850E 02	-5.5970E 00	-4.5213E 00
2.4425E 05	9.4133E 01					1.0218E 02	-6.0269E 00	-7.5971E 00

FIGURA 33 - Temperatura do gás ao sair do Resfriador, A=0

TIME	TIL	TIEX?	FTLL	EPTL
3.600E 04	3.4391E 01	2.500E 01	9.390E 00	3.7563E 01
4.016E 04	8.9984E 01	8.100E 01	8.9842E 00	1.1092E 01
4.430E 04	1.1580E 02	9.9417E 01	1.6385E 01	1.6481E 01
4.849E 04	1.3636E 02	1.1942E 02	1.6942E 01	1.4187E 01
5.260E 04	1.4760E 02	1.2776E 02	1.9321E 01	1.5512E 01
5.682E 04	1.5633E 02	1.3577E 02	2.0557E 01	1.5141E 01
6.099E 04	1.4865E 02	1.3058E 02	1.8063E 01	1.3632E 01
6.515E 04	1.4596E 02	1.3860E 02	7.3625E 00	5.3121E 00
6.932E 04	1.3565E 02	1.2144E 02	1.4207E 01	1.1699E 01
7.349E 04	1.4489E 02	1.2456E 02	2.0329E 01	1.5320E 01
7.765E 04	1.5014E 02	1.3500E 02	1.5143E 01	1.1217E 01
8.181E 04	1.5791E 02	1.4150E 02	1.6406E 01	1.1595E 01
8.598E 04	1.6116E 02	1.4150E 02	1.5662E 01	1.3395E 01
9.014E 04	1.4795E 02	1.1952E 02	2.8748E 01	2.306E 01
9.431E 04	1.3524E 02	1.1950E 02	1.9744E 01	1.6222E 01
9.847E 04	1.3761E 02	1.1950E 02	1.8112E 01	1.5157E 01
1.026E 05	1.3718E 02	1.1950E 02	1.7679E 01	1.4794E 01
1.068E 05	1.3700E 02	1.1950E 02	1.7500E 01	1.4644E 01
1.109E 05	1.3691E 02	1.2015E 02	1.6760E 01	1.3495E 01
1.151E 05	1.4478E 02	1.3271E 02	1.2064E 01	9.0721E 00
1.193E 05	1.5193E 02	1.4300E 02	8.9344E 00	6.247E 00
1.234E 05	1.5501E 02	1.4418E 02	1.0831E 01	7.5113E 00
1.276E 05	1.5582E 02	1.4772E 02	8.1079E 00	5.4088E 00
1.318E 05	1.5610E 02	1.4800E 02	8.0953E 00	5.489E 00
1.359E 05	1.5628E 02	1.5013E 02	6.1516E 00	4.0973E 00
1.401E 05	1.5645E 02	1.5000E 02	6.4457E 00	4.2971E 00
1.442E 05	1.5632E 02	1.4808E 02	6.2466E 00	4.405E 00
1.484E 05	1.5528E 02	1.4800E 02	7.2816E 00	4.920E 00
1.526E 05	1.5501E 02	1.4800E 02	7.0056E 00	4.7336E 00
1.567E 05	1.5481E 02	1.4800E 02	6.8141E 00	4.6941E 00
1.609E 05	1.5434E 02	1.4800E 02	6.3407E 00	4.2843E 00
1.651E 05	1.5363E 02	1.4800E 02	5.6285E 00	3.8030E 00
1.692E 05	1.5136E 02	1.4500E 02	6.3554E 00	4.3830E 00
1.734E 05	1.5080E 02	1.4500E 02	5.8011E 00	4.000E 00
1.776E 05	1.5093E 02	1.4500E 02	5.9300E 00	4.0597E 00
1.817E 05	1.5093E 02	1.4500E 02	5.9263E 00	4.0871E 00
1.859E 05	1.5092E 02	1.4500E 02	5.9240E 00	4.0855E 00
1.901E 05	1.5092E 02	1.4500E 02	5.9233E 00	4.0850E 00
1.942E 05	1.4864E 02	1.4500E 02	3.8410E 00	2.5110E 00
1.984E 05	1.5102E 02	1.4621E 02	4.8124E 00	3.242E 00
2.026E 05	1.5340E 02	1.4722E 02	6.1770E 00	4.1957E 00
2.067E 05	1.5394E 02	1.5000E 02	3.9398E 00	2.6255E 00
2.109E 05	1.5400E 02	1.5037E 02	3.632E 00	2.4150E 00
2.151E 05	1.5710E 02	1.5200E 02	5.0960E 00	3.350E 00
2.192E 05	1.5777E 02	1.5200E 02	5.7713E 00	3.769E 00
2.234E 05	1.5784E 02	1.5200E 02	5.8627E 00	3.8571E 00
2.275E 05	1.5781E 02	1.5200E 02	5.8050E 00	3.8195E 00
2.317E 05	1.5201E 02	1.5025E 02	1.7665E 00	1.1758E 00
2.359E 05	1.3142E 02	1.3431E 02	-2.9150E 00	-2.1699E 00
2.400E 05	1.2329E 02	1.2100E 02	2.2877E 00	1.8907E 00
2.442E 05	1.0567E 02	1.057E 02	-2.8458E-01	-2.8458E-01

FIGURA 34 - Tomografia do gás na Nifitona.

TIME	T7	MINIMUM 1.0305E 01	T7	VERSUS TIME	MAXIMUM 1.0346E 02	TTEXP	ET7	EPT7
3.600E 04	2.000E 01	↑	↑	↑	↑	3.250E 01	-1.250E 01	-3.8462E 01
4.016E 04	6.008E 01	↑	↑	↑	↑	7.279E 01	-1.271E 01	-1.7463E 01
4.433E 04	7.991E 01	↑	↑	↑	↑	7.720E 01	2.708E 00	3.5086E 00
4.849E 04	9.641E 01	↑	↑	↑	↑	8.750E 01	8.913E 00	1.0187E 01
5.266E 04	9.678E 01	↑	↑	↑	↑	8.750E 01	9.288E 00	1.0515E 01
5.682E 04	9.879E 01	↑	↑	↑	↑	8.927E 01	9.525E 00	1.0673E 01
6.099E 04	9.291E 01	↑	↑	↑	↑	8.087E 01	1.203E 01	1.4584E 01
6.515E 04	9.123E 01	↑	↑	↑	↑	8.700E 01	4.232E 00	4.8642E 00
6.932E 04	8.338E 01	↑	↑	↑	↑	8.122E 01	2.126E 00	2.6659E 00
7.348E 04	8.987E 01	↑	↑	↑	↑	8.562E 01	5.314E 00	6.2851E 00
7.765E 04	9.388E 01	↑	↑	↑	↑	9.034E 01	3.536E 00	3.9165E 00
8.181E 04	9.954E 01	↑	↑	↑	↑	9.250E 01	7.040E 00	7.6105E 00
8.596E 04	1.017E 02	↑	↑	↑	↑	9.250E 01	9.287E 00	1.0049E 01
9.014E 04	9.645E 01	↑	↑	↑	↑	8.750E 01	9.576E 00	1.0237E 01
9.431E 04	9.035E 01	↑	↑	↑	↑	8.500E 01	5.358E 00	6.3045E 00
9.847E 04	8.937E 01	↑	↑	↑	↑	8.500E 01	4.378E 00	5.1510E 00
1.026E 05	8.913E 01	↑	↑	↑	↑	8.500E 01	4.138E 00	4.9587E 00
1.068E 05	8.903E 01	↑	↑	↑	↑	8.500E 01	4.034E 00	4.7461E 00
1.109E 05	8.897E 01	↑	↑	↑	↑	8.587E 01	3.102E 00	3.6133E 00
1.151E 05	8.483E 01	↑	↑	↑	↑	8.731E 01	-2.489E 00	-2.8504E 00
1.193E 05	8.906E 01	↑	↑	↑	↑	9.250E 01	-3.436E 00	-3.7145E 00
1.234E 05	9.100E 01	↑	↑	↑	↑	9.250E 01	-1.497E 00	-1.0521E 00
1.276E 05	9.152E 01	↑	↑	↑	↑	9.250E 01	-9.731E-01	-1.5185E 00
1.318E 05	9.175E 01	↑	↑	↑	↑	9.250E 01	-7.473E-01	-8.0795E-01
1.359E 05	9.194E 01	↑	↑	↑	↑	9.516E 01	-3.244E 00	-3.3982E 00
1.401E 05	9.211E 01	↑	↑	↑	↑	9.500E 01	-2.881E 00	-3.0325E 00
1.442E 05	9.204E 01	↑	↑	↑	↑	9.709E 01	-5.094E 00	-5.2054E 00
1.484E 05	9.136E 01	↑	↑	↑	↑	9.500E 01	-3.633E 00	-3.8244E 00
1.526E 05	9.120E 01	↑	↑	↑	↑	9.302E 01	-1.820E 00	-1.9571E 00
1.567E 05	9.108E 01	↑	↑	↑	↑	9.250E 01	-1.412E 00	-1.5270E 00
1.609E 05	9.079E 01	↑	↑	↑	↑	9.250E 01	-1.710E 00	-1.8498E 00
1.651E 05	9.031E 01	↑	↑	↑	↑	9.000E 01	3.312E-01	3.6802E-01
1.692E 05	8.780E 01	↑	↑	↑	↑	8.750E 01	3.050E-01	3.4914E-01
1.734E 05	8.737E 01	↑	↑	↑	↑	8.750E 01	-1.207E-01	-1.3803E-01
1.776E 05	6.746E 01	↑	↑	↑	↑	8.750E 01	-3.797E-02	-4.3405E-02
1.817E 05	8.745E 01	↑	↑	↑	↑	8.753E 01	8.148E-02	9.3085E-02
1.859E 05	8.744E 01	↑	↑	↑	↑	8.750E 01	-5.587E-02	-6.3825E-02
1.901E 05	8.743E 01	↑	↑	↑	↑	8.750E 01	-6.482E-02	-7.3748E-02
1.942E 05	8.702E 01	↑	↑	↑	↑	8.750E 01	-4.719E-01	-5.4192E-01
1.984E 05	8.863E 01	↑	↑	↑	↑	8.610E 01	5.271E-01	5.9835E-01
2.026E 05	9.015E 01	↑	↑	↑	↑	9.138E 01	-1.234E 00	-1.3503E 00
2.067E 05	9.062E 01	↑	↑	↑	↑	9.250E 01	-1.878E 00	-2.0310E 00
2.109E 05	9.064E 01	↑	↑	↑	↑	9.250E 01	-1.554E 00	-2.0047E 00
2.151E 05	9.506E 01	↑	↑	↑	↑	9.250E 01	2.565E 00	2.7730E 00
2.192E 05	9.547E 01	↑	↑	↑	↑	9.500E 01	4.714E-01	4.9625E-01
2.234E 05	9.551E 01	↑	↑	↑	↑	9.531E 01	2.015E-01	2.1147E-01
2.275E 05	9.546E 01	↑	↑	↑	↑	9.250E 01	2.967E 00	3.2081E 00
2.317E 05	9.152E 01	↑	↑	↑	↑	9.250E 01	-9.713E-01	-1.0502E 00
2.359E 05	8.424E 01	↑	↑	↑	↑	8.966E 01	-5.422E 00	-6.0477E 00
2.400E 05	7.855E 01	↑	↑	↑	↑	8.250E 01	-3.941E 00	-4.7772E 00
2.442E 05	6.493E 01	↑	↑	↑	↑	6.937E 01	-4.441E 00	-6.4023E 00

FIGURA 35 - Temperatura de saída da água de arrefecimento, A=0

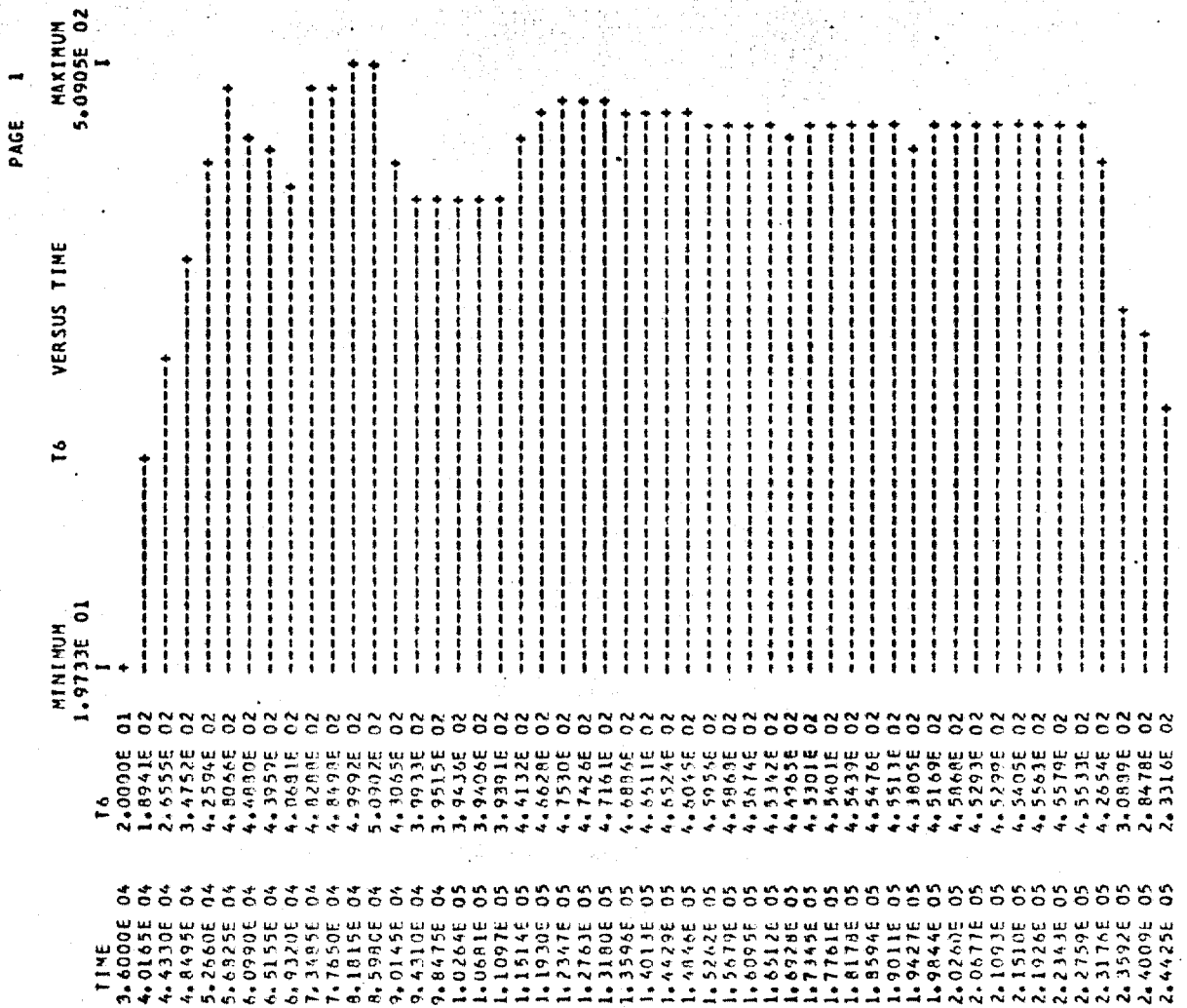


FIGURA - 36 Temperatura média nos blocos de material refratário usados no Aquecedor, A=0

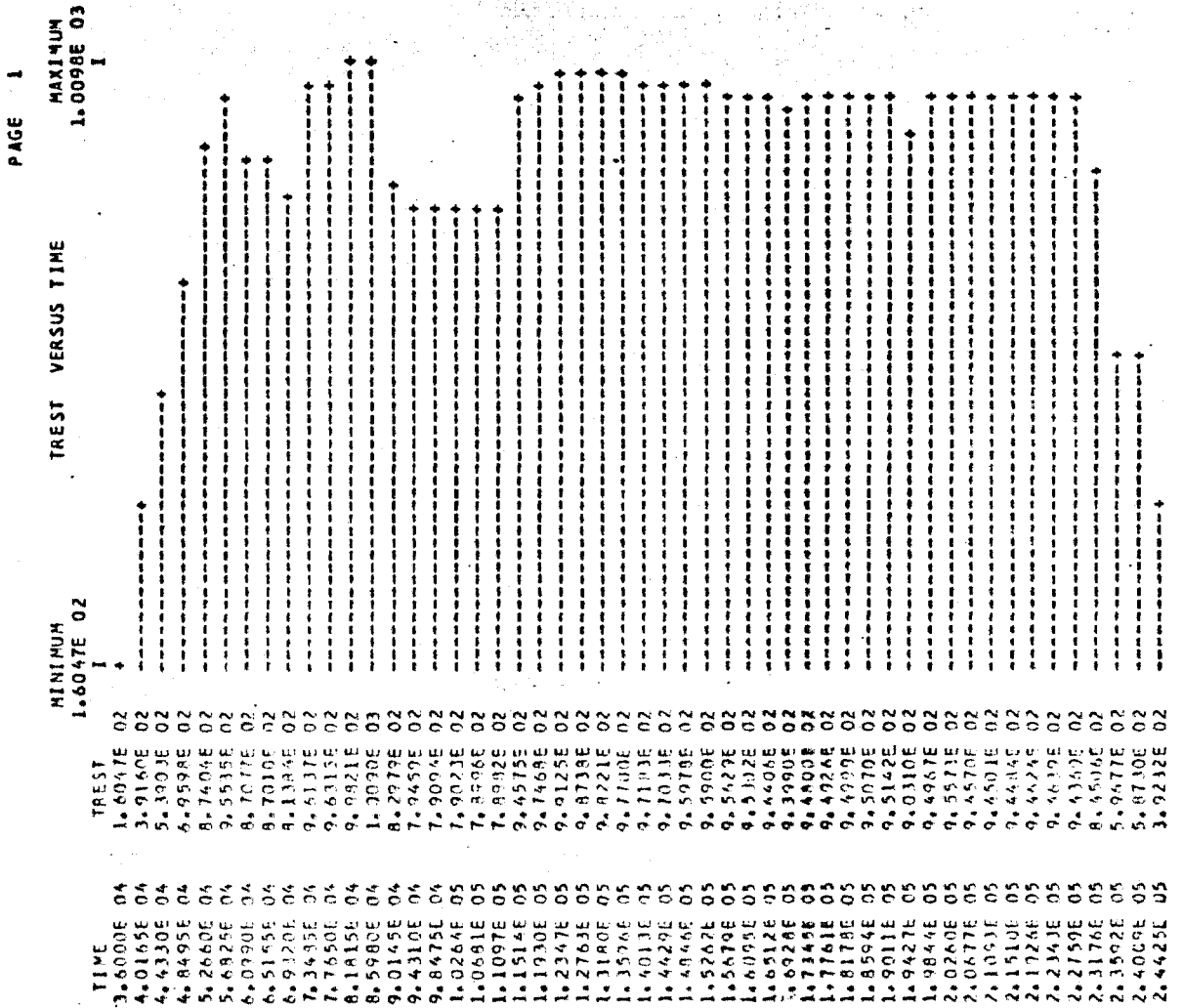


FIGURA 57 - Temperatura média das fitas metálicas aquecedoras, A=0

MINIMUM 4.6946E 00 T1 VERSUS TIME MAXIMUM 2.2538E 02

TIME	T1	TEMP	ETI	EPTI
0.0	2.3000E 01	0.0	0.0	0.0
9.0000E 02	2.5504E 01	0.0	-4.4956E 00	-1.4985E 01
1.8000E 03	5.1825E 01	0.0	-1.7519E -01	-3.3690E -01
2.7000E 03	7.7333E 01	0.0	1.4433E 01	2.2750E 01
3.6000E 03	1.0150E 02	0.0	2.3501E 01	3.0130E 01
4.5000E 03	1.0472E 02	0.0	2.4722E 01	3.0902E 01
5.4000E 03	1.1154E 02	0.0	1.1539E 01	1.1539E 01
6.3000E 03	1.3515E 02	0.0	1.0150E 01	8.1202E 00
7.2000E 03	1.5611E 02	0.0	1.5110E 01	1.0710E 01
8.1000E 03	1.6530E 02	0.0	1.2300E 01	6.0786E 00
9.0000E 03	1.6982E 02	0.0	7.6234E 00	4.8292E 00
9.9000E 03	1.7599E 02	0.0	3.5930E 00	2.3215E 00
1.0800E 04	1.8512E 02	0.0	7.1177E 00	3.19987E 00
1.1700E 04	1.8855E 02	0.0	8.5531E 00	4.7517E 00
1.2600E 04	1.9290E 02	0.0	4.9010E 00	2.6007E 00
1.3500E 04	1.9131E 02	0.0	1.3089E 00	6.8564E -01
1.4400E 04	1.9836E 02	0.0	3.5568E -01	1.7964E -01
1.5300E 04	1.9714E 02	0.0	-2.6645E 00	-1.4322E 00
1.6200E 04	1.9958E 02	0.0	-5.4162E 00	-2.6422E 00
1.7100E 04	2.0611E 02	0.0	1.8926E 00	-2.0992E -01
1.8000E 04	2.0767E 02	0.0	-2.3306E 00	-1.1093E 00
1.8900E 04	2.0441E 02	0.0	-6.5087E 00	-3.1217E 00
1.9800E 04	2.0650E 02	0.0	-8.5689E 00	-3.1953E 00
2.0700E 04	2.0788E 02	0.0	-6.1232E 00	-2.6613E 00
2.1600E 04	2.0825E 02	0.0	-3.7439E 00	-1.7684E 00
2.2500E 04	2.0772E 02	0.0	-4.2009E 00	-2.0193E 00
2.3400E 04	2.0822E 02	0.0	-4.7766E 00	-2.2425E 00
2.4300E 04	2.0758E 02	0.0	-4.4168E 00	-2.0334E 00
2.5200E 04	2.0715E 02	0.0	-4.3498E 00	-2.2877E 00
2.6100E 04	2.1017E 02	0.0	-9.6310E 00	-4.4587E 00
2.7000E 04	2.1721E 02	0.0	-5.1596E 00	-2.5715E 00
2.7900E 04	2.2497E 02	0.0	-5.0294E 00	-2.1857E 00
2.8800E 04	2.2347E 02	0.0	-6.3344E 00	-2.8940E 00
2.9700E 04	2.2200E 02	0.0	-1.0997E 01	-4.7199E 00
3.0600E 04	2.2306E 02	0.0	-1.1941E 01	-5.0313E 00
3.1500E 04	2.2109E 02	0.0	-1.2911E 01	-5.5175E 00
3.2400E 04	2.1580E 02	0.0	-1.3199E 01	-5.7539E 00
3.3300E 04	2.0842E 02	0.0	-1.1584E 01	-5.2657E 00
3.4200E 04	1.9883E 02	0.0	-1.1166E 01	-5.3183E 00
3.5100E 04	1.8987E 02	0.0	-1.2127E 01	-6.0033E 00
3.6000E 04	1.8099E 02	0.0	-1.1014E 01	-5.7354E 00
3.6900E 04	1.6671E 02	0.0	-1.2799E 01	-6.8951E 00
3.7800E 04	1.5199E 02	0.0	-1.0099E 01	-6.1785E 00
3.8700E 04	1.3876E 02	0.0	-4.2384E 00	-2.9539E 00
3.9600E 04	1.2109E 02	0.0	-8.5078E 00	-6.8521E 00
4.0500E 04	1.1238E 02	0.0	-6.6172E 00	-5.5607E 00
4.1400E 04	1.0511E 02	0.0	-4.6935E 00	-4.4435E 00
4.2300E 04	9.8611E 01	0.0	-3.3590E 00	-3.3229E 00
4.3200E 04	8.9066E 01	0.0	-9.1503E -01	-1.0150E 00
4.4100E 04	8.4570E 01	0.0	-4.2998E -01	-5.0586E -01
4.5000E 04	8.3244E 01	0.0	3.6439E 00	3.7099E 00

FIGURA 36 - Temperatura do gás ao entrar no TCR (lado dos tubos), A=1

TIME	T2	MINIMUM	T2	VERSUS TIME	MAXIMUM	TEXP3	ET2	EPT2
0.0	0.0	0.0	1	1	5.177E 02	0.0	0.0	0.0
9.000E 02	8.6103E 01	-----+	-----	-----	-----	0.0	0.0	0.0
1.800E 03	1.4356E 02	-----+	-----	-----	-----	1.000E 02	-1.3397E 01	-1.3897E 01
2.700E 03	1.9868E 02	-----+	-----	-----	-----	1.450E 02	-1.4446E 00	-9.9630E -01
3.600E 03	2.4635E 02	-----+	-----	-----	-----	1.800E 02	1.8582E 01	1.0379E 01
4.500E 03	2.9099E 02	-----+	-----	-----	-----	2.250E 02	2.1349E 01	9.4384E 00
5.400E 03	3.1783E 02	-----+	-----	-----	-----	2.600E 02	3.0990E 01	1.1919E 01
6.300E 03	3.4102E 02	-----+	-----	-----	-----	2.950E 02	2.2829E 01	7.738E 00
7.200E 03	3.6588E 02	-----+	-----	-----	-----	3.200E 02	2.1021E 01	6.5691E 00
8.100E 03	3.8090E 02	-----+	-----	-----	-----	3.400E 02	2.5882E 01	7.6122E 00
9.000E 03	3.8977E 02	-----+	-----	-----	-----	3.500E 02	4.5901E 01	1.3702E 01
9.900E 03	3.9809E 02	-----+	-----	-----	-----	3.700E 02	1.9769E 01	5.3431E 00
1.080E 04	4.0754E 02	-----+	-----	-----	-----	3.800E 02	1.8090E 01	4.7609E 00
1.170E 04	4.1926E 02	-----+	-----	-----	-----	3.900E 02	1.7544E 01	4.4984E 00
1.260E 04	4.2659E 02	-----+	-----	-----	-----	4.000E 02	1.9259E 01	4.8147E 00
1.350E 04	4.3194E 02	-----+	-----	-----	-----	4.150E 02	1.1550E 01	2.7831E 00
1.440E 04	4.3873E 02	-----+	-----	-----	-----	4.250E 02	6.9102E 00	1.6325E 00
1.530E 04	4.4344E 02	-----+	-----	-----	-----	4.350E 02	3.7317E 00	8.5705E -01
1.620E 04	4.4621E 02	-----+	-----	-----	-----	4.400E 02	3.4832E 00	7.9163E -01
1.710E 04	4.5271E 02	-----+	-----	-----	-----	4.450E 02	1.2131E 00	2.7261E -01
1.800E 04	4.5803E 02	-----+	-----	-----	-----	4.500E 02	2.7109E 00	6.0243E -01
1.890E 04	4.5936E 02	-----+	-----	-----	-----	4.550E 02	3.0310E 00	6.6616E -01
1.980E 04	4.6025E 02	-----+	-----	-----	-----	4.600E 02	-6.4429E -01	-1.4009E -01
2.070E 04	4.6279E 02	-----+	-----	-----	-----	4.600E 02	2.5024E -01	5.4401E -02
2.160E 04	4.6563E 02	-----+	-----	-----	-----	4.603E 02	2.4548E 00	5.2890E -01
2.250E 04	4.6523E 02	-----+	-----	-----	-----	4.614E 02	4.2058E 00	9.1146E -01
2.340E 04	4.6395E 02	-----+	-----	-----	-----	4.625E 02	2.7336E 00	5.9106E -01
2.430E 04	4.6411E 02	-----+	-----	-----	-----	4.635E 02	3.7817E -01	8.1578E -02
2.520E 04	4.6448E 02	-----+	-----	-----	-----	4.646E 02	-5.3247E -01	-1.1460E -01
2.610E 04	4.6338E 02	-----+	-----	-----	-----	4.700E 02	-5.1499E 00	-1.0937E 00
2.700E 04	4.6675E 02	-----+	-----	-----	-----	4.750E 02	8.3304E 00	1.7433E 00
2.790E 04	5.0691E 02	-----+	-----	-----	-----	4.900E 02	6.7920E 00	1.3779E 00
2.880E 04	5.4213E 02	-----+	-----	-----	-----	4.900E 02	1.6910E 01	3.4511E 00
2.970E 04	5.1495E 02	-----+	-----	-----	-----	5.000E 02	1.2126E 01	2.4252E 00
3.060E 04	5.1774E 02	-----+	-----	-----	-----	5.000E 02	1.4947E 01	2.9895E 00
3.150E 04	4.9149E 02	-----+	-----	-----	-----	4.900E 02	2.1739E 01	5.6610E 00
3.240E 04	4.4024E 02	-----+	-----	-----	-----	4.880E 02	3.4590E 00	7.1499E -01
3.330E 04	4.0956E 02	-----+	-----	-----	-----	4.650E 02	-2.4755E 01	-5.3237E 00
3.420E 04	3.6582E 02	-----+	-----	-----	-----	4.350E 02	-2.5438E 01	-5.8478E 00
3.510E 04	3.3853E 02	-----+	-----	-----	-----	4.100E 02	-4.4181E 01	-1.0779E 01
3.600E 04	3.0069E 02	-----+	-----	-----	-----	3.760E 02	-3.9471E 01	-1.0442E 01
3.690E 04	2.4204E 02	-----+	-----	-----	-----	3.450E 02	-4.4313E 01	-1.2844E 01
3.780E 04	1.9833E 02	-----+	-----	-----	-----	3.030E 02	-6.0763E 01	-2.0120E 01
3.870E 04	1.6999E 02	-----+	-----	-----	-----	2.600E 02	-6.1556E 01	-2.3719E 01
3.960E 04	1.4753E 02	-----+	-----	-----	-----	2.200E 02	-5.0010E 01	-2.2732E 01
4.050E 04	1.3071E 02	-----+	-----	-----	-----	1.930E 02	-4.2974E 01	-2.2355E 01
4.140E 04	1.1913E 02	-----+	-----	-----	-----	1.700E 02	-3.9289E 01	-2.3111E 01
4.230E 04	1.0979E 02	-----+	-----	-----	-----	1.500E 02	-3.0970E 01	-2.0590E 01
4.320E 04	1.0073E 02	-----+	-----	-----	-----	1.300E 02	-2.0241E 01	-1.5547E 01
4.410E 04	9.3176E 01	-----+	-----	-----	-----	1.200E 02	-1.9272E 01	-1.8350E 01
4.500E 04	8.8094E 01	-----+	-----	-----	-----	1.100E 02	-1.6822E 01	-1.5293E 01
		-----+	-----	-----	-----	1.000E 02	-1.1306E 01	-1.1309E 01

FIGURA 39 - Temperatura do gás ao entrar no aquecedor, A=1

MINIMUM  
0.0 0.0  
I +  
T3L

T3L VERSUS TIME

T3L

MINIMUM  
0.0 0.0  
I +

TIME

MAXIMUM  
6.1748E 02  
I

TIME	T3L	MINIMUM 0.0 0.0 I +	T3L VERSUS TIME	T3L	MAXIMUM 6.1748E 02 I	EPT3L
9.000E 02	0.0	0.0			0.0	0.0
1.800E 03	1.2163E 02	0.0			0.0	-2.8450E 01
2.700E 03	1.8470E 02	0.0			0.0	-1.9695E 01
3.600E 03	2.5177E 02	0.0			0.0	-1.0080E 01
4.500E 03	3.0341E 02	0.0			0.0	-9.4287E 00
5.400E 03	3.6160E 02	0.0			0.0	-4.8431E 00
7.200E 03	3.9229E 02	0.0			0.0	-7.6953E 00
8.100E 03	4.1708E 02	0.0			0.0	-8.3332E 00
9.000E 03	4.4250E 02	0.0			0.0	-4.8390E 00
9.900E 03	4.5769E 02	0.0			0.0	-4.6533E 00
1.080E 04	4.6755E 02	0.0			0.0	-5.5460E 00
1.170E 04	4.7632E 02	0.0			0.0	-5.6734E 00
1.260E 04	4.8577E 02	0.0			0.0	-5.6757E 00
1.350E 04	5.0010E 02	0.0			0.0	-6.5225E 00
1.440E 04	5.0809E 02	0.0			0.0	-7.6199E 00
1.530E 04	5.1541E 02	0.0			0.0	-7.9833E 00
1.620E 04	5.2239E 02	0.0			0.0	-8.3525E 00
1.710E 04	5.2794E 02	0.0			0.0	-8.4993E 00
1.800E 04	5.3091E 02	0.0			0.0	-8.4611E 00
1.890E 04	5.4351E 02	0.0			0.0	-8.0930E 00
1.980E 04	5.4590E 02	0.0			0.0	-9.0151E 00
2.070E 04	5.4949E 02	0.0			0.0	-8.9361E 00
2.160E 04	5.5274E 02	0.0			0.0	-8.4409E 00
2.240E 04	5.5179E 02	0.0			0.0	-8.0944E 00
2.330E 04	5.5004E 02	0.0			0.0	-8.8634E 00
2.410E 04	5.5034E 02	0.0			0.0	-8.8944E 00
2.500E 04	5.5188E 02	0.0			0.0	-9.5283E 00
2.590E 04	5.7875E 02	0.0			0.0	-6.6525E 00
2.680E 04	5.9266E 02	0.0			0.0	-7.3970E 00
2.770E 04	6.0372E 02	0.0			0.0	-7.1202E 00
2.860E 04	6.1033E 02	0.0			0.0	-6.1038E 00
2.950E 04	6.1431E 02	0.0			0.0	-5.4910E 00
3.040E 04	6.1748E 02	0.0			0.0	-1.9875E 00
3.130E 04	5.8054E 02	0.0			0.0	-7.1139E 00
3.220E 04	5.1087E 02	0.0			0.0	-1.1819E 01
3.310E 04	4.7564E 02	0.0			0.0	-1.2727E 01
3.400E 04	4.1896E 02	0.0			0.0	-1.6209E 01
3.490E 04	3.8721E 02	0.0			0.0	-3.1224E 01
3.580E 04	3.3857E 02	0.0			0.0	-1.8417E 01
3.670E 04	2.6044E 02	0.0			0.0	-2.5538E 01
3.760E 04	2.0971E 02	0.0			0.0	-2.7657E 01
3.850E 04	1.7757E 02	0.0			0.0	-2.5972E 01
3.940E 04	1.5397E 02	0.0			0.0	-2.6689E 01
4.030E 04	1.3520E 02	0.0			0.0	-2.6914E 01
4.120E 04	1.2251E 02	0.0			0.0	-2.5753E 01
4.210E 04	1.1247E 02	0.0			0.0	-2.2433E 01
4.300E 04	1.0351E 02	0.0			0.0	-2.0377E 01
4.390E 04	9.5242E 01	0.0			0.0	-2.0632E 01
4.480E 04	8.9970E 01	0.0			0.0	-1.8209E 01

MAXIMUM  
6.1517E 02

VERSUS TIME

T3

MINIMUM  
0.0

T3

TIME  
0.0

TIME	T3	MINIMUM	T3	VERSUS TIME	MAXIMUM	TEXP7	ET3	EPT3
0.0	0.0	0.0	0.0		6.1517E 02	0.0	0.0	0.0
9.000E 02	1.1123E 02	-----	-----	-----	-----	0.0	0.0	0.0
1.800E 03	1.1782E 02	-----	-----	-----	-----	2.050E 02	-2.7179E 01	-7.3102E 03
2.700E 03	2.4295E 02	-----	-----	-----	-----	2.450E 02	-2.0527E 00	-8.3783E 01
3.600E 03	2.9694E 02	-----	-----	-----	-----	3.100E 02	-1.3062E 01	-4.2136E 03
4.500E 03	3.5460E 02	-----	-----	-----	-----	3.650E 02	-1.0399E 01	-2.8492E 03
5.400E 03	3.8725E 02	-----	-----	-----	-----	4.000E 02	-1.2752E 01	-3.1881E 03
6.300E 03	4.1304E 02	-----	-----	-----	-----	4.150E 02	-4.9575E 00	-1.1866E 03
7.200E 03	4.3846E 02	-----	-----	-----	-----	4.450E 02	-6.5366E 00	-1.4689E 03
8.100E 03	4.5474E 02	-----	-----	-----	-----	4.600E 02	-5.2639E 00	-1.1443E 03
9.000E 03	4.6473E 02	-----	-----	-----	-----	4.800E 02	-1.5266E 01	-3.1304E 03
9.900E 03	4.7351E 02	-----	-----	-----	-----	4.900E 02	-1.6491E 01	-3.3656E 03
1.050E 04	4.8287E 02	-----	-----	-----	-----	4.990E 02	-1.6125E 01	-3.2316E 03
1.170E 04	4.9128E 02	-----	-----	-----	-----	5.090E 02	-1.1727E 01	-2.3030E 03
1.260E 04	5.0543E 02	-----	-----	-----	-----	5.200E 02	-1.0567E 01	-3.1737E 03
1.350E 04	5.1285E 02	-----	-----	-----	-----	5.200E 02	-7.1523E 00	-1.3755E 03
1.440E 04	5.1962E 02	-----	-----	-----	-----	5.400E 02	-2.9379E 01	-5.1786E 03
1.530E 04	5.2569E 02	-----	-----	-----	-----	5.500E 02	-3.2508E 01	-5.7395E 03
1.620E 04	5.2856E 02	-----	-----	-----	-----	5.610E 02	-3.2442E 01	-5.7625E 03
1.710E 04	5.3495E 02	-----	-----	-----	-----	5.680E 02	-3.1055E 01	-5.8195E 03
1.800E 04	5.4113E 02	-----	-----	-----	-----	5.790E 02	-3.3870E 01	-5.8905E 03
1.890E 04	5.4379E 02	-----	-----	-----	-----	5.800E 02	-3.6206E 01	-6.2424E 03
1.930E 04	5.4430E 02	-----	-----	-----	-----	5.820E 02	-3.7703E 01	-6.4782E 03
2.010E 04	5.4729E 02	-----	-----	-----	-----	5.880E 02	-4.0705E 01	-6.9228E 03
2.100E 04	5.5056E 02	-----	-----	-----	-----	5.900E 02	-3.9438E 01	-6.6875E 03
2.200E 04	5.5010E 02	-----	-----	-----	-----	5.900E 02	-3.9898E 01	-6.7624E 03
2.300E 04	5.4825E 02	-----	-----	-----	-----	5.900E 02	-4.1754E 01	-7.0170E 03
2.400E 04	5.4877E 02	-----	-----	-----	-----	5.900E 02	-4.1234E 01	-6.9888E 03
2.500E 04	5.5587E 02	-----	-----	-----	-----	5.900E 02	-4.5126E 01	-7.5842E 03
2.610E 04	5.7547E 02	-----	-----	-----	-----	6.090E 02	-2.8531E 01	-4.7237E 03
2.700E 04	5.8974E 02	-----	-----	-----	-----	6.100E 02	-2.0259E 01	-3.3211E 03
2.800E 04	6.0089E 02	-----	-----	-----	-----	6.200E 02	-1.8108E 01	-3.0819E 03
2.950E 04	6.0798E 02	-----	-----	-----	-----	6.200E 02	-1.4040E 01	-2.0528E 03
3.000E 04	6.1192E 02	-----	-----	-----	-----	6.200E 02	-1.3080E 01	-2.0528E 03
3.150E 04	6.1517E 02	-----	-----	-----	-----	6.300E 02	-1.6828E 01	-2.6627E 03
3.240E 04	6.2053E 02	-----	-----	-----	-----	6.500E 02	-2.4473E 01	-4.0451E 03
3.300E 04	6.1377E 02	-----	-----	-----	-----	6.550E 02	-4.1230E 01	-7.4254E 03
3.420E 04	6.2646E 02	-----	-----	-----	-----	6.500E 02	-4.3543E 01	-8.3737E 03
3.500E 04	6.2118E 02	-----	-----	-----	-----	6.700E 02	-4.8822E 01	-1.0383E 03
3.610E 04	6.8851E 02	-----	-----	-----	-----	4.200E 02	-3.1492E 01	-7.4961E 03
3.600E 04	3.4074E 02	-----	-----	-----	-----	3.950E 02	-5.4259E 01	-1.3736E 03
3.690E 04	2.6594E 02	-----	-----	-----	-----	3.000E 02	-5.4058E 01	-1.6893E 03
3.780E 04	2.1326E 02	-----	-----	-----	-----	2.620E 02	-4.8737E 01	-1.8602E 03
3.870E 04	1.8007E 02	-----	-----	-----	-----	2.180E 02	-3.7934E 01	-1.7401E 03
3.960E 04	1.3674E 02	-----	-----	-----	-----	1.600E 02	-3.3977E 01	-1.7883E 03
4.050E 04	1.5602E 02	-----	-----	-----	-----	1.600E 02	-2.4255E 01	-1.4535E 03
4.140E 04	1.2369E 02	-----	-----	-----	-----	1.470E 02	-2.3306E 01	-1.5354E 03
4.230E 04	1.1345E 02	-----	-----	-----	-----	1.300E 02	-1.6546E 01	-1.2729E 03
4.320E 04	1.0450E 02	-----	-----	-----	-----	1.200E 02	-1.5497E 01	-1.2914E 03
4.410E 04	9.6051E 01	-----	-----	-----	-----	1.002E 02	-4.1480E 01	-9.1433E 03
4.500E 04	9.0523E 01	-----	-----	-----	-----	9.500E 01	-4.4710E 00	-4.7126E 03

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES

FIGURA 41 - Temperatura do gás ao entrar no TCR (carteira), A=1

MINIMUM T4 VERSUS TIME MAXIMUM  
0.0 3.200E 02  
1

TIME	T4	MINIMUM	T4	VERSUS TIME	MAXIMUM
9.000E 02	0.0	4.7214E 01	1		
1.800E 03	8.3670E 01				
2.700E 03	1.1870E 02				
3.600E 03	1.4993E 02				
4.500E 03	1.6649E 02				
5.400E 03	1.7944E 02				
6.300E 03	2.0951E 02				
7.200E 03	2.2736E 02				
8.100E 03	2.3840E 02				
9.000E 03	2.4440E 02				
9.900E 03	2.5063E 02				
1.0E 04	2.5980E 02				
1.1E 04	2.6588E 02				
1.2E 04	2.7107E 02				
1.3E 04	2.7170E 02				
1.4E 04	2.7784E 02				
1.5E 04	2.7896E 02				
1.6E 04	2.8130E 02				
1.7E 04	2.8758E 02				
1.8E 04	2.8847E 02				
1.9E 04	2.9003E 02				
2.0E 04	2.9176E 02				
2.1E 04	2.9272E 02				
2.2E 04	2.9224E 02				
2.3E 04	2.9215E 02				
2.4E 04	2.9180E 02				
2.5E 04	2.9174E 02				
2.6E 04	3.0127E 02				
2.7E 04	3.1131E 02				
2.8E 04	3.1817E 02				
2.9E 04	3.1816E 02				
3.0E 04	3.1843E 02				
3.1E 04	3.1994E 02				
3.2E 04	3.1045E 02				
3.3E 04	2.90065E 02				
3.4E 04	2.7587E 02				
3.5E 04	2.5525E 02				
3.6E 04	2.4051E 02				
3.7E 04	2.2198E 02				
3.8E 04	1.9273E 02				
3.9E 04	1.6823E 02				
4.0E 04	1.4976E 02				
4.1E 04	1.3048E 02				
4.2E 04	1.1891E 02				
4.3E 04	1.1011E 02				
4.4E 04	1.0211E 02				
4.5E 04	9.3282E 01				
4.6E 04	8.7665E 01				
4.7E 04	8.5207E 01				

FIGURA 42 - Temperatura do gás ao sair do TCR (câmara), A=1

MINIMUM -9.9266E-02  
 MAXIMUM 2.9049E 02  
 VERSUS TIME  
 T8 I

TIME	T8	T8	TEXT2	ET3	EPT8
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9.000E 02	3.5572E 01	5.5222E 00	3.0050E 01	5.5222E 00	1.8377E 01
1.800E 03	6.5704E 01	1.5654E 01	5.0050E 01	1.5654E 01	3.1276E 01
2.700E 03	9.7425E 01	2.9375E 01	6.8050E 01	2.9375E 01	4.3167E 01
3.600E 03	1.7419E 02	4.1141E 01	8.5050E 01	4.1141E 01	4.8373E 01
4.500E 03	1.4253E 02	4.2485E 01	1.0005E 02	4.2485E 01	4.2464E 01
5.400E 03	1.5190E 02	3.6847E 01	1.1505E 02	3.6847E 01	3.2027E 01
6.300E 03	1.7794E 02	3.2891E 01	1.4505E 02	3.2891E 01	2.2576E 01
7.200E 03	2.0093E 02	3.5784E 01	1.6505E 02	3.5784E 01	2.1681E 01
8.100E 03	2.1344E 02	3.3393E 01	1.8005E 02	3.3393E 01	1.8545E 01
9.000E 03	2.1958E 02	2.7528E 01	1.9205E 02	2.7528E 01	1.4334E 01
9.900E 03	2.2714E 02	2.7094E 01	2.0005E 02	2.7094E 01	1.3543E 01
1.080E 04	2.3484E 02	2.5793E 01	2.0935E 02	2.5793E 01	1.2339E 01
1.170E 04	2.4150E 02	2.5447E 01	2.1605E 02	2.5447E 01	1.1778E 01
1.260E 04	2.4809E 02	2.6032E 01	2.2005E 02	2.6032E 01	1.1830E 01
1.350E 04	2.5439E 02	1.9344E 01	2.2905E 02	1.9344E 01	8.4443E 00
1.440E 04	2.5929E 02	1.8003E 01	2.3505E 02	1.8003E 01	7.6591E 00
1.530E 04	2.6399E 02	1.1238E 01	2.4005E 02	1.1238E 01	4.6049E 00
1.620E 04	2.6826E 02	8.2105E 00	2.4305E 02	8.2105E 00	3.3100E 00
1.710E 04	2.7192E 02	1.1941E 01	2.5005E 02	1.1941E 01	4.7754E 00
1.800E 04	2.7545E 02	1.0404E 01	2.5505E 02	1.0404E 01	4.0791E 00
1.890E 04	2.7872E 02	4.6685E 00	2.6005E 02	4.6685E 00	1.7952E 00
1.980E 04	2.8182E 02	4.1714E 00	2.6005E 02	4.1714E 00	1.5979E 00
2.070E 04	2.8473E 02	3.6777E 00	2.6305E 02	3.6777E 00	1.3881E 00
2.160E 04	2.8745E 02	6.0308E 00	2.6205E 02	6.0308E 00	2.3014E 00
2.250E 04	2.8999E 02	5.5964E 00	2.6205E 02	5.5964E 00	2.1356E 00
2.340E 04	2.9231E 02	3.4832E 00	2.6405E 02	3.4832E 00	1.3191E 00
2.430E 04	2.9444E 02	3.2900E 00	2.6405E 02	3.2900E 00	1.2460E 00
2.520E 04	2.9711E 02	3.0608E 00	2.6405E 02	3.0608E 00	1.1592E 00
2.610E 04	2.9761E 02	5.6323E 01	2.7205E 02	5.6323E 01	2.0703E 01
2.700E 04	2.9717E 02	4.5208E 00	2.7705E 02	4.5208E 00	1.6317E 00
2.790E 04	2.9684E 02	7.5935E 00	2.8105E 02	7.5935E 00	2.7018E 00
2.880E 04	2.9622E 02	5.1726E 00	2.8505E 02	5.1726E 00	1.8146E 00
2.970E 04	2.9520E 02	8.4741E 01	2.9005E 02	8.4741E 01	2.9216E 01
3.060E 04	2.9414E 02	9.0332E 02	2.9005E 02	9.0332E 02	3.1444E 02
3.150E 04	2.9406E 02	5.9851E 00	2.9005E 02	5.9851E 00	2.0635E 00
3.240E 04	2.9362E 02	8.4329E 00	2.7805E 02	8.4329E 00	3.0329E 00
3.330E 04	2.9289E 02	1.0156E 01	2.6705E 02	1.0156E 01	3.8031E 00
3.420E 04	2.9244E 02	9.6053E 00	2.5050E 02	9.6053E 00	3.8413E 00
3.510E 04	2.9289E 02	1.3157E 01	2.4005E 02	1.3157E 01	5.4811E 00
3.600E 04	2.9153E 02	1.2521E 01	2.2405E 02	1.2521E 01	5.5883E 00
3.690E 04	1.8898E 02	1.6069E 01	2.0505E 02	1.6069E 01	7.8365E 00
3.780E 04	1.6650E 02	1.5446E 01	1.8205E 02	1.5446E 01	8.4843E 00
3.870E 04	1.5945E 02	1.0605E 01	1.6005E 02	1.0605E 01	6.6258E 00
3.960E 04	1.3174E 02	1.3312E 01	1.4505E 02	1.3312E 01	9.1775E 00
4.050E 04	1.1840E 02	1.0255E 01	1.2905E 02	1.0255E 01	7.9463E 00
4.140E 04	1.1038E 02	7.6684E 00	1.1805E 02	7.6684E 00	6.4959E 00
4.230E 04	1.0274E 02	5.2882E 00	1.0405E 02	5.2882E 00	4.8942E 00
4.320E 04	9.4390E 01	4.8602E 00	9.9050E 01	4.8602E 00	4.9058E 00
4.410E 04	8.7601E 01	2.4472E 00	9.0050E 01	2.4472E 00	2.7176E 00
4.500E 04	8.4853E 01	1.8027E 00	8.3050E 01	1.8027E 00	2.1706E 00

FIGURA 43 - Temperatura do gás ao entrar no Resfriador, A=1

MAXIMUM  
2.1030E 02

T5L VERSUS TIME

MINIMUM  
0.0

TIME	T5L	MINIMUM	T5L	VERSUS TIME	MAXIMUM	TEXP9	ET5L	EPT5L
0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0
9.000E 02	3.0698E 01				2.8000E 01	2.6982E 00	9.6365E 00	
1.8000E 03	5.2522E 01				4.0000E 01	1.2522E 01	3.1306E 01	
2.7000E 03	7.5282E 01				4.9000E 01	2.6282E 01	5.3637E 01	
3.6000E 03	9.5759E 01				6.0000E 01	3.5759E 01	5.9598E 01	
4.5000E 03	1.0741E 02				8.0000E 01	2.7409E 01	3.4261E 01	
5.4000E 03	1.1407E 02				9.5000E 01	1.9069E 01	2.0073E 01	
6.3000E 03	1.3113E 02				1.1000E 02	2.3130E 01	2.1027E 01	
7.2000E 03	1.4927E 02				1.2500E 02	2.4267E 01	1.9414E 01	
8.1000E 03	1.5821E 02				1.4000E 02	1.8205E 01	1.3004E 01	
9.0000E 03	1.6753E 02				1.5000E 02	1.2594E 01	8.3970E 00	
1.0800E 04	1.7319E 02				1.5800E 02	9.5316E 00	6.0126E 00	
1.1700E 04	1.7815E 02				1.6000E 02	1.3195E 01	8.2468E 00	
1.2600E 04	1.8147E 02				1.6600E 02	1.2147E 01	7.3176E 00	
1.3500E 04	1.8296E 02				1.7200E 02	9.4742E 00	5.5082E 00	
1.4400E 04	1.8632E 02				1.8000E 02	2.9622E 00	1.6456E 00	
1.5300E 04	1.8802E 02				1.8000E 02	1.9764E 00	1.0402E 00	
1.6200E 04	1.8872E 02				1.8000E 02	1.2798E 00	6.7357E-01	
1.7100E 04	1.9271E 02				1.9000E 02	2.7080E 00	1.4253E 00	
1.8000E 04	1.9515E 02				1.9500E 02	1.4923E-01	7.6529E-02	
1.8900E 04	1.9465E 02				2.0000E 02	5.3549E 00	2.6774E 00	
1.9800E 04	1.9513E 02				2.0000E 02	4.8698E 00	2.4344E 00	
2.0700E 04	1.9223E 02				1.9500E 02	2.7694E 00	1.4202E 00	
2.1600E 04	1.9307E 02				1.9500E 02	1.9283E 00	9.8987E-01	
2.2500E 04	1.9271E 02				1.9500E 02	2.2097E 00	1.1742E 00	
2.3400E 04	1.9253E 02				1.9500E 02	2.4739E 00	1.2686E 00	
2.4300E 04	1.9234E 02				1.9500E 02	2.6579E 00	1.3630E 00	
2.5200E 04	1.9216E 02				1.9500E 02	2.840E 00	1.4585E 00	
2.6100E 04	1.9701E 02				2.0300E 02	5.9923E 00	2.9519E 00	
2.7000E 04	2.0431E 02				2.0500E 02	6.8565E-01	3.3447E-01	
2.7900E 04	2.0905E 02				2.1000E 02	9.5160E-01	4.5314E-01	
2.8800E 04	2.1011E 02				2.1500E 02	4.8870E 00	2.2730E 00	
2.9700E 04	2.0931E 02				2.1800E 02	8.6746E 00	3.9792E 00	
3.0600E 04	2.0994E 02				2.1900E 02	9.0613E 00	4.1376E 00	
3.1500E 04	2.0598E 02				2.1800E 02	1.2117E 01	5.8584E 00	
3.2400E 04	1.9505E 02				2.1000E 02	1.3947E 01	6.6414E 00	
3.3300E 04	1.8737E 02				2.0000E 02	1.2628E 01	6.3138E 00	
3.4200E 04	1.7606E 02				1.7000E 02	1.3945E 01	7.3195E 00	
3.5100E 04	1.6685E 02				1.7000E 02	1.3324E 01	8.1139E 00	
3.6000E 04	1.6040E 02				1.5900E 02	3.8597E 01	1.1596E 01	
3.6900E 04	1.2495E 02				1.4000E 02	1.5052E 01	1.0752E 01	
3.7800E 04	1.1246E 02				1.2200E 02	9.5375E 00	7.8176E 00	
3.8700E 04	9.9744E 01				1.1600E 02	1.6256E 01	1.4014E 01	
3.9600E 04	9.0439E 01				1.0000E 02	9.5614E 00	9.5614E 00	
4.0500E 04	8.4261E 01				9.3000E 01	8.7386E 00	9.3964E 00	
4.1400E 04	7.8693E 01				8.5000E 01	6.3072E 00	7.4203E 00	
4.2300E 04	7.2669E 01				7.8000E 01	5.3311E 00	6.8347E 00	
4.3200E 04	6.7978E 01				7.0000E 01	2.0225E 00	2.8893E 00	
4.4100E 04	6.6043E 01				6.4000E 01	2.0429E 00	3.1920E 00	

FIGURA 44- Temperatura do gás ao sair do Resfriador, A=7

TIME	TIL	MINIMUM	TIL	VERSUS TIME	MAXIMUM	TEXTPO	EYIL	EPTIL
0.0	0.0	0.0	0.0		2.271E 02	0.0	0.0	0.0
9.000E 02	3.0646E 01					3.000E 01	6.4622E-01	2.1541E 00
1.800E 03	6.1041E 01					5.000E 01	1.1041E 01	3.2082E 01
2.700E 03	8.4865E 01					6.200E 01	2.2865E 01	3.6879E 01
3.600E 03	1.0897E 02					7.700E 01	3.1968E 01	4.1517E 01
4.500E 03	1.0355E 02					8.000E 01	2.3548E 01	2.9434E 01
5.400E 03	1.1551E 02					1.000E 02	1.5508E 01	1.5508E 01
6.300E 03	1.4327E 02					1.250E 02	1.8273E 01	1.4617E 01
7.200E 03	1.6081E 02					1.400E 02	2.0810E 01	1.4864E 01
8.100E 03	1.6750E 02					1.520E 02	1.5501E 01	1.0199E 01
9.000E 03	1.7155E 02					1.620E 02	9.5488E 00	5.8943E 00
9.900E 03	1.7465E 02					1.710E 02	7.6451E 00	4.4708E 00
1.080E 04	1.8844E 02					1.780E 02	1.0435E 01	5.8629E 00
1.170E 04	1.8970E 02					1.820E 02	7.0957E 00	4.2284E 00
1.260E 04	1.9521E 02					1.890E 02	7.2106E 00	3.8355E 00
1.350E 04	1.9117E 02					1.900E 02	1.1709E 00	6.1627E-01
1.440E 04	1.9649E 02					1.980E 02	4.2262E 00	2.1344E 00
1.530E 04	2.0223E 02					2.000E 02	3.2149E 00	1.7574E 00
1.620E 04	2.0212E 02					2.020E 02	1.1674E-01	5.7817E-02
1.710E 04	2.0888E 02					2.070E 02	1.8769E 00	9.0570E-01
1.800E 04	2.0853E 02					2.100E 02	1.4651E 00	6.9765E-01
1.890E 04	2.0438E 02					2.110E 02	6.6243E 00	3.1395E 00
1.980E 04	2.0875E 02					2.130E 02	4.2525E 00	1.9955E 00
2.070E 04	2.1008E 02					2.120E 02	1.9182E 00	9.0483E-01
2.160E 04	2.0900E 02					2.120E 02	3.9929E 00	1.4164E 00
2.250E 04	2.0871E 02					2.100E 02	1.2865E 00	6.1264E-01
2.340E 04	2.0953E 02					2.110E 02	1.4719E 00	6.9737E-01
2.430E 04	2.0838E 02					2.110E 02	2.0165E 00	1.2401E 00
2.520E 04	2.0820E 02					2.110E 02	2.8049E 00	1.3238E 00
2.610E 04	2.1241E 02					2.190E 02	6.5895E 00	3.0039E 00
2.700E 04	2.2235E 02					2.240E 02	1.6454E 00	7.3457E-01
2.790E 04	2.2711E 02					2.280E 02	8.5265E-01	3.9195E-01
2.880E 04	2.2359E 02					2.300E 02	6.4129E 00	2.7582E 00
2.970E 04	2.2300E 02					2.320E 02	8.9950E 00	3.8772E 00
3.060E 04	2.2460E 02					2.330E 02	6.4030E 00	3.6054E 00
3.150E 04	2.2123E 02					2.320E 02	1.0770E 01	4.6421E 00
3.240E 04	2.1533E 02					2.270E 02	1.1667E 01	5.1399E 00
3.330E 04	2.0786E 02					2.190E 02	1.1142E 01	5.0875E 00
3.420E 04	1.9721E 02					2.090E 02	1.1788E 01	5.6401E 00
3.510E 04	1.8900E 02					2.000E 02	1.1001E 01	5.5005E 00
3.600E 04	1.7969E 02					1.900E 02	1.0308E 01	5.4255E 00
3.690E 04	1.6299E 02					1.770E 02	1.4014E 01	7.9177E 00
3.780E 04	1.4964E 02					1.600E 02	1.0363E 01	6.4770E 00
3.870E 04	1.3616E 02					1.410E 02	4.8390E 00	3.4319E 00
3.960E 04	1.1669E 02					1.300E 02	1.3314E 01	1.0241E 01
4.050E 04	1.1188E 02					1.180E 02	6.1232E 00	5.1891E 00
4.140E 04	1.0342E 02					1.100E 02	6.5793E 00	5.9812E 00
4.230E 04	9.1569E 01					1.000E 02	2.54312E 00	2.4312E 00
4.320E 04	8.6543E 01					9.000E 01	3.4508E 00	3.8404E 00
4.410E 04	8.4482E 01					8.500E 01	5.1787E-01	6.0926E-01
4.500E 04	8.3353E 01					8.000E 01	3.3527E 00	4.1907E 00

FIGURA 45 - Temperatura do gás na bifurcação, A=1

MINIMUM  
1.7116E 01  
I

T7 VERSUS TIME

MAXIMUM  
5.3163E 01  
I

TIME	T7	MINIMUM	T7	VERSUS TIME	MAXIMUM	TEXTPI	ET7	EPY7
0.0	2.0000E 01	1.7116E 01	1.7116E 01		5.3163E 01	0.0	0.0	0.0
9.0000E 02	1.9145E 01					1.5000E 01	1.4542E-01	7.6535E-01
1.8000E 03	2.2173E 01					2.0000E 01	2.1734E 00	1.0667E 01
2.7000E 03	2.5698E 01					2.1000E 01	4.6961E 00	2.2372E 01
3.6000E 03	2.9070E 01					2.3000E 01	5.5697E 00	2.3701E 01
4.5000E 03	3.1256E 01					2.5000E 01	6.2557E 00	2.5023E 01
5.4000E 03	3.2540E 01					2.7000E 01	5.5487E 00	2.0202E 01
6.3000E 03	3.6792E 01					3.5000E 01	2.7919E 00	5.2115E 00
7.2000E 03	4.0012E 01					3.7500E 01	2.5112E 00	6.6970E 00
8.1000E 03	4.2000E 01					4.0000E 01	1.9597E 00	4.9994E 00
9.0000E 03	4.3322E 01					4.3000E 01	3.2231E-01	7.4955E-01
9.9000E 03	4.4100E 01					4.5000E 01	-9.0021E-01	-2.0005E 00
1.0800E 04	4.5783E 01					4.6000E 01	-2.1452E-01	-4.7165E-01
1.1700E 04	4.7449E 01					4.6000E 01	3.4406E 00	7.8377E 00
1.2600E 04	4.8437E 01					4.4100E 01	4.3966E 00	9.8335E 00
1.3500E 04	4.8807E 01					4.4000E 01	4.8067E 00	1.0924E 01
1.4400E 04	4.9786E 01					4.4900E 01	4.8962E 00	1.0867E 01
1.5300E 04	5.0658E 01					5.0500E 01	1.5823E-01	-1.4935E-01
1.6200E 04	5.0924E 01					5.1000E 01	-7.6157E-02	-1.4935E-01
1.7100E 04	5.1617E 01					5.2000E 01	-1.6306E-01	-3.5204E-01
1.8000E 04	5.2469E 01					5.3000E 01	-9.1102E-01	-9.6419E-01
1.8900E 04	5.2629E 01					5.4000E 01	-1.3705E 00	-2.5385E 00
1.9800E 04	5.3155E 01					5.5000E 01	-8.4584E-01	-1.5054E 00
2.0700E 04	4.2225E 01					4.0000E 01	2.2245E 00	5.5621E 00
2.1600E 04	4.2259E 01					4.0000E 01	2.2538E 00	5.6466E 00
2.2500E 04	4.2004E 01					3.7000E 01	3.0043E 00	7.7032E 00
2.3400E 04	4.1702E 01					3.5000E 01	3.7025E 00	9.7430E 00
2.4300E 04	4.1512E 01					3.8000E 01	3.5124E 00	9.2432E 00
2.5200E 04	4.1400E 01					3.9000E 01	3.4005E 00	8.9487E 00
2.6100E 04	4.2120E 01					3.9500E 01	3.6203E 00	9.1654E 00
2.7000E 04	4.2749E 01					4.4000E 01	3.4900E 00	7.9331E 00
2.7800E 04	4.8647E 01					4.4000E 01	4.0688E 00	9.2882E 00
2.8600E 04	4.8244E 01					4.4200E 01	4.0430E 00	9.1493E 00
2.9700E 04	4.8071E 01					4.5000E 01	3.0710E 00	6.8244E 00
3.0600E 04	4.8121E 01					4.5000E 01	3.1205E 00	5.9189E 00
3.1500E 04	4.7721E 01					4.5500E 01	2.2207E 00	4.8507E 00
3.2400E 04	4.5427E 01					4.5500E 01	9.2626E-01	2.0364E 00
3.3300E 04	4.5256E 01					4.4200E 01	1.0532E 00	2.4802E 00
3.4200E 04	4.3715E 01					4.3500E 01	2.1378E-01	4.5937E-01
3.5100E 04	4.2506E 01					4.2000E 01	3.0913E-01	1.2094E 00
3.6000E 04	4.0887E 01					4.1000E 01	-1.1328E-01	-2.7630E-01
3.6900E 04	3.8550E 01					3.5600E 01	-1.2745E 00	-3.3598E 00
3.7800E 04	3.6394E 01					3.7500E 01	-1.1509E 00	-2.9492E 00
3.8700E 04	3.3388E 01					3.2000E 01	1.3882E 00	4.3381E 00
3.9600E 04	3.0643E 01					2.8000E 01	2.6432E 00	9.4399E 00
4.0500E 04	2.8741E 01					2.6000E 01	2.5407E 00	9.6597E 00
4.1400E 04	2.7185E 01					2.5000E 01	2.1045E 00	8.7381E 00
4.2300E 04	2.5824E 01					2.4000E 01	1.8236E 00	7.5969E 00
4.3200E 04	2.5013E 01					2.3500E 01	1.5133E 00	6.4394E 00
4.4100E 04	2.4419E 01					2.2200E 01	2.2175E 00	9.9970E 00
4.5000E 04	2.4200E 01					2.2000E 01	2.1464E 00	9.5976E 00

FIGURA 46 - Temperatura de saída da água de arrefecimento, A=1

MINIMUM T6 VERSUS TIME MAXIMUM  
 1.9223E 01 I 5.6717E 02 I

TIME	T6	MINIMUM	T6	VERSUS TIME	MAXIMUM
0.0	2.000E 01	1.9223E 01			5.6717E 02
9.000E 02	8.4560E 01				
1.800E 03	1.5115E 02				
2.700E 03	2.1045E 02				
3.600E 03	2.6472E 02				
4.500E 03	3.1621E 02				
5.400E 03	3.4922E 02				
6.300E 03	3.7383E 02				
7.200E 03	3.9974E 02				
8.100E 03	4.1720E 02				
9.000E 03	4.2703E 02				
9.900E 03	4.3556E 02				
1.080E 04	4.4480E 02				
1.170E 04	4.5790E 02				
1.260E 04	4.6597E 02				
1.350E 04	4.7269E 02				
1.440E 04	4.7896E 02				
1.530E 04	4.8526E 02				
1.620E 04	4.8783E 02				
1.710E 04	4.9375E 02				
1.800E 04	5.0000E 02				
1.890E 04	5.0249E 02				
1.980E 04	5.0307E 02				
2.070E 04	5.0546E 02				
2.160E 04	5.0881E 02				
2.250E 04	5.0886E 02				
2.340E 04	5.0727E 02				
2.430E 04	5.0726E 02				
2.520E 04	5.0821E 02				
2.610E 04	5.2784E 02				
2.700E 04	5.4256E 02				
2.790E 04	5.5398E 02				
2.880E 04	5.6055E 02				
2.970E 04	5.6399E 02				
3.060E 04	5.6709E 02				
3.150E 04	5.4018E 02				
3.240E 04	4.8489E 02				
3.330E 04	4.4739E 02				
3.420E 04	3.9981E 02				
3.510E 04	3.6775E 02				
3.600E 04	3.2607E 02				
3.690E 04	2.6433E 02				
3.780E 04	2.1231E 02				
3.870E 04	1.7941E 02				
3.960E 04	1.5547E 02				
4.050E 04	1.3626E 02				
4.140E 04	1.2331E 02				
4.230E 04	1.1311E 02				
4.320E 04	1.0419E 02				
4.410E 04	9.5744E 01				
4.500E 04	9.0283E 01				

FIGURA 47 - Temperatura média dos blocos de material refratário usados no Aquecedor, A=1

MINIMUM 2.5000E 01  
 MAXIMUM 9.7746E 02

TREST VERSUS TIME

TIME	TREST	MINIMUM	MAXIMUM
0.0	2.5000E 01	2.5000E 01	9.7746E 02
9.0000E 02	3.6718E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
1.8000E 03	4.1358E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
2.7000E 03	5.3065E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
3.6000E 03	5.6829E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
4.5000E 03	6.7218E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
5.4000E 03	6.9012E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
6.3000E 03	7.2676E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
7.2000E 03	7.4848E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
8.1000E 03	7.5055E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
9.0000E 03	7.6083E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
9.9000E 03	7.7048E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
1.0800E 04	7.8060E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
1.1700E 04	8.0412E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
1.2600E 04	8.1190E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
1.3500E 04	8.2350E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
1.4400E 04	8.3410E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
1.5300E 04	8.3540E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
1.6200E 04	8.4031E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
1.7100E 04	8.5140E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
1.8000E 04	8.5504E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
1.8900E 04	8.5727E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
1.9800E 04	8.5659E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
2.0700E 04	8.6555E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
2.1600E 04	8.6648E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
2.2500E 04	8.6028E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
2.3400E 04	8.5655E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
2.4300E 04	8.6239E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
2.5200E 04	8.6412E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
2.6100E 04	9.4218E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
2.7000E 04	9.5084E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
2.7900E 04	9.6192E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
2.8800E 04	9.6709E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
2.9700E 04	9.7392E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
3.0600E 04	9.7746E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
3.1500E 04	8.7746E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
3.2400E 04	7.1512E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
3.3300E 04	6.9077E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
3.4200E 04	5.7379E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
3.5100E 04	5.4187E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
3.6000E 04	4.4516E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
3.6900E 04	2.5460E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
3.7800E 04	2.0617E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
3.8700E 04	1.7528E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
3.9600E 04	1.5199E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
4.0500E 04	1.3387E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
4.1400E 04	1.2152E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
4.2300E 04	1.1171E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
4.3200E 04	1.0271E 02	2.5000E 01	9.7746E 02
4.4100E 04	9.4677E 01	2.5000E 01	9.7746E 02
4.5000E 04	8.9647E 01	2.5000E 01	9.7746E 02

FIGURA 48 - Temperatura média das fitas metálicas aquecedoras, A=1

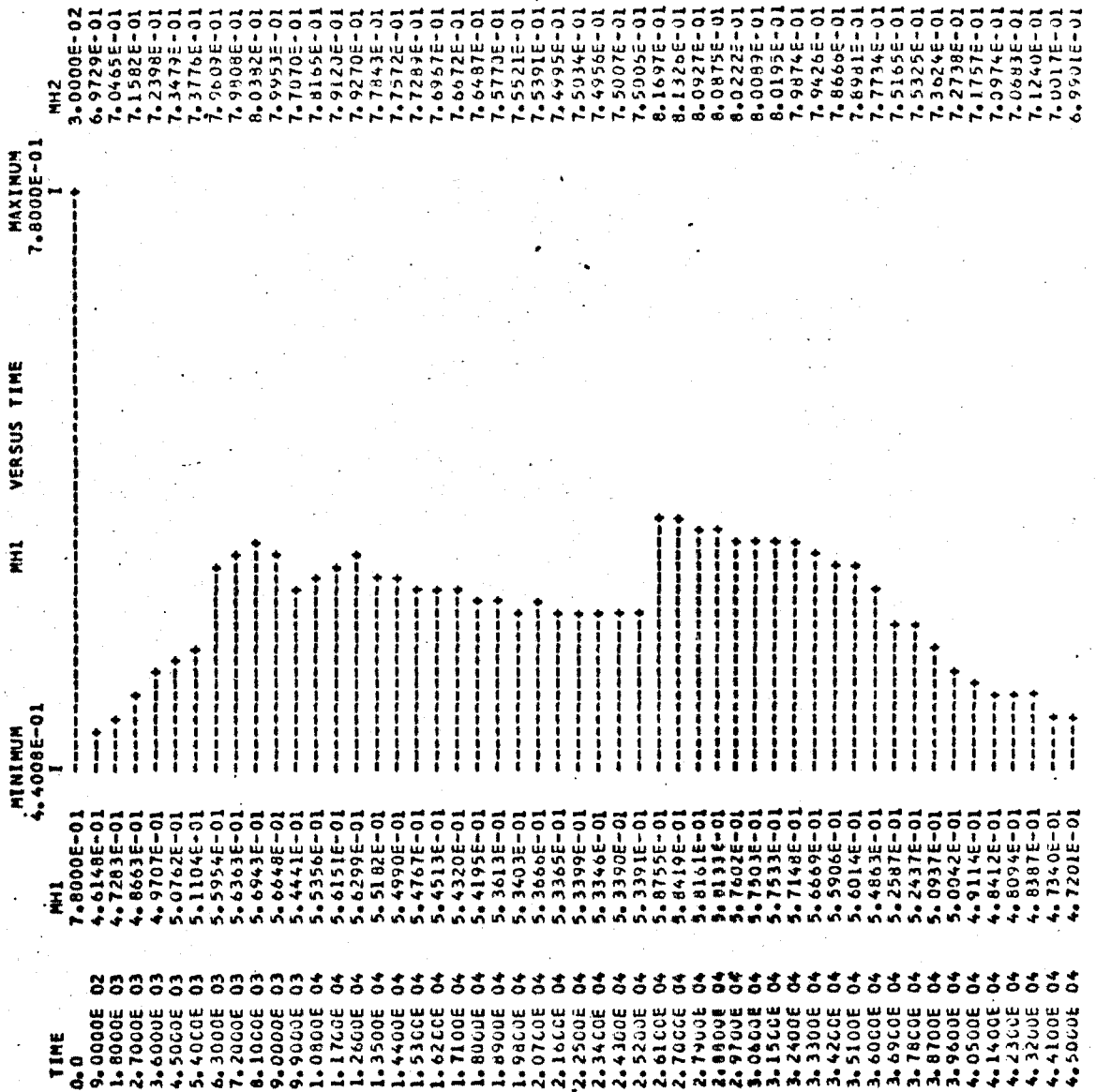


FIGURA 49 - Vazões do gás hélio nos tubos (MH1) e no "By-pass" (MH2)

### 3.4 - Comentários sobre os métodos de integração

A escolha do método de integração é relativamente simples. O procedimento adotado neste trabalho foi o recomendado pelo Manual do Usuário do S/360-COMP, que consiste em utilizar primeiramente o método de Runge-Kutta com passo variável. A vantagem da utilização deste método, neste caso, é de permitir que seja estipulado o erro na integração numérica. Adotando um critério de erro bastante rigoroso, assegura-se uma solução satisfatória mas, geralmente com custos excessivos. Posteriormente, testa-se os outros métodos adotando o mais rápido para a precisão necessária.

No caso da simulação da primeira operação, o método de Runge-Kutta com passo variável foi a melhor opção em termos de custos. Isto deve-se ao fato de que nessa simulação os transitórios representam uma menor parcela do tempo total. Por ser de passo variável, durante os estados permanentes o intervalo de integração é aumentado automaticamente, reduzindo os custos de processamento.

Ja na segunda simulação, os métodos de passo fixo, em particular o Retangular, apresentaram-se como a melhor opção.

Os resultados apresentados nas seções precedentes foram obtidos pelo método Retangular, com intervalo de integração igual a 9 segundos.

Para se ter uma idéia do erro numérico associado à solução, o programa foi processado, também, com intervalos de integração iguais a 1 e 0.1 segundos. A diferença nesses dois processamentos foi sempre inferior a 1°C, podendo-se afirmar então, que para intervalos de integração iguais ou menores que um segundo o erro numérico é desprezível.

Comparações dos resultados obtidos com intervalo de integração igual a 9 segundos e os acima citados, indicam que o erro numérico associado às soluções apresentadas neste trabalho é de no máximo 10% no início das operações (até a primeira meia hora), caindo rapidamente à medida que as temperaturas vão aumentando. Para a temperatura do gás na saída do Aquecedor, por exemplo, o erro numérico é inferior a 2% quando essa temperatura atinge 100°C.

## 4 - CONCLUSÕES

O Circulador de Hélio foi dividido em nove partes principais, tendo sido, cada uma delas, subdividida em um ou mais componentes, os quais, por sua vez, foram considerados por meio de um ou dois sub-componentes. O modelo matemático para a simulação de transientes térmicos no CH foi desenvolvido a partir das equações de energia unidimensionais, aplicadas a cada um dos sub-componentes que formam o complexo experimental, montando-se, assim, um sistema não linear de equações diferenciais ordinárias de primeira ordem e de equações algébricas. Visando a uma redução do tempo total de processamento e em consequência, os custos, as equações diferenciais que apresentavam pequenas constantes de tempo foram simplificadas pela eliminação do termo de acumulação de energia, sendo transformadas, assim, em equações algébricas.

A solução do sistema foi obtida por meio do "S/360-CSMP", que mostrou ser um importante instrumento na simulação de sistemas contínuos, sendo de fácil programação, eficiente em termos de tempo de uso de computador e flexível em relação aos métodos de integração, bem como às eventuais mudanças do modelo.

Comparando as distribuições de temperatura ao longo do circuito percorrido pelo gás, obtidas por meio do modelo matemático aqui desenvolvido e por meio de medidas experimentais, chegou-se a resultados que apresentam diferenças muito pequenas no caso de estados permanentes, sendo de apenas 13.7% o seu valor máximo. No caso de estados transientes, embora para algumas temperaturas as diferenças tenham atingido valores bastante elevados (até 60%), isto ocorreu nos transientes de partida e de parada, nos quais as variações dos parâmetros de operação são bem mais acentuadas e, obviamente, maiores discrepâncias eram esperadas. Em transientes intermediários, apresentaram-se discrepâncias da mesma ordem daquelas para o estado estacionário. Em relação ao tempo de

duração dos transientes, o modelo apresentou boa precisão (discrepâncias inferiores a 5%, mesmo para os transientes de partida e de parada).

Diversos foram os fatores que contribuíram para essas discrepâncias, entre os quais destacam-se:

- . Erros inerentes às medidas da potência do Aquecedor, das vazões do gás hélio, da vazão da água de arrefecimento do Resfriador;
- . erros inerentes às medidas das temperaturas;
- . simplificações no modelo, com vistas a diminuir o tempo de processamento e o número de memórias do computador, com a conseqüente minimização do custo (foram utilizadas as equações de energia na forma unidimensional e as equações diferenciais que apresentavam constantes de tempo pequenas, foram transformadas, através da elimina-ção dos termos de acumulação de energia, em equações algébricas);
- . incerteza nos valores do calor específico do refratário utilizado no Aquecedor;
- . erro associado à solução numérica;
- . variabilidade acentuada nos valores dos coeficientes de transmissão de calor previstos pelas correlações utilizadas ( $\pm 10\%$  para escoamentos nos tubos e  $\pm 30\%$  para escoamentos no lado da carcaça dos trocados de calor);
- . incerteza com relação às propriedades do isolamento externo.

A esta altura das considerações, é possível, já, uma apreciação em torno do campo de aplicação do modelo desenvolvido: quanto aos cálculos dos parâmetros, ficou evidenciado, pela ótima resposta do modelo para estados estacionários, que eles podem ser estimados com boa precisão a partir de condições pré-estabelecidas de temperatura e velocidade na Seção de Teste; relativamente ao cálculo da duração dos transientes térmicos, as previsões do modelo foram comprovadas conforme se constata no capítulo anterior; finalmente, no que se refere ao estudo de eventuais modificações, o modelo revelou-se instrumento eficaz; visto que a segunda operação simulada no presente trabalho apresenta uma grande modificação em relação à primeira, que é o "By-pass "

de gás hélio no Resfriador, e o modelo continuou a prever, com grande precisão, o comportamento térmico do Circulador de Hélio.

Ficam em aberto, para pesquisas posteriores, medidas do calor específico do refratário utilizado no Aquecedor, mediante o uso de aparelhagem experimental adequada, como seja um calorímetro de alta temperatura; simulações de operações em condições as mais diversas, especialmente com o circulador de hélio operando em temperaturas mais altas, na medida em que tais operações venham a ser realizadas obtendo-se assim, uma visão mais ampla das possibilidades do modelo.

LISTAGEM DO PROGRAMA

(Dados relativos a operação com "By-pass" totalmente aberto)



ATB1=3.1416\*((DIB1)\*\*2)/4.  
CTB1=.023\*(DIB1\*\*(-.2))/(ATB1\*\*(.8))\*(CPH\*\*.3333)  
ATB2=3.1416/4.\*((DIB2\*\*2)-(DK1\*\*2))  
CTB2=.023\*((DIB2-DK1)\*\*(-.2))/(ATB2\*\*(.8))\*(CPH\*\*.3333)

\*  
\*  
\*  
\*  
\*  
\*  
\*

PARTE F -- TCR - AQUECEDOR

ACF1=1.13E5  
ACF1L=1.45E4  
ACF2L=4.E5  
KF1=4.5  
KF2=1.9E4  
KF1L=.58  
KF2L=2.3E2  
CTF=.023\*(DIF1\*\*(-.2))/(ATF1\*\*(.8))\*(CPH\*\*.3333)  
ATF1=3.1416\*((DIF1)\*\*2)/4.

\*  
\*  
\*  
\*  
\*  
\*  
\*

PARTE G -- AQUECEDOR - SECAO DE TESTE, SECAO DE TESTE,  
SECAO DE TESTE - TCR

ARST1=.0053  
ARST2=.0084  
ACG1=6.6E5  
ACG1L=5.6E4  
AG1LL=3.9E4  
ACG2L=1.E6  
KG1=15.13  
KG1L=1.33  
KG2=6.74E4  
KG2L=7.64E2  
KG1LL=2.87  
KG2LL=1.64E4  
CTG1=.023\*(DIG1\*\*(-.2))/(ATG1\*\*(.8))\*(CPH\*\*.3333)  
ATG1=3.1416\*((DIG1)\*\*2)/4.  
MAG1=.05  
MAG2=.05  
MAG3=.05  
MAG4=.05

HGR1=1000.  
HGR2=1000.  
HGR3=1000.  
HGR4=1000.

\*  
\*  
\*  
\*  
\*  
\*

PARTE J -- MISTURADOR, MISTURADOR-RESFRIADOR,  
RESFRIADOR

ACJ1L=2.47E5  
KJ1=2.45E4

KJ2=6.45  
KJ1L=4.18E3  
ATJ1=9.60E-4  
CTJ1=.023\*(.015\*\*(-.2))/(ATJ1\*\*(.8))\*(CPH\*\*.3333)  
CTJ2=CTA1  
ATJ3=3.1416\*((DIJ3)\*\*2)/4.  
CTJ3=.023\*(DIJ3\*\*(-.2))/(ATJ3\*\*(.8))\*(CPH\*\*.3333)

\*  
\*  
\*  
\*  
\*  
\*  
\*  
\*  
\*

PARTE S -- BIFURCAÇÃO-AQUECEDOR, AQUECEDOR,  
AQUECEDOR - MISTURADOR

KS1=1.9E4  
KS2=44.632  
AIS1=12.86  
AIS2=15.72  
AIS3=3.65  
AES1=31.49  
AES2=18.52  
AES3=9.95  
LS1H=13.7  
LS1V=12.  
DES1=.39  
LS2V=3.2  
DES3=.39  
DIS1=.1683  
DIS2=1.36  
DIS3=.1683  
ATS1=3.1416\*(DIS1\*\*2)/4.  
ATS2=3.1416\*(DIS2\*\*2-(1.11)\*\*2)/4.  
CTS1=.023\*(DIS1\*\*(-.2))/(ATS1\*\*(.8))\*(CPH\*\*.3333)  
CTS2=.023\*(.25\*\*(-.2))/(ATS2\*\*(.8))\*(CPH\*\*.3333)  
ACS1=1.15E6  
ACS2=3.78E5

\*  
\*

TESTE=900.  
CPAGU=4200.  
CVAGU=4200.  
MCOCF=1.661E-03  
KCUCF=4.1E-01

FUNCTION CAR=(00.00,201.0),(37.78,112.0),(93.33,054.0),(149.0,028.3),...  
(204.5,16.4),(260.0,10.10),(315.6,06.74),(371.1,04.48),(426.7,03.17),...  
(482.2,2.29),(537.8,01.69),(815.56,,474)  
FUNCTION PRAR=(0.0,,72),(93.33,,72),(149.,,71),(204.45,,689), ...  
(260.,,683),(315.56,,685),(371.11,,69),(426.67,,697),(482.22,,705), ...  
(537.78,,713),(815.56,,739)  
FUNCTION CDAR=(0.0,,0242),(37.78,,0267),(93.33,,0301),(149.,,0334), ...  
(204.45,,0367),(260.,,04),(315.56,,0433),(371.11,,0464),(427.,,0495),...  
(482.22,,0525),(537.78,,0552),(815.56,,0692)  
FUNCTION PRHEL=(0.00,44.14),(10.0,44.42),(20.0,44.68),(30.0,44.94), ...  
(40.0,45.18),(50.0,45.44),(60.0,45.69),(70.0,45.90),(80.0,46.14), ...  
(90.0,46.35),(100.,,46.55),(110.,,46.77),(120.,,46.97),(130.,,47.17), ...  
(140.,,47.37),(150.,,47.56),(160.,,47.75),(170.,,47.93),(180.,,48.10), ...  
(190.,,48.28),(200.,,48.45),(210.,,48.63),(220.,,48.79),(230.,,48.96), ...  
(240.,,49.11),(250.,,49.26),(260.,,49.41),(270.,,49.57),(280.,,49.73), ...  
(290.,,49.86),(300.,,50.01),(310.,,50.16),(320.,,50.29),(330.,,50.43), ...  
(340.,,50.56),(350.,,50.69),(360.,,50.83),(370.,,50.96),(380.,,51.08), ...  
(390.,,51.20),(400.,,51.32),(410.,,51.44),(420.,,51.56),(430.,,51.68), ...

(440., 51.79), (450., 51.89), (460., 52.02), (470., 52.12), (480., 52.22), ...  
 (490., 52.33), (500., 52.22), (510., 52.53), (520., 52.63), (530., 52.73), ...  
 (540., 52.81), (550., 52.91), (560., 53.00), (570., 53.10), (580., 53.19), ...  
 (590., 53.26), (600., 53.35), (610., 53.42), (620., 53.51), (630., 53.58), ...  
 (640., 53.65), (650., 53.72), (660., 53.80), (670., 53.87), (680., 53.94), ...  
 (690., 54.00), (700., 54.08), (710., 54.13), (720., 54.19), (730., 54.25), ...  
 (740., 54.31), (750., 54.37), (760., 54.42), (770., 54.48), (780., 54.53), ...  
 (790., 54.59), (800., 54.64), (810., 54.69), (820., 54.74), (830., 54.80), ...  
 (840., 54.84), (850., 54.89), (1000., 55.57)  
 FUNCTION PARAG=(00.00, 51.62), (04.44, 54.28), (10.00, 58.25), ...  
 (15.56, 61.15), (21.11, 64.04), (27.67, 67.02), (32.22, 69.95), ...  
 (37.78, 72.96), (43.33, 75.81), (48.89, 78.56), (54.44, 80.31), ...  
 (60.00, 83.14), (65.56, 85.14), (71.11, 87.74), (76.67, 89.61), ...  
 (82.22, 92.84), (87.78, 93.74), (93.33, 95.22), (98.89, 97.03), ...  
 (100.0, 97.45), (104.5, 100.4), (110.0, 101.3), (115.6, 102.5), ...  
 (121.1, 103.7)  
 FUNCTION VISCA=(00.00, 17.94), (04.44, 15.47), (10.00, 13.10), ...  
 (15.56, 11.29), (21.11, 09.81), (26.67, 08.62), (32.22, 07.64), ...  
 (37.78, 06.82), (43.33, 06.15), (48.89, 05.59), (54.44, 05.11), ...  
 (60.00, 04.70), (65.56, 04.34), (71.11, 04.01), (76.67, 03.73), ...  
 (82.22, 03.47), (87.78, 03.25), (93.33, 03.05), (98.89, 02.90), ...  
 (100.0, 02.84), (104.5, 02.73), (110.0, 02.58), (115.6, 02.46), ...  
 (121.1, 02.35)  
 FUNCTION CPAG=(00.00, 4.22), (04.44, 4.21), (10.00, 4.19), (15.56, 4.18), ...  
 (21.11, 4.18), (60.00, 4.18), (65.56, 4.19), (76.67, 4.19), (82.22, 4.20), ...  
 (87.78, 4.20), (93.33, 4.21), (100.0, 4.21), (104.5, 4.22), (110.0, 4.23), ...  
 (115.6, 4.24), (121.1, 4.25)  
 FUNCTION VISC=(00.0, 1.864), (10.0, 1.909), (20.0, 1.953), (30.0, 1.997), ...  
 (40.0, 2.040), (50.0, 2.083), (60.0, 2.125), (70.0, 2.168), (80.0, 2.209), ...  
 (90.0, 2.251), (100., 2.292), (110., 2.333), (120., 2.373), (130., 2.413), ...  
 (140., 2.453), (150., 2.493), (160., 2.532), (170., 2.571), (180., 2.610), ...  
 (190., 2.649), (200., 2.687), (210., 2.725), (220., 2.763), (230., 2.800), ...  
 (240., 2.837), (250., 2.875), (260., 2.912), (270., 2.948), (280., 2.985), ...  
 (290., 3.021), (300., 3.057), (310., 3.093), (320., 3.129), (330., 3.164), ...  
 (340., 3.200), (350., 3.235), (360., 3.270), (370., 3.305), (380., 3.340), ...  
 (390., 3.374), (400., 3.409), (410., 3.443), (420., 3.477), (430., 3.511), ...  
 (440., 3.545), (450., 3.579), (460., 3.612), (470., 3.646), (480., 3.679), ...  
 (490., 3.712), (500., 3.745), (510., 3.778), (520., 3.811), (530., 3.843), ...  
 (540., 3.876), (550., 3.908), (560., 3.940), (570., 3.972), (580., 4.004), ...  
 (590., 4.036), (600., 4.068), (610., 4.100), (620., 4.131), (630., 4.163), ...  
 (640., 4.194), (650., 4.226), (660., 4.257), (670., 4.288), (680., 4.319), ...  
 (690., 4.350), (700., 4.380), (710., 4.411), (720., 4.442), (730., 4.472), ...  
 (740., 4.503), (750., 4.533), (760., 4.563), (770., 4.593), (780., 4.623), ...  
 (790., 4.653), (800., 4.683), (810., 4.713), (820., 4.743), (830., 4.772), ...  
 (840., 4.802), (850., 4.831), (860., 4.861), (870., 4.890), (880., 4.919)  
 FUNCTION CONDT=(00.0, 1434), (10.0, 1472), (20.0, 1509), (30.0, 1546), ...  
 (40.0, 1582), (50.0, 1619), (60.0, 1655), (70.0, 1690), (80.0, 1726), ...  
 (90.0, 1761), (100., 1795), (110., 1830), (120., 1864), (130., 1898), ...  
 (140., 1932), (150., 1966), (160., 1999), (170., 2032), (180., 2065), ...  
 (190., 2098), (200., 2130), (210., 2163), (220., 2195), (230., 2227), ...  
 (240., 2258), (250., 2290), (260., 2321), (270., 2352), (280., 2384), ...  
 (290., 2414), (300., 2445), (310., 2476), (320., 2506), (330., 2536), ...  
 (340., 2566), (350., 2596), (360., 2626), (370., 2656), (380., 2685), ...  
 (390., 2714), (400., 2743), (410., 2772), (420., 2801), (430., 2830), ...  
 (440., 2858), (450., 2886), (460., 2915), (470., 2943), (480., 2970), ...  
 (490., 2998), (500., 3007), (510., 3053), (520., 3080), (530., 3107), ...  
 (540., 3133), (550., 3160), (560., 3186), (570., 3213), (580., 3239), ...  
 (590., 3264), (600., 3290), (610., 3315), (620., 3341), (630., 3366), ...  
 (640., 3390), (650., 3415), (660., 3440), (670., 3464), (680., 3488), ...  
 (690., 3512), (700., 3536), (710., 3559), (720., 3582), (730., 3606), ...  
 (740., 3629), (750., 3652), (760., 3674), (770., 3697), (780., 3719), ...  
 (790., 3742), (800., 3754), (810., 3780), (820., 3808), (830., 3830), ...  
 (840., 3851), (850., 3873), (860., 3895), (870., 3916), (880., 3937)

FUNCTION T134A=(0.0,0.18.5),(900.,019.0),(1800.,020.0),(2700.,021.0), ...  
 (03600.,023.5),(04500.,025.0),(05400.,027.0),(06300.,034.0), ...  
 (07200.,037.5),(08100.,040.0),(09000.,043.0),(09900.,045.0), ...  
 (10800.,046.0),(11700.,044.0),(12600.,044.1),(13500.,044.0), ...  
 (14400.,044.9),(15300.,050.5),(16200.,051.0),(17100.,052.0), ...  
 (18000.,053.0),(18900.,054.0),(19800.,054.0),(20700.,040.0), ...  
 (21600.,040.0),(22500.,039.0),(23400.,038.0),(24300.,033.0), ...  
 (25200.,038.0),(26100.,039.5),(27000.,044.0),(27900.,044.0), ...  
 (28800.,044.2),(29700.,045.0),(30600.,045.0),(31500.,045.5), ...  
 (32400.,045.5),(33300.,044.2),(34200.,043.5),(35100.,042.0), ...  
 (36000.,041.0),(36900.,039.3),(37800.,037.5),(38700.,032.0), ...  
 (39600.,028.0),(40500.,025.2),(41400.,025.0),(42300.,024.0), ...  
 (43200.,023.5),(44100.,022.2),(45000.,022.0),(45900.,021.0), ...  
 (46800.,021.0),(47700.,20.50),(48600.,20.50)  
 FUNCTION T112A=(0.0,0.20.0),(900.,030.0),(1800.,050.0),(2700.,068.0), ...  
 (03600.,085.0),(04500.,100.0),(05400.,115.0),(06300.,145.0), ...  
 (07200.,165.0),(08100.,180.0),(09000.,192.0),(09900.,200.0), ...  
 (10800.,209.0),(11700.,216.0),(12600.,220.0),(13500.,229.0), ...  
 (14400.,235.0),(15300.,244.0),(16200.,248.0),(17100.,250.0), ...  
 (18000.,255.0),(18900.,260.0),(19800.,261.0),(20700.,263.0), ...  
 (21600.,262.0),(22500.,262.0),(23400.,264.0),(24300.,264.0), ...  
 (25200.,264.0),(26100.,272.0),(27000.,277.0),(27900.,281.0), ...  
 (28800.,285.0),(29700.,290.0),(30600.,290.0),(31500.,290.0), ...  
 (32400.,278.0),(33300.,267.0),(34200.,250.0),(35100.,240.0), ...  
 (36000.,224.0),(36900.,205.0),(37800.,182.0),(38700.,160.0), ...  
 (39600.,145.0),(40500.,129.0),(41400.,118.0),(42300.,103.0), ...  
 (43200.,099.0),(44100.,090.0),(45000.,083.0),(45900.,078.0), ...  
 (46800.,072.0),(47700.,069.0),(48600.,065.0)  
 FUNCTION T1032=(0.0,0.20.0),(900.,030.0),(1800.,052.0),(2700.,063.0), ...  
 (03600.,078.0),(04500.,080.0),(05400.,100.0),(06300.,125.0), ...  
 (07200.,141.0),(08100.,153.0),(09000.,162.0),(09900.,172.0), ...  
 (10800.,178.0),(11700.,180.0),(12600.,188.0),(13500.,190.0), ...  
 (14400.,198.0),(15300.,200.0),(16200.,205.0),(17100.,208.0), ...  
 (18000.,210.0),(18900.,211.0),(19800.,215.0),(20700.,214.0), ...  
 (21600.,212.0),(22500.,212.0),(23400.,213.0),(24300.,212.0), ...  
 (25200.,212.0),(26100.,220.0),(27000.,225.0),(27900.,230.0), ...  
 (28800.,230.0),(29700.,233.0),(30600.,235.0),(31500.,234.0), ...  
 (32400.,229.0),(33300.,220.0),(34200.,210.0),(35100.,202.0), ...  
 (36000.,192.0),(36900.,179.0),(37800.,162.0),(38700.,143.0), ...  
 (39600.,130.0),(40500.,119.0),(41400.,110.0),(42300.,102.0), ...  
 (43200.,090.0),(44100.,085.0),(45000.,080.2),(45900.,078.0), ...  
 (46800.,075.0),(47700.,070.0),(48600.,068.0)  
 FUNCTION T104A=(0.0,0.0),(900.,100.),(1800.,145.),(2700.,180.),( ...  
 (3600.,225.),(4500.,260.),(5400.,295.),(6300.,320.),(7200.,340.),( ...  
 (8100.,335.),(9000.,370.),(9900.,380.),(10800.,390.),(11700.,400.),( ...  
 (12600.,415.),(13500.,425.),(14400.,435.),(15300.,440.),( ...  
 (16200.,445.),(17100.,450.),(18000.,455.),(18900.,460.),( ...  
 (20400.,460.),(24600.,465.),(25200.,470.),(26100.,475.),( ...  
 (27000.,490.),(27900.,490.),(28800.,500.),(29700.,500.),( ...  
 (30600.,490.),(31500.,488.),(32400.,465.),(33300.,435.),( ...  
 (34200.,410.),(35100.,378.),(36000.,345.),(36900.,303.),( ...  
 (37800.,260.),(38700.,220.),(39600.,190.),(40500.,170.),( ...  
 (41400.,150.),(42300.,130.),(43200.,120.),(44100.,110.),( ...  
 (45000.,100.),(45900.,090.),(46800.,080.),(47700.,040.),( ...  
 (48600.,070.)  
 FUNCTION T105A=(0.0,0.0),(900.,170.),(1800.,230.),(2700.,280.),( ...  
 (3600.,335.),(4500.,380.),(5400.,425.),(6300.,455.),(7200.,465.),( ...  
 (8100.,480.),(9000.,495.),(9900.,505.),(10800.,515.),(11700.,535.),( ...  
 (12600.,550.),(13500.,560.),(14400.,570.),(15300.,577.),( ...  
 (16200.,580.),(17100.,585.),(18000.,590.),(18900.,600.),( ...  
 (20400.,600.),(24600.,605.),(25200.,610.),(26100.,620.),( ...  
 (27000.,640.),(27900.,650.),(28800.,650.),(29700.,650.),( ...  
 (30600.,630.),(31500.,625.),(32400.,630.),(33300.,645.),( ...

```

(34200.,500.), (35100.,563.), (36000.,415.), (36900.,350.), ...
(37800.,290.), (38700.,240.), (39600.,210.), (40500.,185.), ...
(41400.,165.), (42300.,145.), (43200.,130.), (44100.,120.), ...
(45000.,110.), (45900.,100.), (46800.,090.), (47700.,85.0), ...
(48600.,070.)
FUNCTION T206A=(0.0,090.0), (900.,158.0), (1800.,210.0), (2700.,270.0), ...
(03600.,305.0), (04500.,380.0), (05400.,420.0), (06300.,425.0), ...
(07200.,460.0), (08100.,470.0), (09000.,490.0), (09900.,500.0), ...
(10800.,506.0), (11700.,521.0), (12600.,539.0), (13500.,550.0), ...
(14400.,559.0), (15300.,565.0), (16200.,570.0), (17100.,578.0), ...
(18000.,584.0), (18900.,585.0), (19800.,590.0), (20700.,595.0), ...
(21600.,600.0), (22500.,600.0), (23400.,600.0), (24300.,600.0), ...
(25200.,600.0), (26100.,609.0), (27000.,615.0), (27900.,625.0), ...
(28800.,632.0), (29700.,640.0), (30600.,640.0), (31500.,614.0), ...
(32400.,560.0), (33300.,535.0), (34200.,480.0), (35100.,456.0), ...
(36000.,408.0), (36900.,335.0), (37800.,280.0), (38700.,230.0), ...
(39600.,200.0), (40500.,178.0), (41400.,160.0), (42300.,142.0), ...
(43200.,130.0), (44100.,120.0), (45000.,105.0), (45900.,099.0)
FUNCTION T207A=(0.0,080.0), (900.,120.0), (1800.,205.0), (2700.,245.0), ...
(03600.,310.0), (04500.,365.0), (05400.,400.0), (06300.,418.0), ...
(07200.,445.0), (08100.,460.0), (09000.,480.0), (09900.,490.0), ...
(10800.,499.0), (11700.,509.0), (12600.,522.0), (13500.,520.0), ...
(14400.,548.0), (15300.,558.0), (16200.,561.0), (17100.,568.0), ...
(18000.,575.0), (18900.,580.0), (19800.,582.0), (20700.,583.0), ...
(21600.,590.0), (22500.,590.0), (23400.,590.0), (24300.,590.0), ...
(25200.,595.0), (26100.,604.0), (27000.,610.0), (27900.,620.0), ...
(28800.,622.0), (29700.,625.0), (30600.,632.0), (31500.,605.0), ...
(32400.,555.0), (33300.,520.0), (34200.,470.0), (35100.,420.0), ...
(36000.,395.0), (36900.,320.0), (37800.,262.0), (38700.,218.0), ...
(39600.,190.0), (40500.,160.0), (41400.,147.0), (42300.,130.0), ...
(43200.,120.0), (44100.,100.0), (45000.,095.0), (45900.,085.0), ...
(46800.,080.0), (47700.,075.0), (48600.,070.0)
FUNCTION T133A=(0.0,020.0), (900.,025.0), (1800.,030.0), (2700.,035.0), ...
(03600.,040.0), (04500.,045.0), (05400.,050.0), (06300.,055.0), ...
(07200.,070.0), (08100.,084.0), (09000.,100.0), (09900.,109.0), ...
(10800.,115.0), (11700.,121.0), (12600.,128.0), (13500.,135.0), ...
(14400.,140.0), (15300.,149.0), (16200.,152.0), (17100.,158.0), ...
(18000.,160.0), (18900.,164.0), (19800.,167.0), (20700.,170.0), ...
(21600.,170.0), (22500.,170.0), (23400.,170.0), (24300.,170.0), ...
(25200.,170.0), (26100.,175.0), (27000.,178.0), (27900.,180.0), ...
(28800.,184.0), (29700.,185.0), (30600.,178.0), (31500.,190.0), ...
(32400.,190.0), (33300.,186.0), (34200.,180.0), (35100.,175.0), ...
(36000.,168.0), (36900.,160.0), (37800.,149.0), (38700.,132.0), ...
(39600.,121.0), (40500.,109.0), (41400.,100.0), (42300.,090.0), ...
(43200.,080.0), (44100.,073.0), (45000.,065.0), (45900.,060.0), ...
(46800.,055.0), (47700.,050.0), (48600.,040.0)
FUNCTION T102A=(0.0,020.0), (900.,028.0), (1800.,040.0), (2700.,049.0), ...
(03600.,060.0), (04500.,080.0), (05400.,095.0), (06300.,110.0), ...
(07200.,125.0), (08100.,140.0), (09000.,150.0), (09900.,158.0), ...
(10800.,160.0), (11700.,166.0), (12600.,172.0), (13500.,180.0), ...
(14400.,180.0), (15300.,190.0), (16200.,190.0), (17100.,190.0), ...
(18000.,195.0), (18900.,200.0), (19800.,200.0), (20700.,195.0), ...
(21600.,195.0), (22500.,195.0), (23400.,195.0), (24300.,195.0), ...
(25200.,195.0), (26100.,203.0), (27000.,205.0), (27900.,210.0), ...
(28800.,215.0), (29700.,218.0), (30600.,219.0), (31500.,213.0), ...
(32400.,210.0), (33300.,200.0), (34200.,190.0), (35100.,181.0), ...
(36000.,170.0), (36900.,159.0), (37800.,140.0), (38700.,122.0), ...
(39600.,116.0), (40500.,100.0), (41400.,093.0), (42300.,085.0), ...
(43200.,073.0), (44100.,070.0), (45000.,064.0), (45900.,055.0), ...
(46800.,055.0), (47700.,050.0), (48600.,050.0)
FUNCTION T1031=(0.0,020.0), (900.,030.0), (1800.,050.0), (2700.,062.0), ...
(03600.,077.0), (04500.,080.0), (05400.,100.0), (06300.,125.0), ...
(07200.,140.0), (08100.,152.0), (09000.,162.0), (09900.,171.0), ...

```

(10800.,178.0),(11700.,182.0),(12600.,188.0),(13500.,190.0), ...  
 (14400.,198.0),(15300.,200.0),(16200.,202.0),(17100.,207.0), ...  
 (18000.,210.0),(18900.,211.0),(19800.,213.0),(20700.,212.0), ...  
 (21600.,212.0),(22500.,210.0),(23400.,211.0),(24300.,211.0), ...  
 (25200.,211.0),(26100.,219.0),(27000.,224.0),(27900.,228.0), ...  
 (28800.,230.0),(29700.,232.0),(30600.,233.0),(31500.,232.0), ...  
 (32400.,227.0),(33300.,219.0),(34200.,209.0),(35100.,200.0), ...  
 (36000.,190.0),(36900.,177.0),(37800.,160.0),(38700.,141.0), ...  
 (39600.,130.0),(40500.,118.0),(41400.,110.0),(42300.,100.0), ...  
 (43200.,090.0),(44100.,085.0),(45000.,080.0),(45900.,077.0), ...  
 (46800.,074.0),(47700.,070.0),(48600.,067.0)  
 FUNCTION TATMF=(0.0,021.5),(900.,020.0),(1800.,19.50),(2700.,019.5), ...  
 (03600.,020.0),(04500.,020.0),(05400.,020.5),(06300.,021.0), ...  
 (07200.,021.0),(08100.,021.5),(09000.,022.0),(09900.,022.5), ...  
 (10800.,023.0),(11700.,023.4),(12600.,023.0),(13500.,023.4), ...  
 (14400.,024.0),(15300.,024.5),(16200.,024.5),(17100.,025.0), ...  
 (18000.,025.0),(18900.,025.0),(19800.,025.0),(20700.,025.5), ...  
 (21600.,026.0),(22500.,026.0),(23400.,026.0),(24300.,025.5), ...  
 (25200.,026.0),(26100.,026.0),(27000.,025.5),(27900.,025.6), ...  
 (28800.,026.0),(29700.,026.0),(30600.,026.0),(31500.,026.0), ...  
 (32400.,026.0),(33300.,026.0),(34200.,026.0),(35100.,026.0), ...  
 (36000.,026.0),(36900.,026.0),(37800.,025.6),(38700.,025.6), ...  
 (39600.,025.5),(40500.,024.8),(41400.,024.7),(42300.,024.7), ...  
 (43200.,024.6),(44100.,024.5),(45000.,024.0),(45900.,024.0), ...  
 (46800.,024.0),(47700.,024.0),(48600.,024.0)  
 FUNCTION TINP=(0.0,017.5),(900.,017.5),(1800.,017.5),(2700.,017.6), ...  
 (03600.,017.7),(04500.,017.8),(05400.,018.0),(06300.,018.2), ...  
 (07200.,018.4),(08100.,018.6),(09000.,019.3),(09900.,019.9), ...  
 (10800.,020.4),(11700.,021.0),(12600.,021.4),(13500.,021.9), ...  
 (14400.,022.5),(15300.,023.2),(16200.,023.5),(17100.,023.8), ...  
 (18000.,024.1),(18900.,024.6),(19800.,25.25),(20700.,25.25), ...  
 (21600.,25.25),(22500.,025.0),(23400.,024.7),(24300.,024.5), ...  
 (25200.,024.4),(26100.,024.4),(27000.,024.5),(27900.,024.5), ...  
 (28800.,024.5),(29700.,024.6),(30600.,024.6),(31500.,24.75), ...  
 (32400.,024.9),(33300.,025.2),(34200.,025.2),(35100.,025.2), ...  
 (36000.,025.2),(36900.,025.2),(37800.,025.0),(38700.,023.5), ...  
 (39600.,022.2),(40500.,021.4),(41400.,020.5),(42300.,019.7), ...  
 (43200.,019.5),(44100.,019.5),(45000.,019.5),(45900.,19.25), ...  
 (46800.,19.25),(47700.,19.25),(48600.,19.25)  
 FUNCTION PT205=(0.0,5.4),(900.,6.0),(1800.,6.3),(2700.,6.8), ...  
 (03600.,7.1),(04500.,7.4),(05400.,7.9),(06300.,8.2),(07200.,8.6), ...  
 (08100.,9.0),(09000.,9.1),(09900.,9.2),(10800.,9.3),(11700.,9.6), ...  
 (12600.,9.8),(13500.,9.8),(14400.,9.9),(15300.,10.),(16200.,10.1), ...  
 (17100.,10.),(18000.,10.),(18900.,10.),(19800.,10.),(20700.,10.1), ...  
 (21600.,10.),(22500.,10.),(23400.,10.),(24300.,10.),(25200.,10.1), ...  
 (26100.,10.),(27000.,10.),(27900.,10.),(28800.,10.),(29700.,10.1), ...  
 (30600.,10.),(31500.,10.),(32400.,9.8),(33300.,9.5),(34200.,9.1), ...  
 (35100.,9.0),(36000.,8.5),(36900.,8.0),(37800.,7.7),(38700.,7.2), ...  
 (39600.,6.9),(40500.,6.5),(41400.,6.2),(42300.,6.0),(43200.,5.9), ...  
 (44100.,5.6),(45000.,5.5),(45900.,5.4),(46800.,5.2),(47700.,5.1), ...  
 (48600.,5.0)  
 FUNCTION FE101=(0.0,10.),(900.,10.),(1800.,11.),(2700.,11.1), ...  
 (03600.,12.),(04500.,12.),(05400.,12.),(06300.,10.),(07200.,10.1), ...  
 (08100.,10.),(09000.,10.),(09900.,08.),(10800.,09.),(11700.,09.1), ...  
 (12600.,09.),(13500.,09.),(14400.,08.),(15300.,08.),(16200.,08.1), ...  
 (17100.,08.),(18000.,08.),(18900.,7.5),(19800.,7.5),(20700.,7.5), ...  
 (21600.,7.5),(22500.,7.5),(23400.,7.5),(24300.,7.5),(25200.,7.5), ...  
 (26100.,10.),(27000.,10.),(27900.,10.),(28800.,10.),(29700.,10.1), ...  
 (30600.,10.),(31500.,10.),(32400.,10.),(33300.,10.),(34200.,10.1), ...  
 (35100.,10.9),(36000.,10.),(36900.,09.),(37800.,09.),(38700.,8.5), ...  
 (39600.,08.),(40500.,08.),(41400.,08.),(42300.,08.),(43200.,08.1), ...  
 (44100.,08.),(45000.,08.),(45900.,08.),(46800.,08.),(47700.,08.1), ...  
 (48600.,08.)

```

FUNCTION FE102=(0.0,36.),(900.,36.),(1800.,37.),(2700.,37.),(3600.,37.),(4500.,37.),(5400.,37.),(6300.,54.),(7200.,54.),(8100.,54.),(9000.,54.),(9900.,54.),(10800.,54.),(11700.,54.),(12600.,54.),(13500.,54.),(14400.,54.),(15300.,53.),(16200.,53.),(17100.,53.),(18000.,53.),(18900.,53.),(19800.,53.),(20700.,53.),(21600.,52.),(22500.,52.),(23400.,52.),(24300.,52.),(25200.,52.),(26100.,61.),(27000.,61.),(27900.,61.),(28800.,61.),(29700.,60.),(30600.,60.),(31500.,60.),(32400.,60.),(33300.,60.),(34200.,60.),(35100.,60.),(36000.,60.),(36900.,59.),(37800.,59.),(38700.,59.),(39600.,58.),(40500.,58.),(41400.,58.),(42300.,58.),(43200.,58.),(44100.,58.),(45000.,58.),(45900.,58.),(46800.,58.),(47700.,57.),(48600.,57.)
...
FUNCTION QFT=(0.0,1.18),(900.,2.45),(1800.,2.4),(3600.,2.350),(7200.,3.00),(10800.,2.90),(14400.,3.51),(18000.,3.51),(21600.,3.4),(36000.,3.43),(45000.,3.33),(54000.,4.11),(63000.,4.11),(72000.,4.1),(81000.,3.97),(90000.,3.97),(99000.,3.97),(108000.,3.98),(117000.,4.2),(126000.,4.16),(135000.,4.17),(144000.,4.23),(153000.,4.27),(162000.,4.21),(171000.,4.26),(180000.,4.23),(189000.,4.23),(198000.,4.2),(207000.,4.28),(216000.,4.23),(225000.,4.16),(234000.,4.13),(243000.,4.2),(252000.,4.21),(261000.,5.19),(270000.,5.19),(279000.,5.11),(288000.,5.09),(297000.,5.09),(306000.,5.09),(315000.,4.03),(324000.,4.2),(333000.,2.92),(342000.,2.87),(351000.,2.96),(360000.,1.97),(369000.,2.1),(378000.,2.07),(387000.,1.39),(396000.,1.40),(405000.,1.40),(414000.,0.0),(423000.,0.0)
...
FUNCTION MAGEX=(0.0,4.0),(1800.,4.0),(3600.,7.),(7200.,7.),(10800.,5.8),(14400.,5.8),(18000.,5.8)
...
DYNAMIC
NDSURT
      IF (TIME-0.0) 1,1,2
1      T1=23.
      TREST=25.
      Q=0.0
      MH=0.0

      TTU=25.
      TMU=25.
      FFSP=6.3E-03
      MH1=7.8E-01
      MH2=3.E-02
      GO TO 3
2      QE=AFGEN(QFT,TIME)
      TEXP1=AFGEN(T134A,TIME)
      TEXP2=AFGEN(T112A,TIME)+.05
      TEXP3=AFGEN(T104A,TIME)
      TEXP4=AFGEN(T1032,TIME)
      TEXP5=AFGEN(T105A,TIME)
      TEXP6=AFGEN(T206A,TIME)
      TEXP7=AFGEN(T207A,TIME)
      TEXP8=AFGEN(T133A,TIME)
      TEXP9=AFGEN(T102A,TIME)
      TEXP0=AFGEN(T1031,TIME)
      TAR =AFGEN(TATMF,TIME)
      TIN  =AFGEN(TINP ,TIME)
      F101 =AFGEN(FE101,TIME)
      F102 =AFGEN(FE102,TIME)
      Q=QE*1.E5
      PE=AFGEN(PT205,TIME)
      MAG=AFGEN(MAGEX,TIME)
      P=PE*1.E5
      MHQ =.037330*((P/(2077.15*(TEXP4+273.)))*(F102*1200.))**.5/10.
      MHF =.037510*((P/(2077.15*(TEXP0+273.)))*(F101*1200.))**.5/10.
      MHT =MHQ+MHF
      GAQ=(MHQ/400.)/(3.14*(DAQ**.2)/4.)
      GCUT=MH1/.036

```

```

GTAT=MHQ/.034
GTAE=MHQ/.13
GCDE=MAG/.041225
TTUEX=(MHT*TEXP9-MH2*TEXP2)/MH1
MAG1=(MHT*CPH*(TEXP2-TEXP9))/(CPAGU*(TEXP1-TIN))
*
TFA=(TWA3+TAR)/2.
TFAL=(TWA2L+TAR)/2.
TIFA=(TWA1+(T5L+T5)/2.)/2.
TIFAL=(TWA1L+(T5L+T5)/2.)/2.
*
TFB=(TWA3+TAR)/2.
TFBL=(TB2+TAR)/2.
TIFB=((T1+T1L)/2.+Twb1)/2.
TIFBL=((T1+T1L)/2.+Tb1)/2.
*
TFF=(TWF3+TAR)/2.
TFFL=(TWF3L+TAR)/2.
TIFF=((T2L+T2)/2.+TWF1)/2.
TIFFL=((T2L+T2)/2.+TWF1L)/2.
*
TFG=(TWG3+TAR)/2.
TFGL=(TG3+TAR)/2.
TIFG=((T3L+T3)/2.+TWG1)/2.
TIFGL=((T3L+T3)/2.+TWG1L)/2.
IFGLL=(TWG3L+(T3L+T3)/2.)/2.
*
TFJ=(TAR+TWJ3)/2.
TFJL=(TAR+TWJ2L)/2.
TIFJ=((T8L+T8)/2.+TWJ1)/2.
TIFJL=((T8L+T8)/2.+TWJ1L)/2.
*
T12=(T1+T2)/2.
T23=(T2+T3)/2.
T34=(T3+T4)/2.
TFTRQ=(TWR+(T3+T4)/2.)/2.
TFTRF=(TWR+(T1+T2)/2.)/2.
TWR=(T1+T2+T3+T4)/4.
TWCO=(TIN+T7+TTU+T8)/4.
TFCOT=(TWCO+(TTU+T8)/2.)/2.
TMCOC=(TIN+T7)/2.
TFCOC=(TWCO+(TIN+T7)/2.)/2.
MIAQ=AFGEN(VISC,T23)*1.E-05
MIWA=AFGEN(VISC,T6)*1.E-05
MIWR=AFGEN(VISC,TWR)*1.E-05
MTRCF=AFGEN(VISC,TFTRQ)*1.E-05
MITRC=AFGEN(VISC,T34)*1.E-05
MTRTF=AFGEN(VISC,TFTRF)*1.E-05
MITRT=AFGEN(VISC,T12)*1.E-05
MCOTF=AFGEN(VISC,TFCOT)*1.E-05
MICOT=AFGEN(VISC,TMU)*1.E-05
MWCOT=AFGEN(VISC,TWCO)*1.E-05
MWCOC=AFGEN(VISCA,TWCO)*1.E-4
MICOC=AFGEN(VISCA,TMCOC)*1.E-4
KAQ=AFGEN(CONDT,T23)
KCOTF=AFGEN(CONDT,TFCOT)
KTRTF=AFGEN(CONDT,TFTRF)
KTRCF=AFGEN(CONDT,TFTRQ)
HCEH=.023*KAQ/DAQ*((DAQ*GAQ/MIAQ)**.8)*((CPH*MIAQ/KAC)**.4)*((MIAQ/...

```

MIWAQ)\*\*,.14)  
 MTRC=KTRCF/DTRE\*.23\*(OLETR\*\*,.6)\*((DTRE\*GTRE/MTRCF)\*\*.6)\*...  
 ((CPH\*MTRCF/KTRCF)\*\*.33)\*((MITRC/MIWTR)\*\*.14)  
 HTRT=KTRTF/DTRI\*.023\*((DTRI\*GTRI/MTRTF)\*\*.8)\*((CPH\*MTRTF/KTRTF) ...  
 \*\*,.33)\*((MITRT/MIWTR)\*\*.14)  
 MCOC=AFGEN(PARAG,TFCCO)\*((MICOC/MwCOC)\*\*.14)\*(GCCE\*\*(.6))  
 MCOT=KCOTF/DCOI\*.023\*((DCOI\*GCOT/MCOTF)\*\*.8)\*((CPH\*MCOTF/KCOTF)...  
 \*\*,.4)\*((MICOT/MwCOT)\*\*.14)

\*  
 \*  
 \*  
 \*  
 \*

CALCULO DOS COEFICIENTES DE PELICULA PARA A REGIAO A

PRIA=AFGEN(PRH, TIFA)  
 PRIAL=AFGEN(PRH, TIFAL)  
 HA1=CTA1\*PRIA\*(MHT\*\*(.8))  
 HA2=CTA2\*PRIA\*(MHT\*\*(.8))  
 HA3=CTA3\*PRIAL\*(MHT\*\*(.8))  
 HA4=CTA4\*PRIAL\*(MHT\*\*(.8))  
 A=HA2\*AI A2+HA4\*AI A4  
 AL=HA1\*AI A1+HA3\*AI A3  
 PRA=AFGEN(PRA, TFA)  
 PRAL=AFGEN(PRA, TFAL)  
 CARA=AFGEN(CAR, TFA)  
 CARAL=AFGEN(CAR, TFAL)  
 GRA1V=ABS((LA1V\*\*3)\*CARAL\*(TWA2L-TAR)\*1.E6)  
 NUA1V=.59\*((ABS(GRA1V\*PRAL))\*\*.25)  
 HAA1V=NUA1V\*AFGEN(CDTAR, TFAL)/LA1V  
 HARA1=HAA1V  
 GRA2V=ABS((LA2V\*\*3)\*CARA\*(TWA3-TAR)\*1.E6)  
 GRA2H=ABS((DEA2\*\*3)\*CARA\*(TWA3-TAR)\*1.E6)  
 NUA2V=.59\*((ABS(GRA2V\*PRA))\*\*.25)  
 NUA2H=.525\*((ABS(GRA2H\*PRA))\*\*.25)  
 HAA2V=NUA2V\*AFGEN(CDTAR, TFA)/LA2V  
 HAA2H=NUA2H\*AFGEN(CDTAR, TFA)/DEA2  
 HAA2=(HAA2V\*LA2V+HAA2H\*LA2H)/(LA2H+LA2V)  
 GRA3H=ABS((DEA3\*\*3)\*CARAL\*(TWA2L-TAR)\*1.E6)  
 NUA3H=.525\*((ABS(GRA3H\*PRAL))\*\*.25)  
 HAA3H=NUA3H\*AFGEN(CDTAR, TFAL)/DEA3  
 HARA3=HAA3H  
 GRA4V=ABS((LA4V\*\*3)\*CARA\*(TWA3-TAR)\*1.E6)  
 GRA4H=ABS((DEA4\*\*3)\*CARA\*(TWA3-TAR)\*1.E6)  
 NUA4V=.59\*((ABS(GRA4V\*PRA))\*\*.25)  
 NUA4H=.525\*((ABS(GRA4H\*PRA))\*\*.25)  
 HAA4V=NUA4V\*AFGEN(CDTAR, TFA)/LA4V  
 HAA4H=NUA4H\*AFGEN(CDTAR, TFA)/DEA4  
 HARA4=(HAA4V\*LA4V+HAA4H\*LA4H)/(LA4H+LA4V)  
 AAR=HARA2\*AEA2+HARA4\*AEA4  
 AARL=HARA1\*AMA1+HARA3\*AMA3

\*  
 \*  
 \*  
 \*  
 \*  
 \*  
 \*

CALCULO DOS COEFICIENTES DE PELICULA PARA A REGIAO B

PRIB=AFGEN(PRH, TIFB)  
 PRIBL=AFGEN(PRH, TIFBL)  
 HB1=CTB1\*PRIB\*(MHQ\*\*(.8))  
 HB2=CTB2\*PRIB\*(MHQ\*\*(.8))  
 HB3=CTB3\*PRIBL\*(MHQ\*\*(.8))  
 B=HB1\*AI B1+HB2\*AI B2



HAG1H=NUG1H\*AFGEN(CDTAR,TFGL)/DEG1  
 HARG1=(HAG1V\*LG1V+HAG1H\*LG1H)/(LG1H+LG1V)  
 GRG2V=(LJ2V\*\*3)\*CARGL  
 NUG2V=.59\*(((ABS(GRG2V\*PRGL))\*\*.25)  
 HAG2V=NUG2V\*AFGEN(CDTAR,TFGL)/LG2V  
 HARG2=HAG2V  
 GAR=HARG1\*AEG1  
 GARL=HARG2\*AEG2  
 PRIG=AFGEN(PRHEL,TIFG)  
 PRIGL=AFGEN(PRHEL,TIFGL)  
 PRGLL=AFGEN(PRHEL,IFGLL)  
 HG1=CTG1\*PRIG\*(MHQ\*\*(.8))  
 HG2=CTG1\*PRIGL\*(MHQ\*\*(.8))  
 HG3=CTG1\*PRGLL\*(MHQ\*\*(.8))  
 G=HG1\*AIG1  
 GL=HG2\*AIG2  
 GLL=HG3\*AIG3  
 G1=HGR1\*ARST1  
 G2=HGR2\*ARST2  
 G3=HGR3\*ARST2  
 G4=HGR4\*ARST1

\*  
 \*  
 \*  
 \*  
 \*  
 \*  
 \*

CALCULO DOS COEFICIENTES DE PELICULA NA REGIAO J

PRJ=AFGEN(PRAR,TFJ)  
 PRJL=AFGEN(PRAR,TFJL)  
 CARJ=AFGEN(CAR,TFJ)  
 CARJL=AFGEN(CAR,TFJL)  
 GRJ1V=(LJ1V\*\*3)\*CARJL\*(TWJ2L-TAR)\*1.E6  
 NUJ1V=.59\*(((ABS(GRJ1V\*PRJL))\*\*.25)  
 HAJ1V=NUJ1V\*AFGEN(CDTAR,TFJL)/LJ1V  
 HARJ1=HAJ1V  
 GRJ2V=(LJ2V\*\*3)\*CARJL\*(TWJ2L-TAR)\*1.E6  
 NUJ2V=.59\*(((ABS(GRJ2V\*PRJL))\*\*.25)  
 HAJ2V=NUJ2V\*AFGEN(CDTAR,TFJL)/LJ2V  
 HARJ2=HAJ2V  
 GRJ3V=(LJ3V\*\*3)\*CARJ\*(TWJ3-TAR)\*1.E6  
 GRJ3H=(DEJ3\*\*3)\*CARJ\*(TWJ3-TAR)\*1.E6  
 NUJ3V=.59\*(((ABS(GRJ3V\*PRJ))\*\*.25)  
 NUJ3H=.525\*(((ABS(GRJ3H\*PRJ))\*\*.25)  
 HAJ3V=NUJ3V\*AFGEN(CDTAR,TFJ)/LJ3V  
 HAJ3H=NUJ3H\*AFGEN(CDTAR,TFJ)/DEJ3  
 HARJ3=(HAJ3V\*LJ3V+HAJ3H\*LJ3H)/(LJ3H+LJ3V)  
 JARL=HARJ1\*AMJ1+HARJ2\*AMJ2  
 JAK=HARJ3\*AEJ3  
 PRIJ=AFGEN(PRHEL,TIFJ)  
 PRIJL=AFGEN(PRHEL,TIFJL)  
 HJ1=CTJ1\*PRIJL\*(MHT\*\*(.8))  
 HJ2=CTJ2\*PRIJL\*(MHT\*\*(.8))  
 HJ3=CTJ3\*PRIJ\*(MHT\*\*(.8))  
 JL=HJ1\*AIJ1+HJ2\*AIJ2  
 J=HJ3\*AIJ3

\*  
 \*  
 \*  
 \*  
 \*  
 \*  
 \*

CALCULO DOS COEFICIENTES DE PELICULA PARA A REGIAO S

```

*
TFS=(TWS3+TAR)/2.
FRS=AFGEN(PRAR,TFS)
CAR3=AFGEN(CAR,TFS)*ABS(TWS3-TAR)*1.E6
GRS1V=(LS1V**3)*CAR3
GRS1H=(DES1**3)*CAR3
NUS1V=.59*((GRS1V*PRS)**.25)
NUS1H=.525*((GRS1H*PRS)**.25)
HAS1V=NUS1V*AFGEN(CDTAR,TFS)/LS1V
HAS1H=NUS1H*AFGEN(CDTAR,TFS)/DES1
HARS1=(HAS1V*LS1V+HAS1H*LS1H)/(LS1H+LS1V)
GRS2V=(LS2V**3)*CAR3
NUS2V=.59*((GRS2V*PRS)**.25)
HAS2V=NUS2V*AFGEN(CDTAR,TFS)/LS2V
HARS2=HAS2V
GRS3H=(DES3**3)*CAR3
NUS3H=.525*((GRS3H*PRS)**.25)
HAS3H=NUS3H*AFGEN(CDTAR,TFS)/DES3
HARS3=HAS3H
TIFS=((T1L+T1LL)/2.+TWS1)/2.
PRIS=AFGEN(PRHEL,TIFS)
HS1=CTS1*PRIS*(MHF**(.8))
HS2=CTS2*PRIS*(MHF**(.8))
HS3=HS1
S=HS1*AIS1+HS2*AIS2+HS3*AIS3
SAR=HARS1*AES1+HARS2*AES2+HARS3*AES3
*
*
UTR=((DTRE/(DTRI*HTRT)+DTRE*ALOG(DTRE/DTRI))/(2.*KM)+1./HTRC)**(-1.))
UCO=((DCOE/(DCOI*HCOT)+DCOE*ALOG(DCOE/DCOI))/(2.*KM)+1./HCOC)**(-1.))
*
SORT
TS12D=(S*((T1L+T1LL)/2.-TWS1)-KS1*(TWS1-TWS2))/ACS1
TWS12=INTGRL(20.,TS12D)
TJ12D=(JL*((T8L+T8)/2.-TWJ1L)-KJ1L*(TWJ1L-TWJ2L))/ACJ1L
TJ12L=INTGRL(20.,TJ12D)
T12LD=(AL*((T5L+T5)/2.-TWA1L)-KA1L*(TWA1L-TWA2L))/ACA1L
TA12L=INTGRL(20.,T12LD)
TB12D=(B*((T1+T1L)/2.-TWB1)-KB1*(TWB1-TWB2))/ACB1
TB12=INTGRL(20.,TB12D)
T1B2D=(BL*((T1+T1L)/2.-TB1)-KB1L*(TB1-TB2))/ACB1L
T1B2=INTGRL(20.,T1B2D)
*
TF23P=(KF1L*(TWF1L-TWF2L)-KF2L*(TWF2L-TWF3L))/ACF2L
TF23L=INTGRL(20.,TF23P)
TF12P=(FL*((T2+T2L)/2.-TWF1L)-KF1L*(TWF1L-TWF2L))/ACF1L
TF12L=INTGRL(20.,TF12P)
TF12D=(F*((T2L+T2)/2.-TWF1)-KF1*(TWF1-TWF2))/ACF1
TF12=INTGRL(20.,TF12D)
*
TG12D=(G*((T3L+T3)/2.-TWG1)-KG1*(TWG1-TWG2))/ACG1
TG12=INTGRL(20.,TG12D)
T1G2D=(GL*((T3L+T3)/2.-TG1)-KG1L*(TG1-TG2))/ACG1L
T1G2=INTGRL(20.,T1G2D)
T2G3D=(KG1L*(TG1-TG2)-KG2L*(TG2-TG3))/ACG2L
T2G3=INTGRL(20.,T2G3D)
TG12P=(G1L*((T3L+T3)/2.-TWG1L)-KG1LL*(TWG1L-TWG2L))/AG1LL
TG12L=INTGRL(20.,TG12P)
T7DOT=2.*MAG/MAGUA*(TIN-T7)+ACO*UCO/CVAGU/MAGUA*(TTU+T8-TIN-T7)
T7=INTGRL(20.,T7DOT)
T6DOT=(ACER*HCER)/(CPCER*MCER)*((T2+T3L)/2.-T6)
T6=INTGRL(20.,T6DOT)
NOSORT

```

CALCULO DAS VAZOES NOS TUBOS EM U E NO BY-PASS

$TMU = (T8 + TTU) / 2.$   
 $RTU = P / (R * (TMU + 273.))$   
 $RETU = (DCOI * GCOT / MCOTF)$   
 $FFSP = .316 * (RETU ** (-.25))$   
 $RBYP = P / (R * (T8 + 273.))$   
 $RELVZ = (((KC * DCOI * RTU) / (FFSP * RBYP * LM)) ** .5) * (ATU / ABYP)$   
 $MH1 = MHT / (1. + 1. / RELVZ)$   
 $MH2 = MHT / (1. + RELVZ)$

CALCULO DA TEMPERATURA NOS RESISTORES

$TIAQC = (TREST + (T3 + T2) / 2.) / 2.$   
 $PRIAQ = AFGEN(PRHEL, TIAQC)$   
 $HREST = CTAQC * PRIAQ * (MHQ ** (.8))$   
 $TREST = Q / (HREST * AREST) + (T3 + T2) / 2.$

$CTE01 = (POT * ETA) / (CPH * MHT)$   
 $ETAEX = (CTE01 * MHT * CPH) / POT$   
 $T1L = CTE01 + T5$

DISTRIBUICAO DE TEMPERATURAS NA REGIAO S

$TWS3 = (SAR * TAR + KS2 * TWS2) / (SAR + KS2)$   
 $TWS2 = (KS1 * TWS1 + KS2 * TWS3) / (KS1 + KS2)$   
 $TWS1 = 2. * TWS12 - TWS2$   
 $T1LL = (MHF * CPH * T1L - S * T1L / 2. + S * TWS1) / (MHF * CPH + S / 2.)$   
 $TBL = (MHF * T1LL + MHQ * T4) / MHT$

CALCULO DAS TEMPERATURAS NAS PAREDES DA REGIAO J E T8

$TWJ2L = (JARL * TAR + KJ1L * TWJ1L) / (JARL + KJ1L)$   
 $TWJ1L = 2. * TJ12L - TWJ2L$   
 $TWJ3 = (JAR * TAR + KJ2 * TWJ2) / (JAR + KJ2)$   
 $TWJ2 = (KJ1 * TWJ1 + KJ2 * TWJ3) / (KJ1 + KJ2)$   
 $TWJ1 = (J * (TBL + T8) / 2. + KJ1 * TWJ2) / (J + KJ1)$   
 $T8 = (MHT * CPH * TBL - J * (TBL / 2. - TWJ1) - JL * (TBL / 2. - TWJ1)) / (MHT * CPH + J / 2. + JL / 2.)$   
 $TTU = (CPH * MH1 * T8 + ACO * UCO * TIN / 2. + ACO * UCO * T7 / 2. - ACO * UCO * T8 / 2.) / (ACO * UCO / 2. + CPH * MH1)$   
 $T5L = (MH1 * TTU + MH2 * T8) / MHT$



```

TG1=2.*T1G2-TG2
TWG3=(GAR*TAR+KG2*TWG2)/(GAR+KG2)
TWG2=(KG1*TWG1+KG2*TWG3)/(KG1+KG2)
TWG1=2.*TG12-TWG2
T3=(MHQ*CPH*T3L-G*(T3L/2.-TWG1)-GLL*(T3L/2.-TWG1L)-GL*(T3L/2.-TG1))/...
(MHQ*CPH+G/2.+GL/2.+GLL/2.)
*
*
*
T4=(MHQ*CPH*T3-ATR*UTR*(T3-T2L-T1)/2.)/(MHQ*CPH+ATR*UTR/2.)
*
*
*
3      CONTINUE
      IF (TIME-TESTE) 11,12,11
12      TESTE=TESTE+900.
DLOGS=((T3-T2L)-(T4-T1))/ALOG(ABS((T3-T2L)/(T4-T1)))
DARTS=(T3+T4-T2L-T1)/2.
EDEL= DLOGS-DARTS
PDEL= EDEL*100./DARTS
ET1=T1-TEXP4
ET2=T2-TEXP3
ET2L=T2L-TEXP3
ET1LL=T1LL-TEXP8
ET3=T3-TEXP7
ET3L=T3L-TEXP5
ET5L=T5L-TEXP9
ET1L=T1L-TEXP0
ET5=T5-TEXP0
ET7=T7-TEXP1
ET8=T8-TEXP2
ET8L=T8L-TEXP2
ETTU=TTU-TTUEX
EPT1=ET1*100./TEXP4
EPT2=ET2*100./TEXP3
PT1LL=ET1LL*100./TEXP8
EPT2L=ET2L*100./TEXP3
EPT3=ET3*100./TEXP7
EPT3L=ET3L*100./TEXP5
EPT5L=ET5L*100./TEXP9
EPT1L=ET1L*100./TEXP0
EPT5=ET5*100./TEXP0
EPT7=ET7*100./TEXP1
EPT8=ET8*100./TEXP2
EPT8L=ET8L*100./TEXP2
EPTTU=ETTU*100./TTUEX
11      CONTINUE
METHOD RECT
TIMEK OUTDEL=0900.,PRDEL=0900.,FINTIM=048600.,DELT=9.
PRTPLT T2(TEXP3,ET2,EPT2)
PRTPLT Q,T5(TEXP0,ET5,EPT5),DARTS(DLOGS,EDEL,PDEL),TWF3,TWF2,TF12,MAG
PRTPLT T8(TEXP2,ET8,EPT8),T1LL(TEXP8,ET1LL,PT1LL),MHT(MH3,MH4),MH1(MH2)
PRTPLT T1(TEXP4,ET1,EPT1),T3(TEXP7,ET3,EPT3),TWF1,TWF3L,TWF2L,TWF1L
PRTPLT T3L(TEXP5,ET3L,EPT3L),T5L(TEXP9,ET5L,EPT5L),T7(TEXP1,ET7,EPT7)
PRTPLT TF23L,TREST,T2L(TEXP3,ET2L,EPT2L),TF12L,T6,T4
PRTPLT T8L(TEXP2,ET8L,EPT8L),T1L(TEXP0,ET1L,EPT1L)
TITLE DISTRIBUCAD DE TEMPERATURAS NO LOOP DE HELIO
END
STOP

```

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BIRD, R.B.; STEWART, W.E.; LIGHTFOOT, E.N. Transporte phenomena. New York, N.Y., Wiley, 1960
2. DONOHUE, D.A. Heat transfer and pressure drop in heat exchangers. Ind. Engng. Chem., 41 (11): 2499-2510, 1949.
3. FREITAS, C.T. Calor específico de um refratário sílico-aluminoso utilizado no "Loop" de hélio do CEN. São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, ag. 1979: (Relatório interno. Centro de Metalurgia Nuclear).
4. INTERNATIONAL BUSINESS MACHINE IBM. System/360 continuous system modeling program. White Plains, N.Y., sem data. (User's Manual. Program Number 360A-CX-16X)
5. JAKOB, M. Heat transfer. New York, N.Y., Wiley, 1964.
6. KREITH, F. Princípios de transmissão de calor. São Paulo, Edgard Blucher, 1977.
7. McADAMS, W.H. Heat transmission. 3. ed. New York, N.Y., McGraw-Hill, 1954.
8. RENK, K.D.; KONUK, A.A. Test of the helium loop with nitrogen. São Paulo, Instituto de Energia Atômica, 1975. (Relatório interno. Centro de Engenharia Nuclear.)
9. ROSS, R.B. Metallic materials specification handbook. 2. ed. London, Spon, 1972.
10. TSEDERBERG, N.V.; POPOV, V.N.; MOROZOVA, N.A. Thermodynamic and thermophysical properties of helium. Jerusalem, Wiener Bindery, 1971