

1217 (f)



SÃO PAULO, 1991

Disseração apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo, para obtenção do
título de "MESTRE EM ENGENHARIA"

ANÁLISE TÉRMICA E SIMULAÇÃO NUMÉRICA
DO CICLO DE PANEIAS DE AGRIARIA

TELMO DE CASTRO E SILVA JUNIOR

SÃO PAULO, 1991

Orientador:
PROF. DR. MARCOS M. PIMENTA
Professor do Departamento de
Engenharia Mecânica da EPUSP

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo, para obtenção do
título de "MESTRE EM ENGENHARIA"

ANÁLISE TÉRMICA E SIMULAÇÃO NUMÉRICA
DO CICLO DE PANEIS DE AGIARIA

Eng. Mecânico, Fundação Armando Álvares Penteado (FAAP), 1985.

TELMO DE CASTRO E SILVA JUNIOR

- LIVRO DA SABEDORIA (6,12-16).

projetos.

ao seu encontro em todos os seus
aparece-lhes nas estradas e vai
merecem: cheia de bondade,
mesma sai à procura dos que a
viver despreocupado. Pois ela
ficar acordado em breve há de
perfeito: e quem por causa dela
Meditar sobre ela é bom senso
encontrará sentada à sua porta.
madruga não se cansa, pois a
aos que a desejam. Quem por ela
antecipa, dando-se a conhecer
que a procuram. Ela até se
amam e é encontrada por aqueles
contemplada por aqueles que a
viosa. Ela é facilmente
A sabedoria é brilhante e sempre

Ao meu avô Demócrito,
à minha mãe Bernadete,
e à minha esposa Maria Helena

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Marcos M. Pimenta, orientador deste trabalho,
pelo estímulo constante e pelas valiosas sugestões.
Aos engenheiros Paulo de Lima Belisário, Paulo Sérgio
Capriglione e Agnaldo Renda da COBRAPL.
Aos engenheiros Paulo P. M. Ciaccia, Antônio Barbará de
Jesus e Takeshi Makimoto da COSIPA.
Aos amigos que de uma forma ou outra colaboraram nas
diversas fases do trabalho.

R E S U M O

As etapas que constituem o ciclo operacional de uma panela de Aciaria foram analisadas através de um modelo simplificado que emprega fluxos unidimensionais de energia. Este modelo, que simula as etapas de aquecimento, transporte (panela vazia e cheia de aço-líquido), vazamento e lingotamento de uma panela de Aciaria, permite a variação da potência térmica do queimador, vazão e tipo de combustível, dados geométricos da panela, abertura da tampa, espessura e tipo do revestimento refratário, vazão e excesso de ar, espessura da camada de escória e tempos relativos a cada etapa do processo.

Através desse modelo pode-se estudar a diminuição da temperatura de fim de sopro de oxigênio do conversor face a um aquecimento adequado da panela e, avaliar a potência térmica ótima dos queimadores e da relação ar/combustível. Estes estudos, por sua vez, implicarão em benefícios como: economia de oxigênio, aumento da produção de aço, redução do consumo de refratário e de combustível.

E R R A T A

- Pg. 32 - Na 10ª linha,
o correto é "determinados" ao invés de "determinadas".
- Pg. 33 - Na observação do item II,
faltou a palavra "médio" após a palavra "interno" e o
valor do diâmetro é "2883 mm" ao invés de "3080 mm".
- Pg. 40 - No penúltimo parágrafo,
o correto é "determinado" ao invés de "determinada".
- Pg. 60 - Na última linha,
são "8" termopares ao invés de "9".
- Pg. 65 - Faltou a nota remetida pelo asterisco (*),
" * - Esta diferença corresponde a altura mínima se o
líquido utilizado for água. Caso seja utilizado
um líquido mais denso (ex.: mercúrio) essa altura
será bem menor, aproximadamente 75 mm."
- Pg. 69 - Na 3ª linha,
faltou o acento circunflexo na palavra "póde".
- Pg. 69 - Na 8ª linha,
o correto é "Apêndice-F" ao invés de "Apêndice-E".
- Pg. 75 - No rodapé (ETAPA 2) da Tabela 5.3,
o correto é carro "de transferência" ao invés de carro
"torpedo".
- Pg. 90 - Na 4ª linha do item 5.1,
o correto é "chama direcionada" ao invés de "chama
curta (inferior a 3m)".
- Pg. 128 - Na Tabela F.2,
o ângulo de abertura da válvula V-4 (ar de combustão) é
"25,83°" ao invés de "27,14°".

- $\text{CpAL} \dot{M} \text{LINE T}_{AL}(t)$

e substituir o 1º membro da direita por

$$\text{CpAL T}_{AL} \frac{dM_{AL}}{dt}$$

adicional ao membro da esquerda, o termo

Pg. 57 - Na expressão (3.56),

$\text{CpAL} \dot{M} \text{vaz T}_{vaz}(t)$

e o 1º membro da direita por

$$\text{FAL CpAL T}_{AL} \frac{dU_{AL}}{dt} + \text{FAL CpAL U}_{AL} \frac{dT_{AL}}{dt}$$

substituir o membro da esquerda por

Pg. 46 - Na expressão (3.33),

A B S T R A C T

The steps of an operational cycle of a steelmaking ladle were analysed by a simplified model based on a unidimensional energy fluxes. This model, that simulates the heating up, preheated ladle transfer (empty ladle), converter tapping, filled up ladle (full ladle) and casting, allows the variation of heater thermal power, flow and type of fuel, ladle geometry, cover slot, thickness and type of refractory, flow and excess of air, slag thickness and times for each process step.

Through this model it can be studied the decrease of the temperature of the end of oxygen blowing of the converter caused by a correct ladle heating up and, evaluate the optimal heater thermal power and the air/fuel rate. These studies will imply in benefits like: oxygen economy, steel production increase, reduction of refractory and fuel consumptions.

I N D I C E

Nomenclatura.....	001
Lista de Tabelas.....	004
Lista de Figuras.....	006
Capítulo 1 : INTRODUÇÃO.....	012
Capítulo 2 : REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	020
Capítulo 3 : ANÁLISE DO PROBLEMA	
3.1 Introdução.....	027
3.2 Hipóteses do Modelo.....	028
3.3 Descrição do Modelo Matemático.....	029
3.3.1 Equacionamento da Etapa de	
Aquecimento da Panela.....	029
3.3.2 Equacionamento da Etapa de	
Transporte da Panela Vazia.....	042
3.3.3 Equacionamento da Etapa de	
Vazamento do Conversor na Panela.....	045
3.3.4 Equacionamento da Etapa de	
Transporte da Panela Cheia de	
Ago-Líquido.....	049
3.3.4.1 Equacionamento da Camada	
de Escória.....	051
3.3.5 Equacionamento da Etapa de	
Lingotamento da Panela.....	057

Capítulo 4: PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 Objetivos.....060

4.2 Planejamento dos Testes.....060

4.2.1 Material Necessário.....060

4.2.2 Preparação dos Testes.....061

4.3 Execução dos Testes.....067

4.3.1 Obtenção das Temperaturas.....068

4.3.2 Obtenção das Vazões.....068

4.3.3 Dificuldades Encontradas nos Testes..069

Capítulo 5: RESULTADOS

5.1 Introdução.....071

5.2 Características Básicas da Panela

Ensaada.....071

5.3 Resultados Experimentais.....072

5.4 Testes de Sensibilidade do Modelo.....076

5.5 Resultados Comparativos entre o Modelo e

as Medidas Experimentais Referentes ao

Aquecimento e Resfriamento.....080

5.6 Resultados Comparativos entre o Modelo e

as Medidas Experimentais Referentes às

Etapas do Ciclo.....086

Capítulo 6: CONCLUSÕES

6.1 Sobre o Aquecimento e Resfriamento da

Panela.....090

6.2 Sobre o Ciclo da Panela.....091

6.3 Proposta de Trabalhos Futuros.....091

Bibliografia.....093

A P E N D I C E S

A - Descrição Sumária do Método Numérico de

Discretização.....098

B - Cálculos de Combustão.....106

C - Modelo do Jato de Vazamento do Conversor para a Panela.....111

D - Propriedades Termofísicas dos Materiais Utilizados no

Modelo.....114

E - Determinação dos Fatores de Forma.....119

F - Cálculo das Vazões de Ar e de Combustível & Pannelha

de Dados de Vazões.....122

G - Listagens do Programa.....129

NOMENCLATURA

SÍMBOLO	DESCRIÇÃO	UNIDADE
A	área da superfície	m ²
c, h, o,	kg de carbono, hidrogênio, oxigênio, kg/kg de comb	
a, s, n	água (umidade), enxofre e nitrogênio	
Cp	calor específico	J/kg.°C
e	excesso de ar	%
EN	poder emissivo do corpo negro	W/m ²
F	fator de troca total	adimensional
Gr	número de Grashof	adimensional
GS _i , S _i ' _j	fator de troca em função dos materiais, da geometria e do gás existente entre as superfícies	m ²
h	coeficiente de transferência de calor	W/m ² .°C
H	entálpia por unidade de tempo	J/h
J	radiosidade	W/m ²
k	condutibilidade térmica	W/m.°C
m	massa	kg
m	vazão em massa	kg/s
NU	número de Nusselt	adimensional
PCI	poder calorífico interior	J/Nm ³
Pr	número de Prandtl	adimensional
q	fluxo de calor específico	W/m ²
Q	fluxo de calor	W

SÍMBOLO	DESCRIÇÃO	UNIDADE
r	raio	m
Ra	número de Rayleigh	adimensional
t	tempo	s
T	temperatura	°C
w	umidade	$\frac{\text{kg de vapor}}{\text{kg de ar seco}}$
Z	distância vertical	m
α	difusividade térmica	$\frac{\text{m}^2}{\text{s}}$
ΔV	variação volumétrica	m^3
ϵ	emissividade	adimensional
ρ	peso específico	kg/m^3
σ	constante de Stefan-Boltzmann	$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{C}^4$

SÍMBOLO	DESCRIÇÃO
A	ambiente
AL	alco-líquido
CM	carcaça metálica
CONV	convecção
E	externo
F	fresta
G	gás combustível
GS	gases secos
GU	gases úmidos (combustão estequiométrica)
GU	gases úmidos (combustão completa com excesso de ar)
I	interno
LING	lingotamento
M	médio
P	parede
PROD	produtos
RAD	radiação
REAG	reagentes
REF	referência
T	total
TP	tampa
VAZ	vazamento
N,S,L,W	norte, sul, leste e oeste, respectivamente

INDICES

LISTA DE TABELAS

TABELA	TÍTULO	PÁGINA
Tabela 5.1	Valores experimentais das temperaturas nos vários pontos da panela durante os testes de aquecimento.	073
Tabela 5.2	Valores experimentais das temperaturas nos vários pontos da panela durante os testes de resfriamento.	074
Tabela 5.3	Valores das temperaturas iniciais e finais de cada ciclo nos diversos pontos de medição e duração de cada etapa do ciclo.	075
Tabela 5.4	Valores experimentais das temperaturas do aço-líquido medidos durante as corridas 850-822/829/831.	076
Tabela B.1	Composição volumétrica e em massa dos reagentes.	108
Tabela D.1	Varição da condutibilidade térmica com a temperatura para o aço-carbono (C = 1.0%) - Ref.: 20.	115
Tabela D.2	Varição da emissividade com a temperatura para tipos refratários silico-alumínicos, monofítico e de alta-alumina. Ref.: 37.	116

TABELA	TÍTULO	PÁGINA
Tabela D.3	Variação de calor específico com a temperatura para tipos retratários silico-alumínoso, monolítico e básico. Ret.: 37.	116
Tabela F.1	Valores experimentais das pressões manométricas e diferenciais do ar de combustão e GCO durante o 1º Teste.	127
Tabela F.2	Valores experimentais das pressões manométricas e diferenciais do ar de combustão e GCO durante o 2º Teste.	128

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	TÍTULO	PÁGINA
Figura 1.1	Tipos de equipamentos e posições para o aquecimento de painéis de aço.	013
Figura 1.2	Ciclo operacional de uma panela de aço.	015
Figura 3.1	Arranjo de instalação indicando fluxos de calor e temperaturas consideradas.	030
Figura 3.2	Emissividade do dióxido de carbono, para pressão total = 1 atm. Ref.: [11].	035
Figura 3.3	Emissividade do vapor de água, para pressão total = 1 atm. Ref.: [11].	035
Figura 3.4	Fator de correção para a emissividade do CO ₂ . Ref.: [11].	036
Figura 3.5	Fator de correção para a emissividade do H ₂ O. Ref.: [11].	036
Figura 3.6	Fator de correção quando CO ₂ e H ₂ O estão presentes. Ref.: [11].	036
Figura 3.7	Valores de "a" e "b" para o CO ₂ . Ref.: [11].	037
Figura 3.8	Valores de "a" e "b" para o H ₂ O. Ref.: [11].	037
Figura 3.9	Fator de troca total entre 2 superfícies paralelas opostas conectadas por paredes não condutoras reirradiantes: 4 configurações. Ref.: [11].	038

FIGURA	TÍTULO	PÁGINA
039	Distribuição dos nós na parede lateral e fundo da panela.	039
041	Distribuição dos nós na tampa da panela.	041
043	Fluxos de calor para a panela vazia.	043
043	Circuito elétrico analógico da radiação para o sistema da Fig. 3.12.	043
045	Arranjo da instalação, indicando os fluxos de calor considerados.	045
047	Distribuição dos nós na parede lateral e fundo da panela, relativa à 1ª. Região.	047
048	Distribuição dos nós na parede lateral da panela, relativa à 2ª. Região.	048
050	Esquema dos pontos e mecanismos de transporte de energia considerados na etapa de transporte da panela cheia de aço-líquido.	050
051	Transferência de calor do aço-líquido para o meio ambiente através da cobertura de escória. Ref.: [19].	051
054	Representação esquemática do fluxo térmico da camada de escória.	054
056	Variação de dH_T/dT_S com a temperatura da zona pastosa.	056
058	Esquema das regiões consideradas na etapa de lingotamento.	058

FIGURA	TÍTULO	PÁGINA
Figura 3.22	Esquema dos pontos e mecanismos de transporte de energia considerados na etapa de lingotamento.	058
Figura 4.1	Localização dos termopares na panela.	062
Figura 4.2	Esquema do tubo em "U" e manômetro montados na tubulação de ar de combustão.	065
Figura 4.3	Fluxograma das linhas de GCO e ar de combustão, indicando a localização das tomadas de pressão.	066
Figura 5.1	Esquema das temperaturas obtidas através do pirômetro óptico no final do 2º aquecimento.	075
Figura 5.2	Influência da emissividade do gás (0.25 a 0.40) na temperatura da parede.	078
Figura 5.3	Influência da distância entre a tampa e a panela na temperatura da parede.	078
Figura 5.4	Influência do tipo de revestimento de trabalho da panela na temperatura da parede.	079
Figura 5.5	Influência do excesso de ar na temperatura da parede.	079
Figura 5.6	Evolução da temperatura na interface escória-metal líquido para várias espessuras de escória, segundo as referências [16] e [19].	080

FIGURA	TÍTULO	PÁGINA
Figura 5.7	Comparação dos resultados obtidos experimentalmente e através do modelo no ponto 8 - entre os revestimentos de trabalho e fixo (ou permanente) Teste 1.	083
Figura 5.8	Comparação dos resultados obtidos experimentalmente e através do modelo no ponto 8 - entre os revestimentos de trabalho e fixo (ou permanente) Teste 2.	083
Figura 5.9	Comparação dos resultados obtidos experimentalmente e através do modelo no ponto 11 - entre o revestimento fixo (ou permanente) e a carga metálica - Teste 1.	084
Figura 5.10	Comparação dos resultados obtidos experimentalmente e através do modelo no ponto 11 - entre o revestimento fixo (ou permanente) e a carga metálica - Teste 2.	084
Figura 5.11	Comparação dos resultados obtidos experimentalmente e através do modelo no ponto 3 - carga metálica - Teste 1.	085
Figura 5.12	Comparação dos resultados obtidos experimentalmente e através do modelo no ponto 3 - carga metálica - Teste 2.	085

FIGURA	TÍTULO	PAGINA
Figura 5.13	Comparação dos resultados experimentais e calculados da temperatura do aço-líquido, mediante variação da espessura e do modelo da camada de escória, para o ciclo da corrida 850-831.	088
Figura 5.14	Evolução da temperatura entre os revestimentos fixo e de trabalho, mediante variação da espessura e do modelo da camada de escória, para o ciclo da corrida 850-831.	089
Figura 5.15	Evolução da temperatura da carga metálica, mediante variação da espessura e do modelo da camada de escória, para o ciclo da corrida 850-831.	089
Figura A.1	Representação nodal para problema unidimensional.	100
Figura A.2	Esboço que apresenta o método aproximado através do qual as derivadas parciais são obtidas.	104
Figura A.3	Diagrama de blocos do método de Newton-Raphson para a solução de sistema de equações não-lineares.	105
Figura C.1	Balanco energético para um elemento de massa do jato de vazamento.	112

- 117 Variação da condutibilidade térmica com a temperatura para refratários moldados magnésiano, alumínio e sílico-alumínio.
- 120 Esquema das superfícies internas da panela para determinação das expressões de cálculo dos fatores de forma, durante a etapa de lingotamento.
- 117 Variação da condutibilidade térmica com a temperatura para refratários moldados magnésiano, alumínio e sílico-alumínio.
- 120 Esquema das superfícies internas da panela para determinação das expressões de cálculo dos fatores de forma, durante a etapa de lingotamento.

Após a montagem do revestimento a panela deve ser seca cuidadosamente, antes de entrar em serviço, para evitar o risco de explosão pelo contato da água com o aço-líquido. Antes de cada utilização, a panela deve ser aquecida obedecendo curvas de

nos locais de sua aplicação. A composição do revestimento refratário de panelas de aço consiste basicamente de um revestimento permanente (segurança) e do revestimento de trabalho (desgaste) de tijolos ou monolíticos. Normalmente, os refratários comerciais são classificados em silico-aluminosos, aluminosos, silicicos e básicos. O refratário monolítico é empregado no revestimento de juntas de expansão ou na fabricação de tijolos com formatos especiais, que são moldados

de gases inertes. A composição do revestimento refratário de panelas de aço consiste basicamente de um revestimento permanente (segurança) e do revestimento de trabalho (desgaste) de tijolos ou monolíticos. Normalmente, os refratários comerciais são classificados em silico-aluminosos, aluminosos, silicicos e básicos. O refratário monolítico é empregado no revestimento de juntas de expansão ou na fabricação de tijolos com formatos especiais, que são moldados

INTRODUÇÃO

CAPÍTULO 1

temperatura que dependem do projeto do revestimento, tamanho da
 panela e material refratário empregado, para evitar um choque
 térmico violento ao revestimento, ao tampão e à válvula e,
 também, para evitar um resfriamento excessivo do aço.
 De acordo com o tipo de equipamento utilizado para o
 aquecimento, a panela pode ficar em 3 posições: horizontal,
 vertical e o fundo virado para baixo (Figura 1.1).

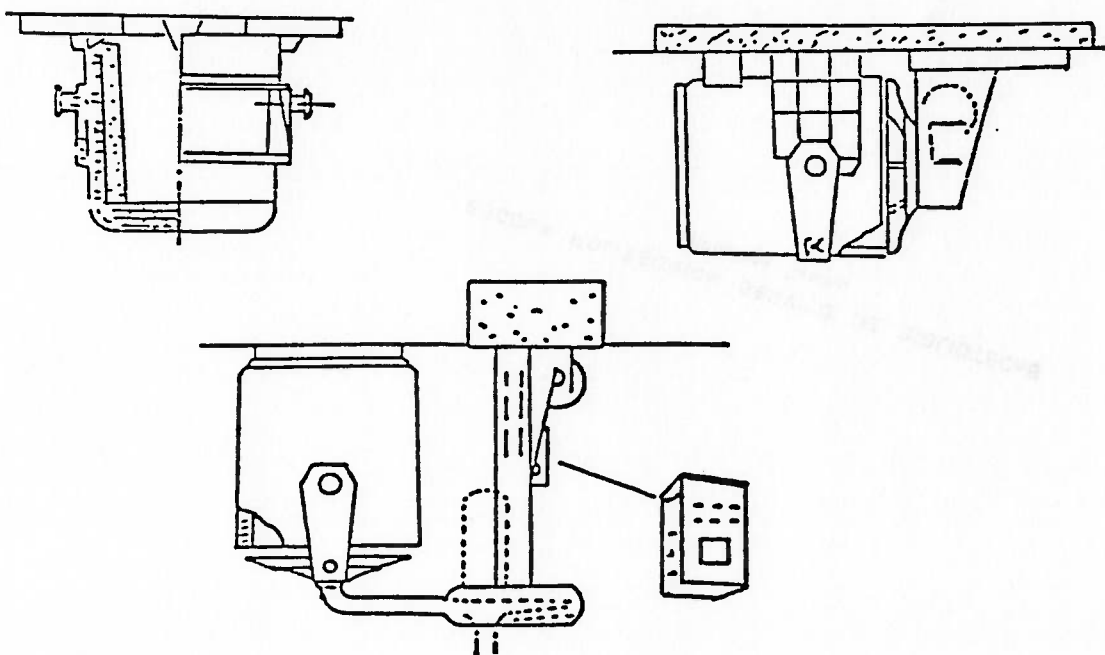


Fig. 1.1 - Tipos de equipamentos e posições para o aquecimento de
 painéis de aço.

O ciclo operacional de uma panela de Aciaria é constituído basicamente de 5 etapas descritas a seguir:

- Aquecimento, é a etapa na qual a panela é aquecida (até aproximadamente 1000°C) para receber o aço-líquido. Este procedimento é necessário afim de se evitar o choque térmico do revestimento refratário da panela.

- Panela Vazia, corresponde à etapa de transporte da panela aquecida, através de uma ponte rolante, do local de aquecimento para sob o conversor ou do lingotamento para o local de aquecimento ou ainda, do lingotamento para sob o conversor caso a panela esteja em condições de entrar em ciclo.

- Vazamento, é a etapa na qual o aço-líquido é vazado (a cerca de 1650°C) do conversor na panela. Geralmente, é nessa etapa em que a metalurgia da panela é realizada.

- Panela Cheia, trata-se da etapa na qual a panela cheia de aço-líquido é transferida de sob o conversor para o lingotamento. Em meio a essa etapa realiza-se o borbulhamento com gás inerte, afim de se efetuar uma homogeneização da temperatura do banho de aço.

- Lingotamento, é a etapa na qual o aço-líquido é vazado da panela em lingoteiras (Lingotamento Convencional), ou em um distribuidor (Lingotamento Contínuo).

Após receber novo revestimento, a secagem e o aquecimento, a panela entrará em ciclo quando, após o lingotamento, as temperaturas do revestimento refratário estiverem nos mesmos níveis apresentados após o primeiro aquecimento. Caso contrário, ou seja, se o revestimento refratário da panela estiver a temperaturas inferiores aos níveis de aquecimento, ela deverá ser submetida a um reaquecimento afim de torná-la apta ao processo. Poderá ocorrer também uma eventual parada da panela em função do desgaste do material refratário.

Portanto, uma vez realizado o aquecimento da panela, esta entra no ciclo normal de operação, conforme indicado na figura

1.2 abaixo.

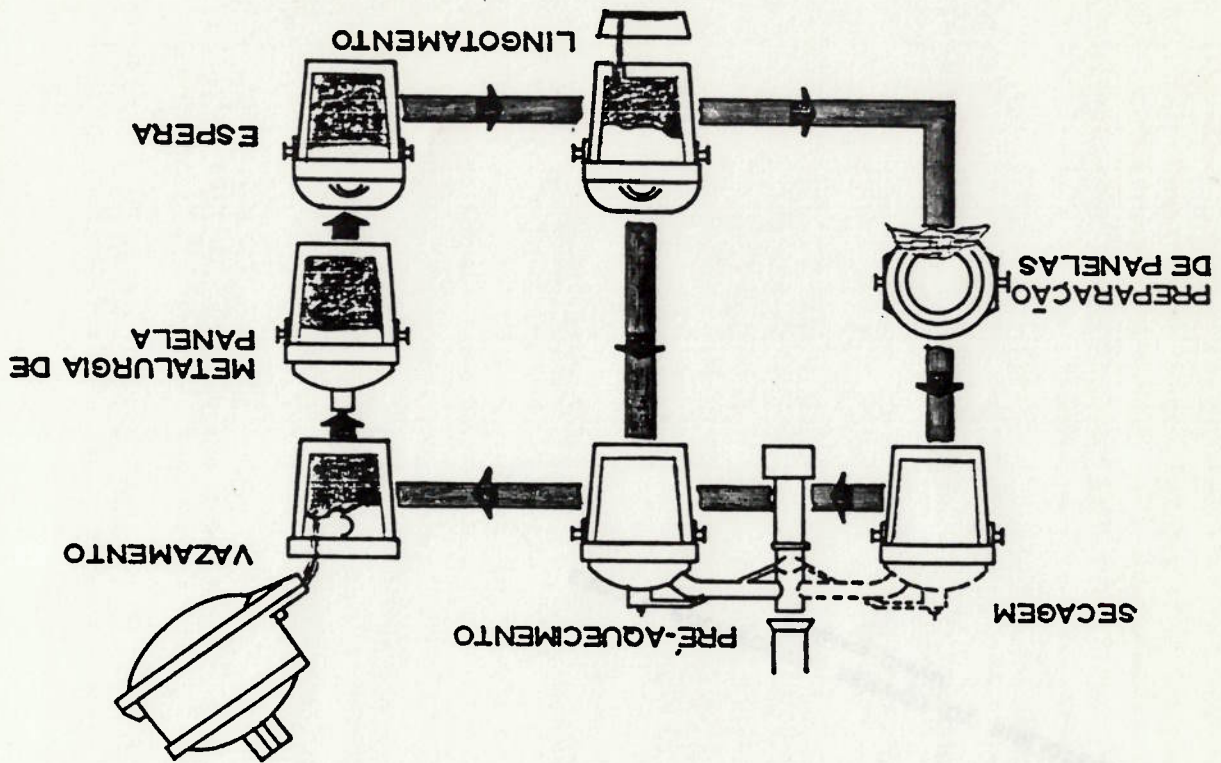


Fig. 1.2 - Ciclo operacional de uma panela de aço.

Segundo Altoé Jr. et alii [43], até três décadas atrás as painéis de aço eram consideradas equipamentos que não apresentavam grandes problemas sob o ponto de vista do revestimento refratário, a não ser de consumo específico (kg de refratário/ton de aço) que, se muito elevado, encareceria o custo final do aço.

Na década de 70, operações como: descarbonação, destoxificação, dessulfuração, desgasificação, injeção de gás inerte e outras, têm contribuído para que a panela, de simples recipiente de transporte de aço-líquido, passasse a equipamento destinado a tratamentos metalúrgicos de refino secundário de aço. A metalurgia na panela tem imposto condições mais severas de operação e, conseqüentemente, uma melhoria na qualidade de tijolos refratários e a busca de novos projetos de revestimento de panela.

A introdução do lingotamento contínuo tem exigido um controle mais rígido das painéis de aço e contínuas melhorias visando o aumento da vida do revestimento refratário com redução de consumo.

Esforços têm sido desenvolvidos na área de Modelamento Matemático dos Processos Físicos que ocorrem nas painéis de Aciaria, objetivando um melhor conhecimento quantitativo dos fenômenos envolvidos na operação das mesmas. Além disto, a crescente preocupação com o consumo de energia nas diversas operações metalúrgicas levaram a estudos fundamentais visando garantir um maior controle das perdas térmicas.

O modelo matemático é normalmente formulado a partir da análise física do problema. A literatura técnica especializada é suficientemente rica na descrição dos fundamentos dos fenômenos de transporte [12-14, 23-25, 27-31]. O sistema físico é modelado e o problema é colocado sob a forma de um sistema de equações diferenciais parciais obtidas dos balanços de massa, de força e de energia com as respectivas condições de contorno. Mesmo em sistemas mais simples o problema é complexo, daí é feita a opção pela solução numérica [4, 5, 16, 19, 32-36]. Hlinka [26], por exemplo, analisou o problema através de relações adimensionais entre os parâmetros do modelo.

Segundo as tendências atuais do estudo térmico do ciclo operacional de panelas de Aciaria, torna-se de grande interesse, simular o processo, com o objetivo de obter condições de operação que melhorem seu desempenho de acordo com critérios pré-estabelecidos.

Diversos trabalhos têm se preocupado em analisar somente o problema de perdas térmicas quando a panela está cheia. É evidente que esta é a etapa mais importante do ciclo operacional, já que ela significa perda de energia do aço. Porém, poucos são os trabalhos que se preocupam em analisar todo o ciclo normal da panela, como as referências [1, 2], entretanto esses trabalhos não incluem a etapa de aquecimento integrada ao ciclo.

O objetivo do presente trabalho, é então, o de efetuar uma avaliação das perdas térmicas e das temperaturas do aço-líquido, da escória e do revestimento refratário, através de um modelo de fluxos unidimensionais simplificado, que permite simular as

seguintes etapas do ciclo operacional de uma panela de Aclarar:

- aquecimento da panela:
- transferência da panela vazia:
- vazamento de aço do conversor para a panela:
- transferência da panela cheia:
- lingotamento.

O modelo permite a variação da potência térmica do queimador, vazão e tipo de combustível, dados geométricos da panela, abertura da tampa, espessura e tipo do revestimento refratário, vazão e excesso de ar, espessura da camada de escória e tempos relativos a cada etapa do processo.

Através desse modelo pode-se então, estudar a diminuição da temperatura de fim de sopro de oxigênio do conversor face a um aquecimento adequado da panela e, avaliar a potência térmica ótima dos queimadores e da relação ar/combustível. Estes estudos, por sua vez, implicarão em benefícios como:

- economia de oxigênio:

- aumento da produção de aço:

- aumento da produtividade:

- redução do consumo de refratário (uma panela aquecida pode reduzir significativamente a temperatura de vazamento do aço, redundando com isso, um menor consumo de revestimento refratário do conversor e da panela):
- redução do consumo de combustível.

Para tanto, no capítulo-2 apresentamos uma revisão bibliográfica do assunto que permite uma crítica e revisão dos principais modelos e resultados da literatura. No capítulo-3,

formulamos e analisamos o problema. Nesse capítulo, será introduzido o modelo matemático propriamente dito. No capítulo-4, serão descritos o planejamento e a execução dos testes, bem como, as dificuldades encontradas durante as medições experimentais realizadas em uma panela de Aclaria, com a finalidade de testar o modelo matemático.

No capítulo-5, apresentaremos inicialmente as características geométricas da panela ensaiada (caso base) e os resultados obtidos experimentalmente. Posteriormente, realizaremos testes de sensibilidade do modelo, além da comparação dos resultados experimentais com os valores obtidos através do modelo para o caso base. As conclusões e propostas para trabalhos futuros, são apresentadas no capítulo-6.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na literatura encontram-se diversos estudos e modelos matemáticos aplicados à panelas de Acilaria. Faremos uma revisão crítica dos principais modelos matemáticos desenvolvidos e resultados obtidos, destacando as considerações básicas empregadas na formulação dos modelos e suas restrições.

A necessidade do conhecimento preciso da temperatura do aço-líquido durante sua residência em panelas, justificam os significativos esforços no estudo da transferência de calor em panelas. Segundo Lima^[18], tais estudos dividem-se resumidamente em:

- transferência de calor através da escória (ou aço-líquido):
- transferência de calor através da parede refratária:
- efeitos dinâmicos associados:

- efeito combinado de transferência de calor.

Os efeitos dinâmicos associados são caracterizados pelos movimentos de recirculação do meio líquido e o efeito combinado de transferência de calor associa-se à perda simultânea de calor pelas paredes refratárias e através da cobertura de escória.

Ludley e Szekely^[4] realizaram estudos preliminares da transferência de calor através da escória, levando em consideração a temperatura do metal líquido constante e para uma única espessura de escória. Em continuidade, Szekely e Lee^[32] estenderam o estudo a várias espessuras de escória e à

possibilidade de variação da temperatura média do banho. Foram levados em consideração o transporte por radiação e por convecção ao meio ambiente além do efeito de solidificação, e os resultados alcançados sugeriram espessuras de escória de ordem de 7 cm como isolante ideal para uma operação normal. Posteriormente, a influência da tampa considerando, desta vez, a perda de calor por radiação através da superfície do aço-líquido, foi estudada por Szekely e Evans [3].

Restrições a tais modelos devem-se ao fato de uma temperatura média do banho metálico não refletir completamente o estado térmico e, principalmente por não ter sido avaliada a convecção que ocorre junto à interface metal-escória líquida.

O fluxo de calor através do revestimento refratário também foi objeto de relevantes estudos [5,34-36]. Mutsaerts [36] e Siqueira et alii [5] estudaram o comportamento de vários tipos e espessuras de refratários. A importância da especificação da espessura da parede deve-se ao fato de que, por um lado, é conveniente que o material refratário tenha elevada capacidade térmica para evitar um excessivo resfriamento do aço-líquido e, por outro, a temperatura não deve ser muito elevada para evitar um excessivo desgaste do revestimento refratário.

Resultados experimentais obtidos por Rieche et alii [15] e Hartog [34], suportam satisfatoriamente os perfis de temperatura obtidos pelos modelos de condução de calor em paredes, permanecendo controversos, no entanto, a temperatura da parede em contato com o metal líquido e o nível térmico da panela anterior a seu uso propriamente dito, pois, o

pre-aquecimento [5, 8, 15, 33, 34, 38] e o ciclo operacional da panela [34-36] são parâmetros importantes no fluxo de calor através do revestimento refratário. Sob determinadas condições, o fluxo de calor do refratário ao meio ambiente pode ser totalmente originário do pré-aquecimento da panela [5]. Como Siqueira et alii [5], Mansuy e Géhin [7] também fizeram considerações relativas à inércia térmica, que é um dos fatores mais importantes de perdas térmicas. O aço-líquido em contato com o refratário frio cede calor ao revestimento que é acumulado durante todo o período. Este acúmulo de energia é rápido durante os primeiros minutos de enchimento da panela.

O perfil térmico do refratário tende para o regime permanente com a temperatura do aço na face quente do revestimento, mas não o atinge inteiramente.

Quando a panela está vazia, a energia acumulada pelo refratário é perdida por radiação, portanto, a energia armazenada durante o período de panela cheia, é próxima da energia perdida pela panela vazia, considerando a panela com o mesmo ciclo.

As perdas de calor através da superfície do banho metálico e através das paredes, provocam correntes convectivas que causam estratificação da temperatura. Esta estratificação está fortemente ligada à espessura da camada de escória, pois o critério de presença, ou ausência, de mistura é ditado por quando a interface metal-escória resfria mais ou menos, rapidamente que o banho metálico [10, 16, 26]. Quando a queda local de temperatura na interface é elevada, devido à diferença de densidade, ocorre uma ação de mistura que tende a homogeneizar o banho metálico,

exceto nas regiões próximas às paredes. Uma maior espessura de escórias inibe esta ação de mistura sendo que espessuras acima de 8-10 cm não influem significativamente no fluxo de calor [16,26].

Nas regiões próximas à parede ocorre a formação de uma camada limite que é tanto mais espessa quanto mais próxima ao fundo da panela onde, sob condições apropriadas, pode ocorrer a formação de uma zona estagnante provocando gradientes térmicos elevados [34]. Estima-se que a vazão ao longo da camada limite possa atingir níveis da vazão de lingotamento [16,34] mas o desconhecimento do perfil de velocidades na panela limita seriamente tais conclusões, principalmente devido à influência da perda de calor através das paredes nos movimentos internos ao seio líquido.

Do ponto de vista dinâmico, além das influências combinadas de fluxo de calor através da parede refratária e através da escória já citadas, é importante que se conheça a relação entre o tempo de vazamento e a variação de temperatura do metal líquido. Através do balanço global de energia, encontrado em qualquer texto da literatura técnica especializada [14,23-25], pode-se estimar o tempo de vazamento com o auxílio de algumas correlações de atrito empíricas mas, não se pode tirar conclusões alguma sobre a dinâmica interna do banho metálico. Hlinka [26], a partir de um modelo físico e Albery [33], a partir de um modelo de correções sucessivas, estudaram as trocas térmicas durante o vazamento, desprezando o papel da convecção natural que ocorre na interface líquida metal-escória, o que foi levado em consideração por Omotani [19]. Excetuando-se Hlinka [26], onde houve um tratamento

essencialmente qualitativo, não houve um aprofundamento no estudo dos níveis de velocidade provocados pelas perdas de calor, quer pela escória, quer pela parede e, na influência dos mesmos na fiutuabilidade do meio metálico.

São poucos os trabalhos encontrados na literatura que estudam o efeito combinado de transferência de calor em painéis de Aciaria [1,2,5,17]. O modelo simplificado de fluxos unidimensionais proposto por Mundim et alii [6], leva em conta a troca térmica do aço-líquido com as paredes refratárias e escória, condução através das mesmas, e convecção natural para o ambiente e radiação entre superfícies, no entanto, esse modelo retrata apenas a etapa de transporte da panela cheia de aço-líquido. Pereira [17] desenvolveu um modelo matemático de fluxos bidimensionais a fim de simular o comportamento térmico de uma panela de Aciaria durante as etapas de aquecimento, transferência para o vazamento do conversor (panela vazia) e panela cheia de aço-líquido. Cabe aqui, salientar dois aspectos importantes sobre esse estudo. O primeiro é que o autor, após a comparação dos resultados obtidos através dos modelos bidimensional e unidimensional, num ponto à meia altura da panela, submetidos às mesmas condições iniciais e de contorno, mostrou através da análise dos perfis térmicos do revestimento refratário da panela relativos às três etapas citadas anteriormente, que as isotermas obtidas eram uniformes em uma vasta região da panela indicando assim, condução unidimensional. O outro aspecto refere-se ao fato de como o autor desenvolveu o equacionamento relativo à etapa de aquecimento. No caso, a

partir de curvas de aquecimento obtidas experimentalmente, o autor realizou uma série de regressões polinomiais obtendo dessa forma, funções temporais da temperatura de alguns pontos da panela. Este procedimento a nosso ver não parece muito adequado, pois restringe a aplicação do modelo somente a casos em que a panela tenha exatamente as mesmas características geométricas e disposição de refratários da panela ensaiada, além é claro, da necessidade de que o aquecimento também se dê nas mesmas condições.

Atim de investigar, em detalhes, as perdas térmicas do aço em função da espessura da escória, dos processos de borbulhamento de gases inertes diferenciados e de variações de geometria da borda da panela, Pfeifer et alii [2] desenvolveram um modelo simplificado de fluxos unidimensionais considerando a escória parcialmente solidificada. Com outro propósito, Pfeifer et alii [1] ampliaram os estudos atim de simular as etapas de, vazamento do conversor, metalurgia da panela, panela cheia de aço-líquido, lingotamento e panela vazia. Esse modelo, que simula todas as etapas do ciclo operacional de uma panela de Aciaria, com excessão do aquecimento, mostrou que as diferenças entre os resultados obtidos através do modelo e os experimentais estão abaixo de 10°C ($T_{ref} = 1000^{\circ}\text{C}$).

Do que foi exposto anteriormente, percebe-se que ainda não existe um modelo que descreva global e satisfatoriamente os mecanismos de trocas térmicas que ocorrem em uma panela de Aciaria.

Se modelos mais complexos não trazem vantagens decisivas,

não há necessidade de usá-los e, simulações de razoável precisão podem ser alcançadas a baixo custo computacional com o auxílio de modelos mais simples. Portanto, é razoável a utilização de modelos simplificados de fluxos unidimensionais para os cálculos dos perfis térmicos do revestimento refratário e da evolução da temperatura do aço durante o ciclo de uma panela.

ANÁLISE DO PROBLEMA

CAPÍTULO 3

3.1 INTRODUÇÃO

Pretendemos neste capítulo construir um modelo matemático de fluxos unidimensionais simplificado de uma panela de Aclaria, em regime transitório, afim de simular o seu comportamento durante as etapas de aquecimento/secagem, transporte da panela cheia de aço-líquido e vazia, vazamento e lingotamento. A opção pelo modelo matemático de fluxos unidimensionais ao invés do bidimensional, justifica-se pela maior rapidez e baixo custo computacional na simulação do modelo, devido ao menor número de equações e pela maior simplicidade. Esta opção é reforçada por Pereira [17] que, utilizando um ponto a meia altura da panela, mostrou através da análise dos perfis térmicos do revestimento refratário, que um modelo de fluxos unidimensionais, submetido às mesmas condições iniciais e de contorno do programa simulador bidimensional, apresentava isotermais uniformes em uma vasta região da panela indicando assim, condução unidimensional para as etapas de aquecimento, transferência da panela vazia e cheia de aço-líquido.

Para a construção do modelo matemático de fluxos unidimensionais simplificado, aplicaremos balanços de energia ao revestimento refratário da panela, ao aço-líquido e ao gás (no caso da etapa de aquecimento/secagem).

A verificação do modelo será feita através de comparação com dados obtidos experimentalmente.

3.2 HIPÓTESES DO MODELO

Para desenvolvimento do modelo fez-se as seguintes suposições:

1. O gás produzido pela combustão no interior da panela é bem misturado e, portanto, possui temperatura uniforme em cada instante;
2. O combustível utilizado no queimador da panela é o gás de coqueria (GCO) e, por se tratar de um combustível gasoso, queima com chama não-luminosa;
3. A dissociação dos produtos da combustão (CO_2 e H_2O) é desprezível;
4. A panela é considerada cilíndrica, com a mesma área interna da panela real;
5. O fluxo de calor na parede lateral da panela ocorre na direção radial (altura da parede >> espessura da parede);
6. O fluxo de calor no fundo da panela ocorre na direção axial (diâmetro da panela >> espessura do fundo);
7. O fundo da panela comporta-se da mesma forma que os lados;
8. A parede e a tampa apresentam temperaturas interna e externa uniformes;
9. O gás é real para efeito de transferência de calor por radiação;
10. As superfícies internas da parede e da tampa são consideradas cinzas, com emissividade uniforme em função da temperatura do revestimento interno da panela. Não existem superfícies reirradiantes;

panela.

temperaturas consideradas durante a etapa de aquecimento da
Na Figura 3.1 estão indicados os fluxos de calor, bem como as

3a. Região - Tapa da panela.

2a. Região - Parede lateral e fundo da panela:

panela:

1a. Região - Entrada e saída de gás + volume de gás dentro da

regiões:

aquecimento foram obtidas através da divisão da panela em três

As equações que constituem o modelo matemático de

3.3.1 EQUACIONAMENTO DA ETAPA DE AQUECIMENTO DA PANELA

sistema de equações não-lineares é apresentada no Apêndice-A.

Uma descrição sumária do método numérico de discretização do

como, as condições iniciais e de contorno relativas a cada etapa.

Serão apresentadas as equações de balanço de energia, bem

transporte da panela cheia e lingoamento, respectivamente.

seja, aquecimento, transporte da panela vazia, vazamento,

está dividido conforme as etapas que se pretende simular, ou

O equacionamento do modelo matemático apresentado a seguir,

3.3 DESCRIÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO

13. A temperatura do aço-líquido é uniforme em cada instante.

instantes consecutivos:

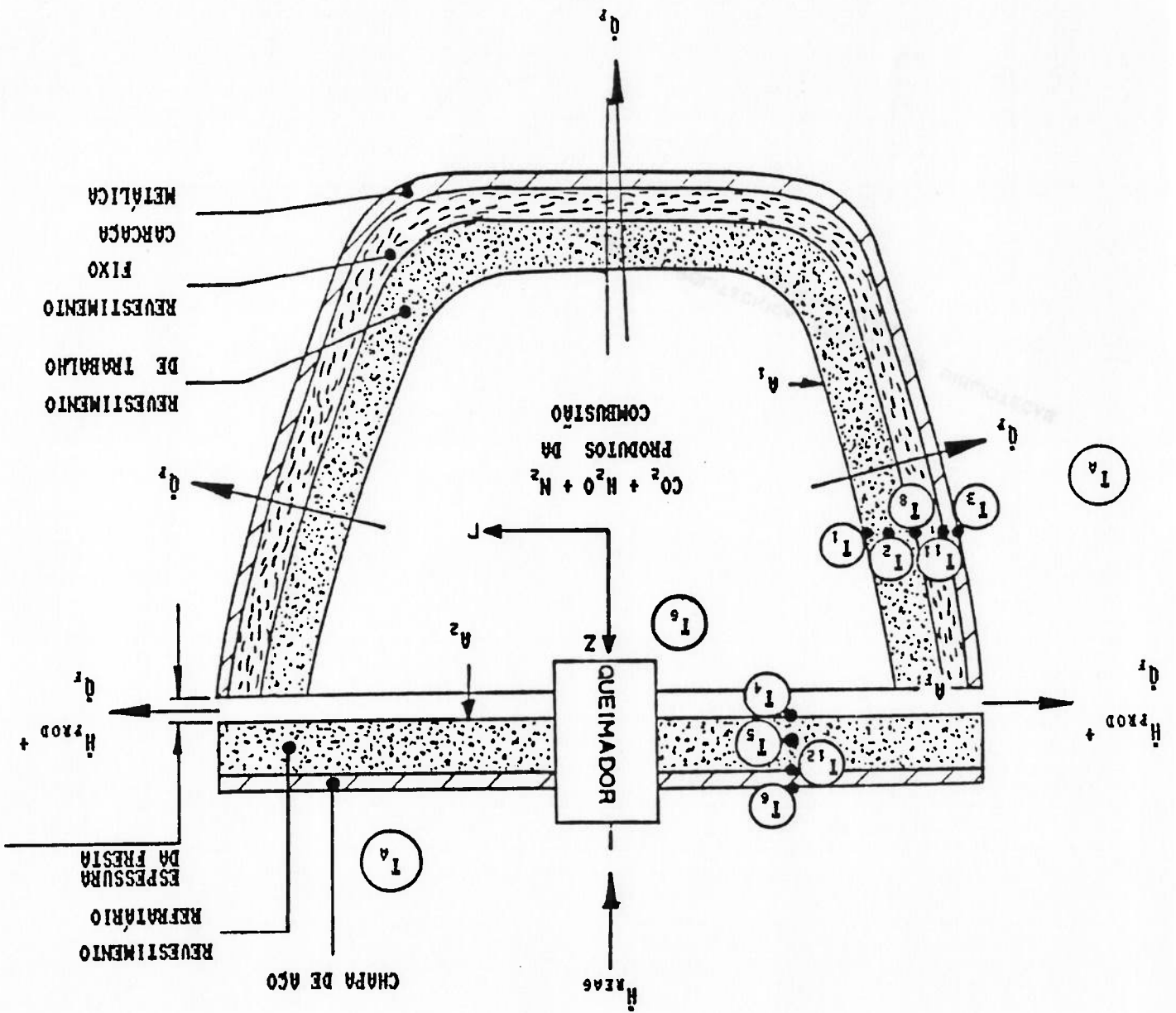
12. Despreza-se a variação da energia interna do gás entre dois

carcaça metálica:

11. Admite-se contato perfeito entre os tijolos refratários e a

temperaturas consideradas.

Fig. 3.1 - Arranjo da instalação indicando fluxos de calor e



Para cada uma das regiões faz-se um balanço de energia, subdividindo-as quando necessário.

1a. Região:

Considerando o fluxo de entalpia na entrada e na saída e o fluxo de calor fornecido ao gás pela reação de combustão, podemos escrever a equação de transferência de calor para o gás da seguinte forma:

$$\dot{Q}_g = \dot{Q}_r + \dot{Q}_f \quad (3.1)$$

A análise dos fluxos térmicos descritos acima estabelece que, em regime permanente, o balanço de energia aplicado ao gás fornece:

$$\dot{Q}_g = (\dot{H}_{\text{reac}} - \dot{H}_{\text{prod}})_{\text{RT}} - \dot{m} C_p (T_g - T_a) \quad (3.2)$$

A troca de calor entre o gás e a panela é composta de duas parcelas de radiação: uma relativa à parede interna (lateral + fundo) e tampa da panela e a outra relativa à fresta entre o corpo e a tampa da panela.

No Apêndice-B estão apresentados os cálculos de combustão envolvendo o poder calorífico inferior (PCI), a composição volumétrica dos produtos, a massa de gases de combustão úmidos e o calor específico médio dos produtos provenientes da combustão completa com excesso de ar do GCO.

a) Fluxo Térmico Líquido por Radiação do Gás para a Parede Interna e Tampa da Panela (\dot{Q}_p):

O fluxo térmico por radiação do gás para a parede interna e

tampa da panela pode ser dado, segundo Hotel [11], pela

expressão:

$$Q_p = \underline{GS}_1 \sigma (T_g^4 - T_1^4) + \underline{GS}_2 \sigma (T_g^4 - T_1^4) \quad (3.3)$$

Fluxo de calor por radiação entre o gas e a parede interna da panela
Fluxo de calor por radiação entre o gas e a tampa da panela

O fluxo de calor por convecção entre o gás e as superfícies interna da panela e inferior da tampa é desprezível face a ordem de grandeza dos fluxos de calor por radiação. O número de Reynolds calculado na fresta entre a panela e a tampa é da ordem de 2×10^2 (etapa de aquecimento).

Na expressão (3.3) os fatores de troca \underline{GS}_1 e \underline{GS}_2 dependem dos materiais, da geometria e do gás existente entre as superfícies, e podem ser determinadas pelas expressões:

$$\underline{GS}_1 = \frac{A_r C_s \epsilon_1 \epsilon_{g,1/a_g}}{A_r C_s \epsilon_1 + [C_s \epsilon_1 + (1 - C_s) \epsilon_2] (1 - \epsilon_{g,1/a_g})} \quad (3.4)$$

$$\underline{GS}_2 = \frac{A_r (1 - C_s) \epsilon_2 \epsilon_{g,2/a_g}}{\epsilon_{g,2/a_g} + [(1 - C_s) \epsilon_2 + C_s \epsilon_1] (1 - \epsilon_{g,2/a_g})} \quad (3.5)$$

onde:

A_T - área total do invólucro que contém o gás:

$$A_T = A_1 + A_2 + A_r \quad (3.6)$$

a_g - fração da radiação do corpo negro absorvida e emitida pelo gás:

C_S - relação entre a área da superfície interna (lateral + fundo) e a área do invólucro do gás:

$$C_S = A_i / A_T \quad (3.7)$$

- ϵ_1 - emissividade da superfície interna da panela;
 - ϵ_2 - emissividade da superfície da tampa da panela;
 - $\epsilon_{G,E}$ - emissividade cinzenta equivalente do gás;
- O valor de a_g pode ser determinado pela expressão:

$$a_g = \frac{\epsilon_{e,1} z - \epsilon_{e,21}}{2 \epsilon_{e,1} - \epsilon_{e,21}} \quad (3.8)$$

- $\epsilon_{G,L}$ - emissividade do gás para um comprimento de radiação L;
- $\epsilon_{G,2L}$ - emissividade do gás para um comprimento de radiação 2L.

A emissividade do gás ϵ_g , calculada à temperatura do mesmo (T_g) , deve incluir as emissividades dos gases componentes. Assim, o método para a determinação da emissividade ϵ_g do gás consiste no seguinte:

- 1) determinar através da composição química do gás, as pressões parciais de CO_2 e H_2O existentes;
- 11) com as pressões parciais desses gases radiantes e os seus comprimentos de radiação, determinar a emissividade à pressão zero de cada um desses gases à temperatura T_g , através das figuras 3.2 e 3.3, admitindo-se que o volume do gás é um cilindro circular com altura igual ao diâmetro (D), radiação por toda a superfície, o comprimento médio equivalente do feixe de radiação é $L = 0.6D$ (Ref.: [11]).

Obs.: O diâmetro interno e a altura efetiva de uma panela de Aciaria de 130 toneladas, por exemplo, são da ordem de 3080 e 3447 mm, respectivamente.

- 111) determinar os coeficientes de correção de pressão das

emissividades do CO₂ e da H₂O (C_G e C_A) em função do produto de radiação (P_{G,L}) e da pressão total, por meio das Figuras 3.4 e 3.5:

iv) determinar a correção devido à superposição das faixas de radiação entre o CO₂ e a H₂O (Δε), por meio da Figura 3.6:

v) a emissividade total do gás ε_G é dada, então, pela seguinte expressão:

$$\epsilon_g = C_c \epsilon_{CO_2} + C_A \epsilon_{H_2O} - \Delta \epsilon \tag{3.9}$$

Os valores de ε_{G,L} e ε_{G,2L} são obtidos através do método descrito anteriormente.

Quanto à emissividade equivalente do gás, é igual a

$$\epsilon_{g,e} = \epsilon_{g,h} \frac{4}{4 + a + b + c} \tag{3.10}$$

em que:

ε_{G,M} - emissividade do gás determinada na temperatura média

do gás e da superfície lateral interna na parede por processo análogo ao descrito anteriormente;

"a" e "b" - valores médios dos índices determinados pelas Figuras

3.7 e 3.8;

"c" - 0,65 para CO₂ e 0,45 para H₂O.

Segundo Truelove [43], como os cálculos da emissão total da

chama são baseados na temperatura média da chama e emissividade do gás, é suficiente fazer uma compensação aproximada para a emissão de fuligem adicionando-se 0,05 à emissividade não-luminosa.

Fig. 3.3 - Emissividade do vapor de água, para pressão total = 1 atm. Ref.: [11].

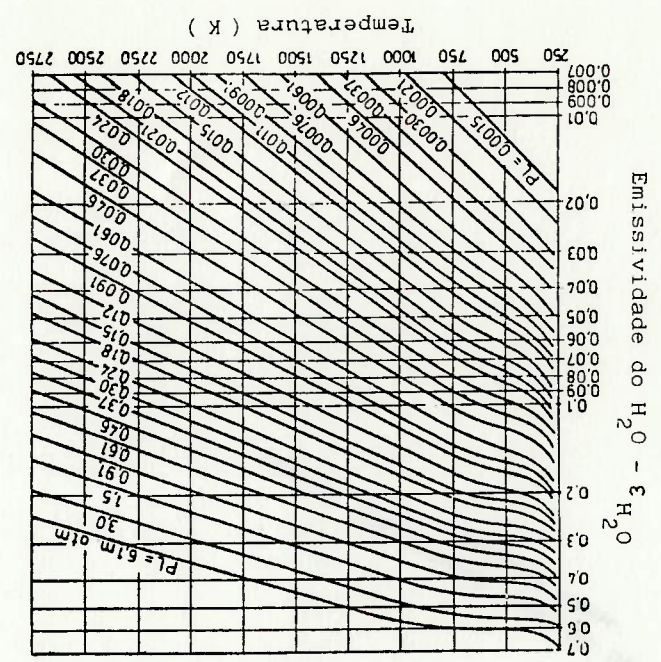
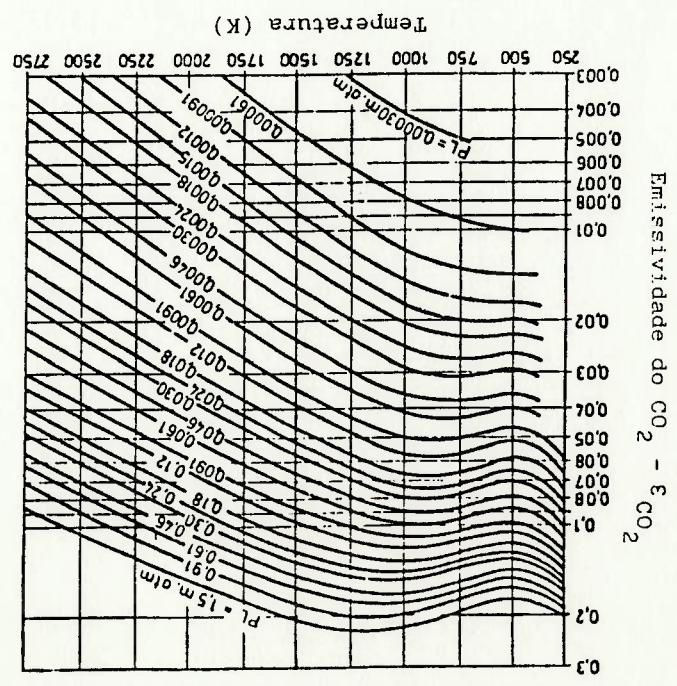


Fig. 3.2 - Emissividade do dióxido de carbono, para pressão total = 1 atm. Ref.: [11].



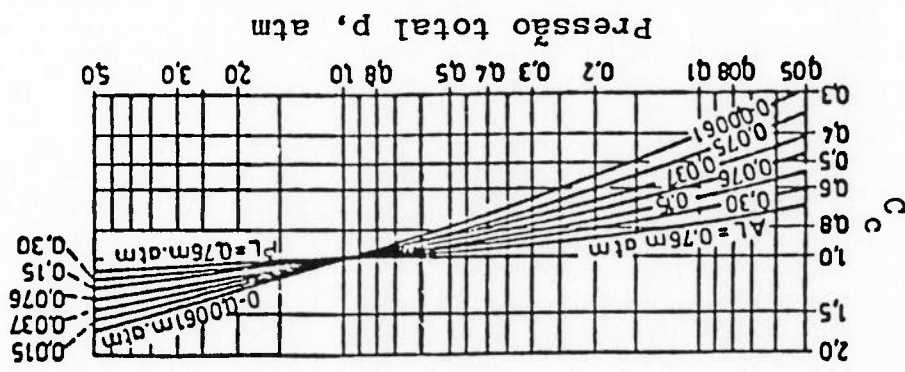


Fig. 3.4 - Fator de correção para a emissividade do CO₂.

Ref.: [11].

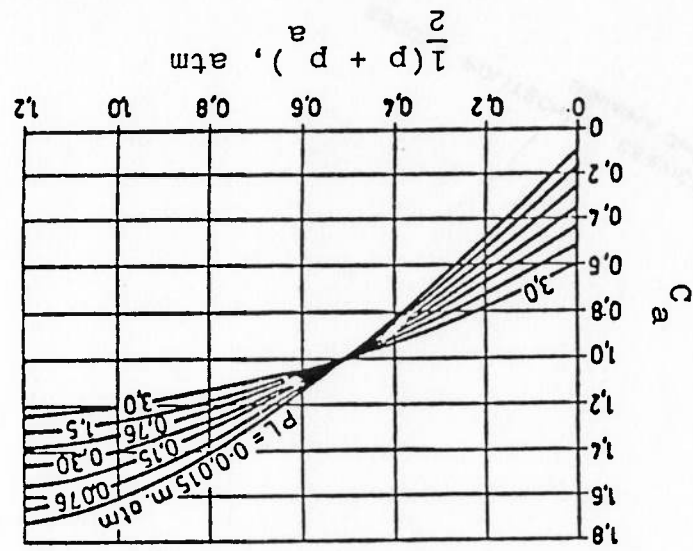


Fig. 3.5 - Fator de correção para a emissividade do H₂O.

Ref.: [11].

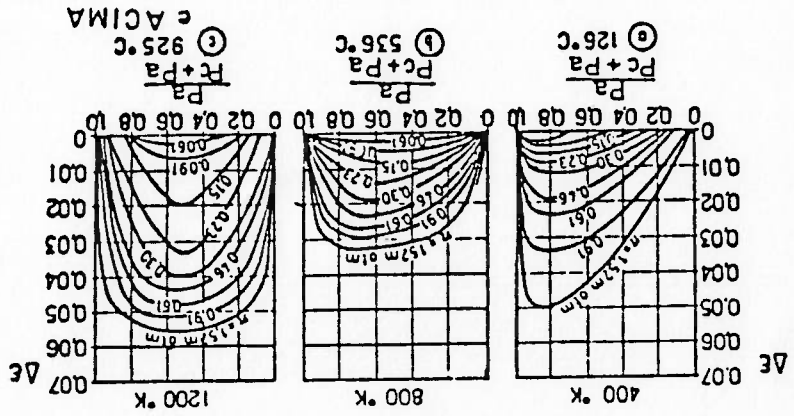


Fig. 3.6 - Fator de correção quando CO₂ e H₂O estão presentes.

Ref.: [11].

Fig. 3.8 - Valores de "a" e "b" para o H₂O. Ref.: [11].

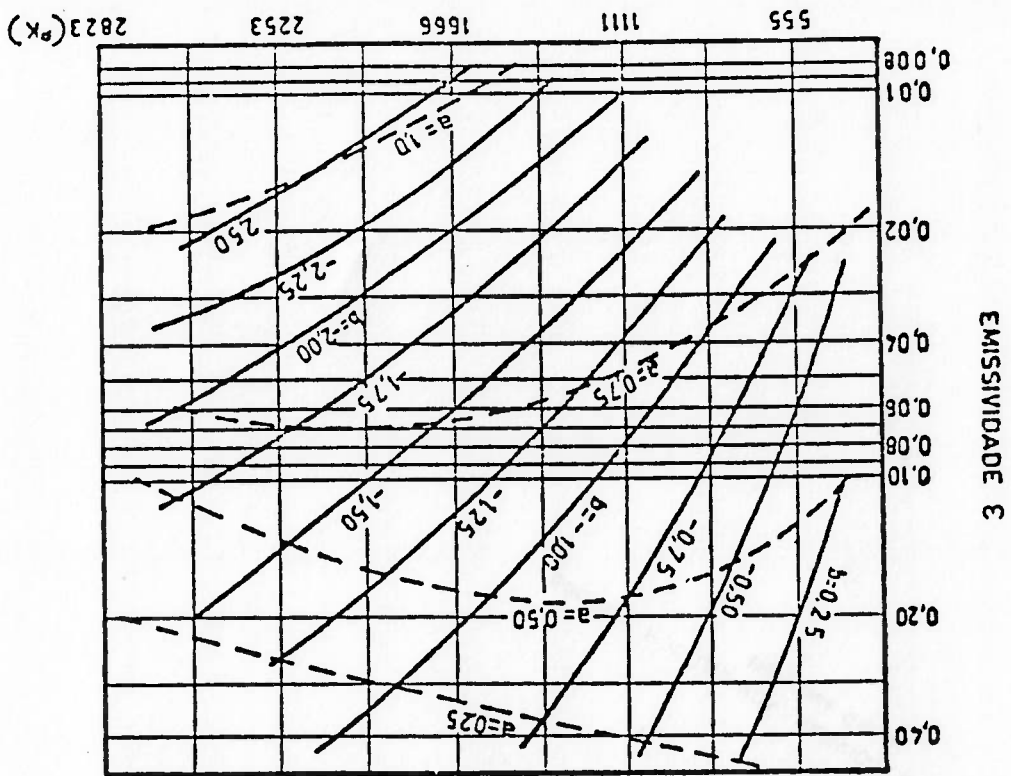
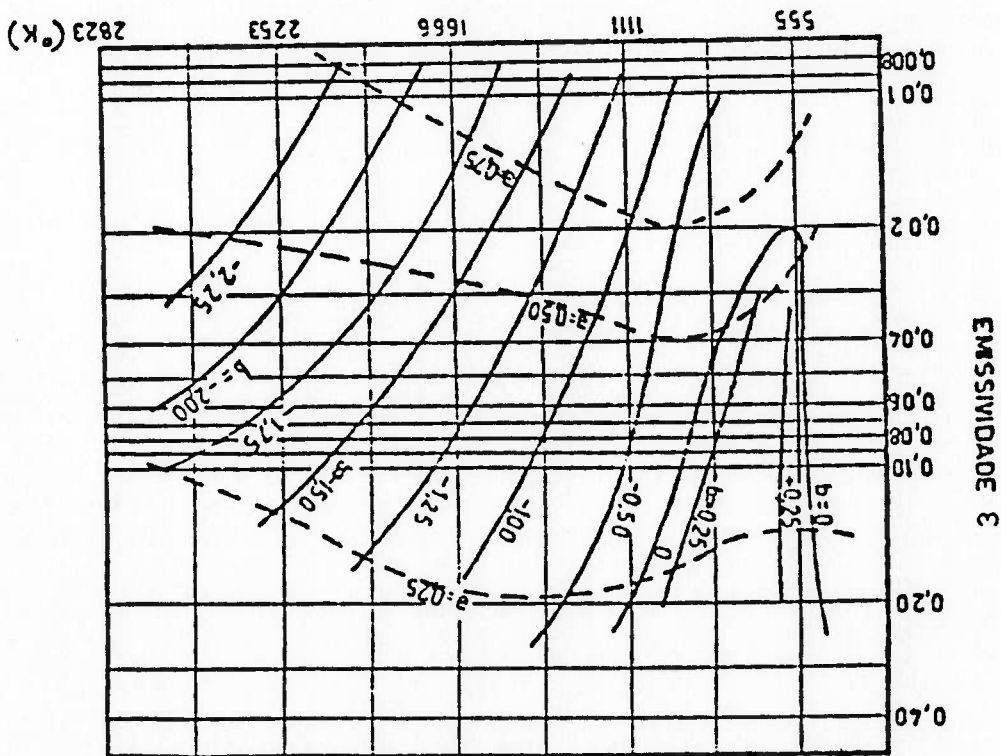


Fig. 3.7 - Valores de "a" e "b" para o CO₂. Ref.: [11].



b) Fluxo Térmico Líquido por Radiação do Gás para o Meio através da Fresta Existente entre o Corpo e a Tampa da Panela (\dot{Q}_F):

A pequena abertura entre o corpo e a tampa da panela é considerada como uma abertura muito longa (very long slot).

Assim, através da Figura 3.9, tem-se para um dado D/X o

fator de troca total F_{12} .

Portanto o fluxo térmico por radiação do gás para o meio

através de fresta é dado por:

$$\dot{Q}_F = A_F F_{12} \sigma (T_e^4 - T_a^4) \quad (3.11)$$

onde,

A_F representa a área da abertura entre o corpo e a tampa da

panela.

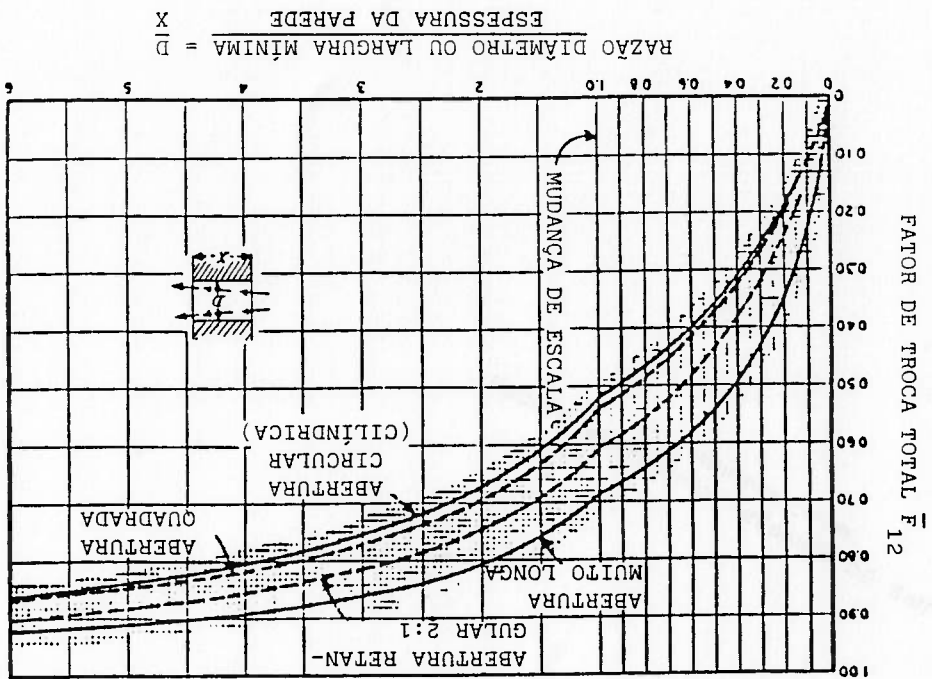


Fig. 3.9 - Fator de troca total entre 2 superfícies paralelas opostas conectadas por paredes não condutoras reirradiantes: 4 configurações. Ref.: [11].

A parede lateral e o fundo da panela devem ter no mínimo três pontos, para que sejam introduzidas as condições de contorno nas duas faces. Nesse caso, consideramos cinco pontos. Nos pontos 2, 8 e 11, utiliza-se somente a equação da condução de calor, enquanto que nos pontos 1 e 3, aplica-se a esta, as condições de contorno.

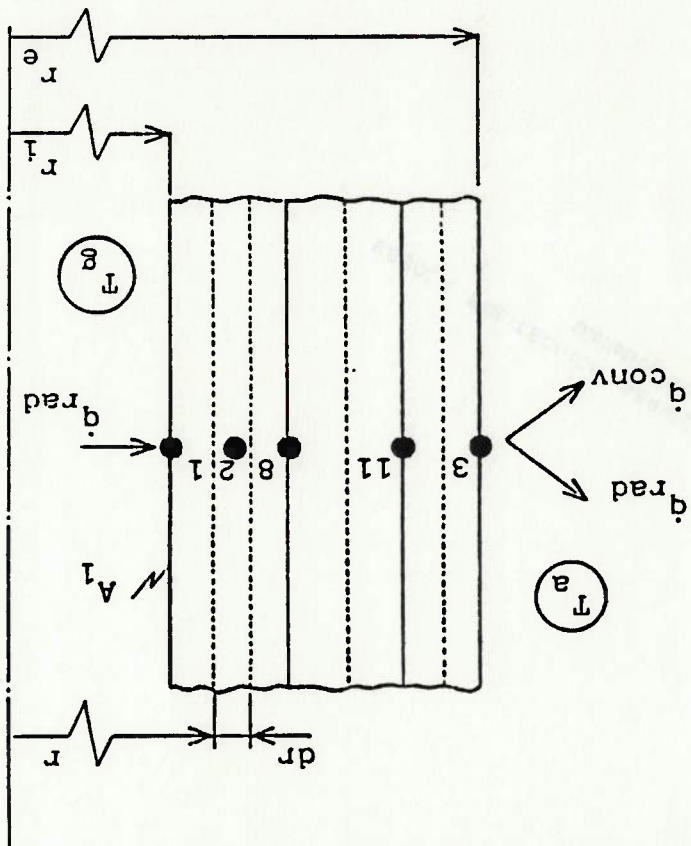


Fig. 3.10 - Distribuição dos nós na parede lateral e fundo da panela.

A equação de condução de calor unidimensional em regime transitório é descrita pela seguinte expressão em coordenadas cilíndricas:

$$(3.12) \quad \delta^2 T(r,t) + \frac{r}{\delta t} \delta T(r,t) = \frac{r}{\delta t} \alpha^2 \delta T(r,t)$$

onde: $\alpha^2 = \frac{k_r}{\rho_r C_p r}$ (3.13)

As condições iniciais são: $T(r,0) = T_{1,0}$ (3.14)
 $T(r,0) = T_{3,0}$ (3.15)

e as condições de contorno aplicadas às paredes interna e externa são, respectivamente:

$$(3.16) \quad -k_r \frac{\partial T(r,t)}{\partial r} = \underbrace{\text{Fluxo de calor por condução através da superfície interna da panela}}_{\text{Fluxo de calor por radiação entre as superfícies interna e externa da panela}} + \underbrace{\text{Fluxo de calor por convecção natural entre a superfície externa da panela e o meio}}_{\text{Fluxo de calor por condução através da superfície externa da panela (ou carcaça metálica)}}$$

$$(3.17) \quad -k_{cm} \frac{\partial T(r,t)}{\partial r} = \underbrace{\text{Fluxo de calor por radiação entre a superfície externa da panela e o meio}}_{\text{Fluxo de calor por condução através da superfície externa da panela (ou carcaça metálica)}}$$

Na expressão (3.16), o fator de troca S_1^2 depende dos materiais, da geometria e do gás existente entre as superfícies, e pode ser determinada, segundo Hotel [11], pela expressão:

$$(3.18) \quad S_1^2 = \frac{h_r a_g C_s (1 - C_s) \epsilon_1 \epsilon_2 (1 - \epsilon_{g,1/a_g}) + \frac{\epsilon_{g,1/a_g} + (C_s \epsilon_1 + (1 - C_s) \epsilon_2)}{h_r (1 - a_g) C_s (1 - C_s) \epsilon_1 \epsilon_2}}{h_r (1 - a_g) C_s (1 - C_s) \epsilon_1 \epsilon_2}$$

O coeficiente de transferência de calor (h_p) entre a parede externa da panela e o meio é dado por:

$$(3.19) \quad h_p = 0,95 (T_p - T_a)^{1/3}$$

considerando-se fluxo turbulento ($Ra > 10^9$) para cilindro vertical, conforme referência [20].

3a. Região:

Similar à 2a. Região, só que por ser a tampa plana, aplica-se a equação de condução de calor em coordenadas cartesianas.

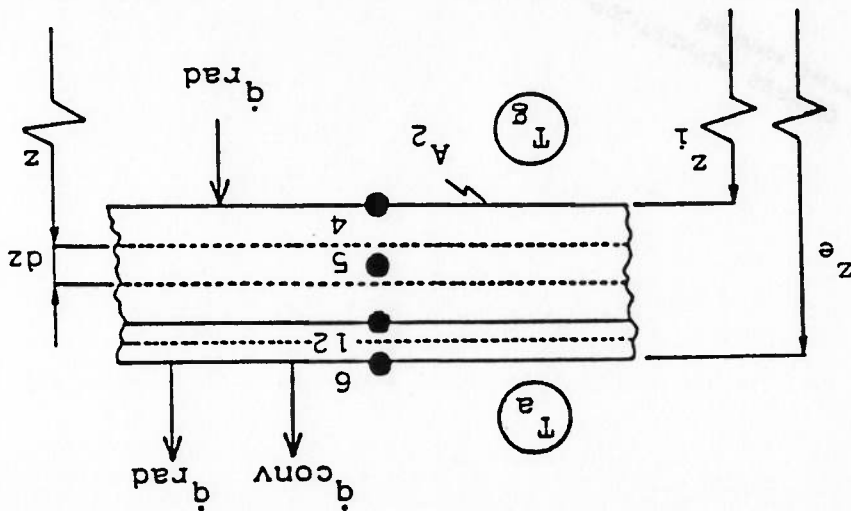


Fig. 3.11 - Distribuição dos nós na tampa da panela.

Para os pontos 5 e 12 aplica-se somente a equação da condução, enquanto que nos pontos 4 e 6 associa-se a esta, as condições de contorno:

$$(3.20) \quad \frac{\partial^2 T(z,t)}{\partial z^2} = \frac{1}{\alpha_{tr}} \frac{\partial T(z,t)}{\partial t}$$

onde:

$$(3.21) \quad \alpha_{tr} = \frac{k_{tr}}{\rho_{tr} C_{p_{tr}}}$$

As condições iniciais são:

$$(3.22) \quad T(z_1, \theta) = T_{4,e}$$

$$(3.23) \quad T(z_2, \theta) = T_{6,e}$$

e as condições de contorno aplicadas às superfícies interior e superior da tampa são, respectivamente:

$$-k_{rz} \frac{\partial T(z_1, t)}{\partial z} = \underbrace{\overline{GS}_z \sigma (T_e^4 - T_1^4) + \overline{S_1 S_2} \sigma (T_1^4 - T_2^4)}_{\text{Fluxo de calor por radiação entre as superfícies interior e superior da tampa}} + \underbrace{\text{Fluxo de calor por condução entre a superfície inferior da tampa e a superfície interior da tampa}}_{\text{Fluxo de calor por condução entre a superfície inferior da tampa e o meio metálica}}$$

$$-k_{cm} A_{rz} \frac{\partial T(z_2, t)}{\partial z} = \underbrace{\text{Fluxo de calor por condução entre a superfície superior da tampa e o meio metálica}}_{\text{Fluxo de calor por condução entre a superfície superior da tampa e o meio metálica}} + \underbrace{\text{Fluxo de calor por radiação entre a superfície superior da tampa e o meio metálica}}_{\text{Fluxo de calor por radiação entre a superfície superior da tampa e o meio metálica}} + \underbrace{\text{Fluxo de calor por condução na tampa entre a superfície superior da tampa e o meio metálica}}_{\text{Fluxo de calor por condução na tampa entre a superfície superior da tampa e o meio metálica}}$$

O coeficiente de transferência de calor (h_{TP}) entre a superfície superior da tampa e o meio é dado por:

$$h_{rz} = 1.43 (T_e - T_1)^{1/3} \quad (3.26)$$

considerando-se fluxo turbulento ($Ra > 10^9$) para placa horizontal aquecida voltada para cima, conforme referência [20].

3.3.2 EQUACIONAMENTO DA ETAPA DE TRANSPORTE DA PANELA VAZIA

Na panela vazia ocorrem perdas térmicas através da superfície externa lateral e do fundo da panela por convecção e radiação para o ambiente, bem como por radiação a partir da superfície interna.

Neste modelo a superfície interna da panela de Aclaria é dividida em duas partes: parede lateral e fundo. Desta forma, as expressões utilizadas para a 2a. Região do modelo de aquecimento da panela são as mesmas, com exceção das condições de contorno da superfície interna.

A Figura 3.12 mostra as perdas térmicas por radiação em uma panela vazia (restriameto), e a Figura 3.13 o seu circuito elétrico equivalente.

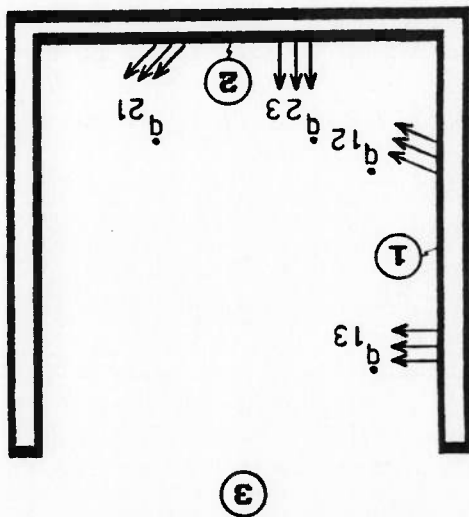


Fig. 3.12 - Fluxos de calor para a panela vazia

- 1 - Parede lateral
- 2 - Fundo
- 3 - Meio

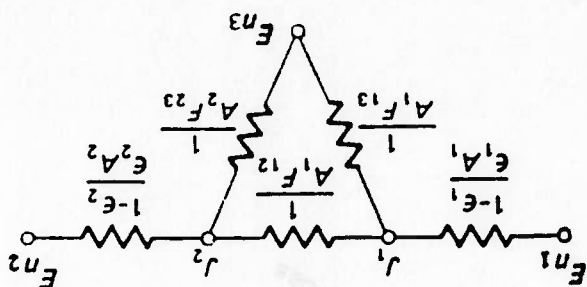


Fig. 3.13 - Circuito elétrico analógico da radiação para o sistema da Fig. 3.12.

Aplicando-se, ao circuito elétrico da figura 3.13, a lei de Kirchhoff de corrente elétrica (a soma das correntes que entram e saem do nó é igual a zero), tem-se que:

para o nó 1:

$$(3.27) \quad 0 = \frac{E_{N1} - J_1}{E_{N1} - J_1} \frac{(1 - \epsilon_1)/A_1 \epsilon_1}{J_1 - J_1} + \frac{1/A_1 F_{12}}{J_2 - J_1} + \frac{1/A_1 F_{13}}{E_{N3} - J_1}$$

para o nó 2:

$$(3.28) \quad 0 = \frac{J_1 - J_2}{J_1 - J_2} \frac{1/A_1 F_{12}}{E_{N1} - J_1} + \frac{1/A_2 F_{23}}{E_{N3} - J_2} + \frac{(1 - \epsilon_2)/A_2 \epsilon_2}{E_{N2} - J_2}$$

Como E_{N1} , E_{N2} , E_{N3} e as resistências são conhecidas, obtém-se então um sistema linear com 2 equações e 2 incógnitas, que podem ser resolvidas simultaneamente resultando nos valores de J_1 e J_2 .

O calor total perdido pela superfície 1 é

$$(3.29) \quad Q_1 = \frac{E_{N1} - J_1}{(1 - \epsilon_1)/\epsilon_1 A_1} \quad (3.29)$$

e o calor perdido pela superfície 2 é

$$(3.30) \quad Q_2 = \frac{E_{N2} - J_2}{(1 - \epsilon_2)/\epsilon_2 A_2} \quad (3.30)$$

Com base no que foi exposto, podemos escrever que as condições de contorno aplicadas à parede lateral (superfície-1) e ao fundo (superfície-2) são, respectivamente:

$$(3.31) \quad \frac{-k_2 A_1 \delta T(r_1, t)}{\delta r} = \frac{E_{N1} - J_1}{(1 - \epsilon_1)/\epsilon_1 A_1} \quad \text{Fluxo de calor por condução através da superfície lateral interna da panela}$$

$$(3.32) \quad \frac{-k_2 A_2 \delta T(z_1, t)}{\delta z} = \frac{E_{N2} - J_2}{(1 - \epsilon_2)/\epsilon_2 A_2} \quad \text{Fluxo de calor por condução através do fundo do fundo interno da panela}$$

É desprezado o efeito da transferência de calor por convecção em toda a superfície interna da panela, face a radiação.

A condição inicial é o perfil de temperaturas da parede após as etapas de aquecimento ou liofilamento.

3.3.3 EQUACIONAMENTO DA ETAPA DE VAZAMENTO DO CONVERSOR NA PANELA

Neste modelo a parede da panela será subdividida em duas regiões distintas para efeito de definição de condições de contorno. A primeira região refere-se àquela cuja superfície interna se encontra em contato com o banho de aço e a segunda refere-se àquela cuja superfície interna não se encontra em contato com o banho de aço, ou seja, encontra-se em contato com o meio tanto na superfície interna quanto na externa, conforme mostrado na Figura 3.14 abaixo.

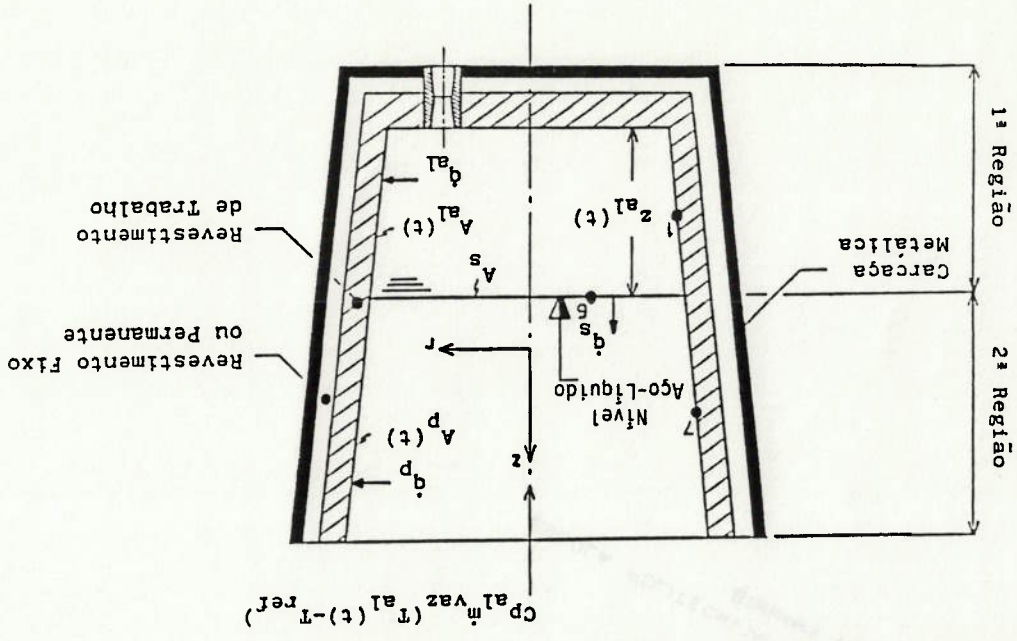


Fig. 3.14 - Arranjo da instalação, indicando os fluxos de calor considerados.

O balanço de energia aplicado à massa de aço-líquido resulta

na seguinte expressão:

$$\underbrace{\rho_{AL} C_{pAL} \Delta V \frac{dT_{AL}}{dt}}_{\text{variação interna de energia do aço-líquido}} = \underbrace{C_{pAL} \dot{m}_{vaz} (T_{AL}(t) - T_{XX}(t))}_{\text{entalpia de entrada do aço-líquido}} + \underbrace{\dot{q}_{AL} A_{AL}(t)}_{\text{fluxo de calor por convecção entre o aço-líquido e superfície interna da panela}} + \dot{q}_S(t) A_S$$

(3.33)

Fluxo de calor por radiação através da superfície livre do aço-líquido

As condições de contorno são dadas por:

(3.34)

$$\dot{q}_{AL} = - h_{AL} (T_{AL}(t) - T_i)$$

onde, uma análise preliminar mostrou que, para as temperaturas do aço-líquido, o regime de escoamento é turbulento ($Gr > 10^8$).

Foi utilizada, então, a equação obtida por Eckert e Jackson

que, segundo Mundim et alii [6], é dada por:

(3.35)

$$Nu = 0.0295 Gr^{2/5} Pr^{1/5} (1 + 0.5 Pr^{2/3})^{-2/5}$$

(3.36)

$$h_{AL} = \frac{Nu_{AL} k_{AL}}{z_{AL}(t)}$$

O fluxo térmico por radiação através da superfície livre da

camada de aço-líquido (\dot{Q}_S), é calculado de maneira análoga à

apresentada no item anterior. Nesse caso, nas figuras 3.12 e 3.13

as superfícies 1, 2 e 3 serão, respectivamente, parede interna da

panela que não está em contato com o aço-líquido (ponto 7),

aço-líquido (ponto 8) e meio.

Portanto,

(3.37)

$$\dot{Q}_s = \frac{J_s - E_{Ns}}{1 - \epsilon_a} / \epsilon_a A_s$$

A expressão do balanço de energia aplicada à parede lateral

da panela é dada por:

(3.38)

$$\frac{\partial T(r, t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T(r, t)}{\partial r} = \frac{1}{\delta T(r, t)} \alpha_x \frac{\partial T}{\partial t}$$

(3.39)

$$\alpha_x = \frac{k_x}{\rho C_p \delta}$$

onde

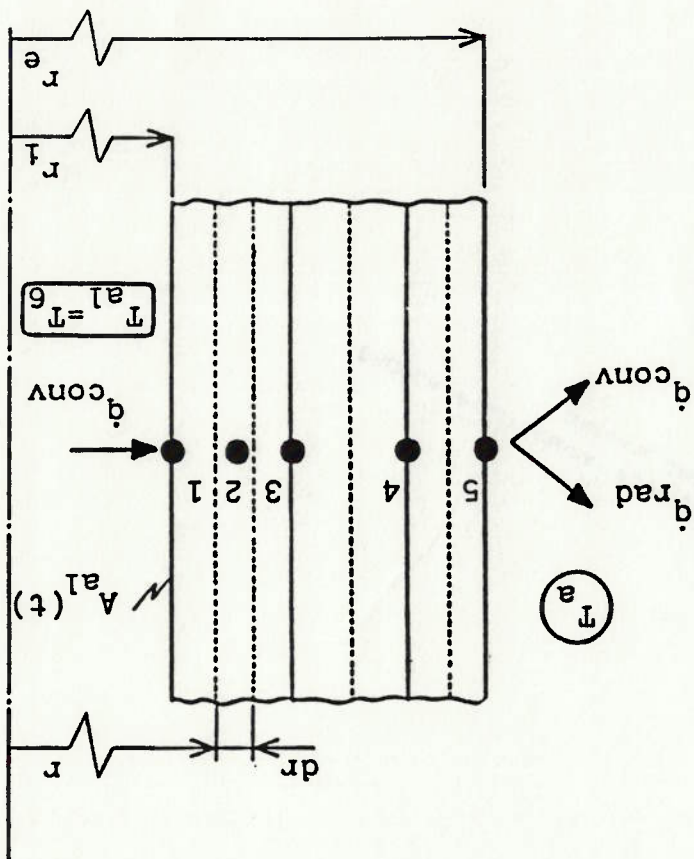


Fig. 3.15 - Distribuição dos nós na parede lateral e fundo da

panela, relativa à 1ª. Região.

As condições de contorno aplicadas à 1ª. Região, ou seja,

àquela cuja a superfície interna da panela se encontra em contato

com o banho de aço são dadas por:

$$-k_1 A_{A1} \frac{\delta T(r_1, t)}{\delta r} = h_{A1} A_{A1} (T_{A1}(t) - T_1) \quad (3.48)$$

Fluxo de calor por condução através da superfície interna da terna da panela (1a. Região)

Fluxo de calor por condução através da superfície interna da panela (1a. Região)

$$-k_m A_{A1} \frac{\delta T(r, t)}{\delta r} = \epsilon_s A_{A1} (T_s^+ - T_s^-) + h_r A_{A1} (T_s - T_s^-) \quad (3.41)$$

Fluxo de calor por condução através da carga metálica da panela (1a. Região)

Fluxo de calor por radiação entre a carga metálica e o meio (1a. Região)

Fluxo de calor por condução natural entre a carga metálica e o meio (1a. Região)

onde o coeficiente de película (h_p) é calculado através da expressão (3.19).

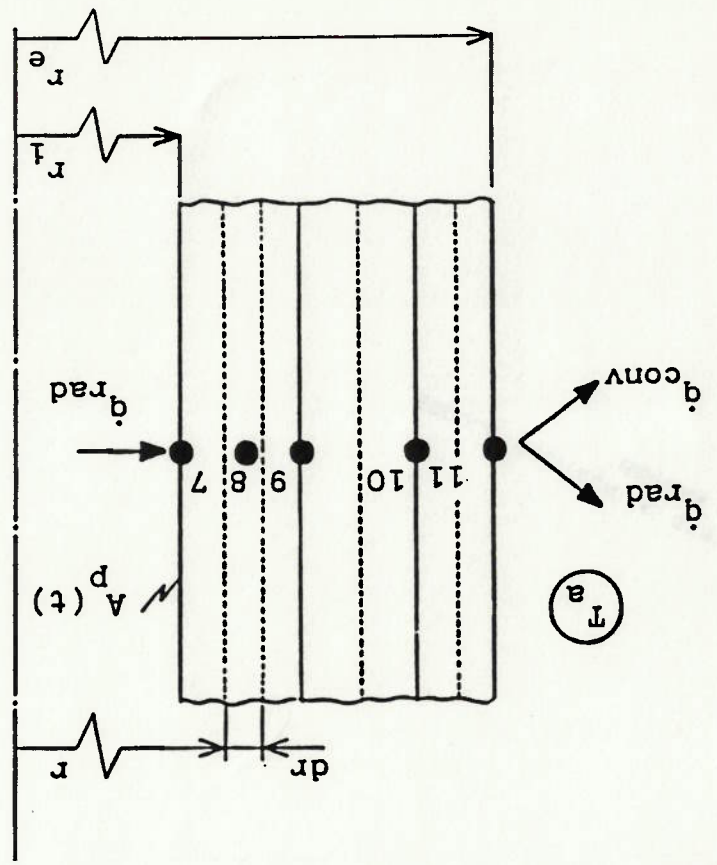


Fig. 3.16 - Distribuição dos nós na parede lateral da panela, relativa à 2ª. Região.

As condições de contorno aplicadas à 2ª Região (cujas superfícies interna da panela não se encontra em contato com o banho de aço) são dadas por:

$$-k_2 A_2 \frac{\delta T(r_2, t)}{\delta r} = \frac{E_{H2} - J_2}{(1 - \epsilon_2) / (\epsilon_2 A_2)} \quad (3.42)$$

Fluxo de calor por condução através da superfície interna da panela que não está em contato com o aço-líquido (2ª Região)

$$-k_{CH} A_2 \frac{\delta T(r_2, t)}{\delta r} = \epsilon_{11} A_2 (T_{11} - T_1^*) + h_2 A_2 (T_{11} - T_1^*) \quad (3.43)$$

Fluxo de calor por radiação entre a carga metálica da panela e o meio (2ª Região)

Fluxo de calor por condução através da carga metálica da panela (2ª Região)

As radiosidades J_7 e J_6 são obtidas de maneira análoga à apresentada no item 3.3.2 referente ao equacionamento da etapa de resfriamento da panela.

A condição inicial ($t = 0$) para esse modelo será o perfil térmico final obtido na transferência da panela vazia. A temperatura inicial do aço-líquido é obtida através do modelo do jato de vazamento do conversor para a panela de Aciaria, que leva em conta a altura da abertura de vazamento sobre a panela, o tempo de vazamento além da forma geométrica do jato de vazamento. O modelo do jato de vazamento do conversor para a panela encontra-se no Apêndice-C.

3.3.4 EQUACIONAMENTO DA ETAPA DE TRANSPORTE DA PANELA CHEIA DE AÇO-LÍQUIDO

Este modelo descreve o perfil térmico do revestimento refratário da panela de Aclaria, bem como, as temperaturas do aço-líquido e da escória em cada instante, após o vazamento do conversor até o início do lingotamento. Trata-se do mesmo equacionamento que foi descrito no item 3.3.3 com uma única diferença - o fluxo de entalpia de entrada do aço-líquido é nulo. Portanto, o balanço de energia aplicado à massa de aço-líquido resulta na seguinte expressão:

$$\frac{dI_{AL}}{dt} = \frac{dI_{CONV}}{dt} + \underbrace{q_{CAL AL}}_{\text{Fluxo de calor por convecção entre o aço-líquido e superfície interna da panela}} + \underbrace{q_s A_s}_{\text{Fluxo de calor por condução através da camada de escória}}$$

(3.44)

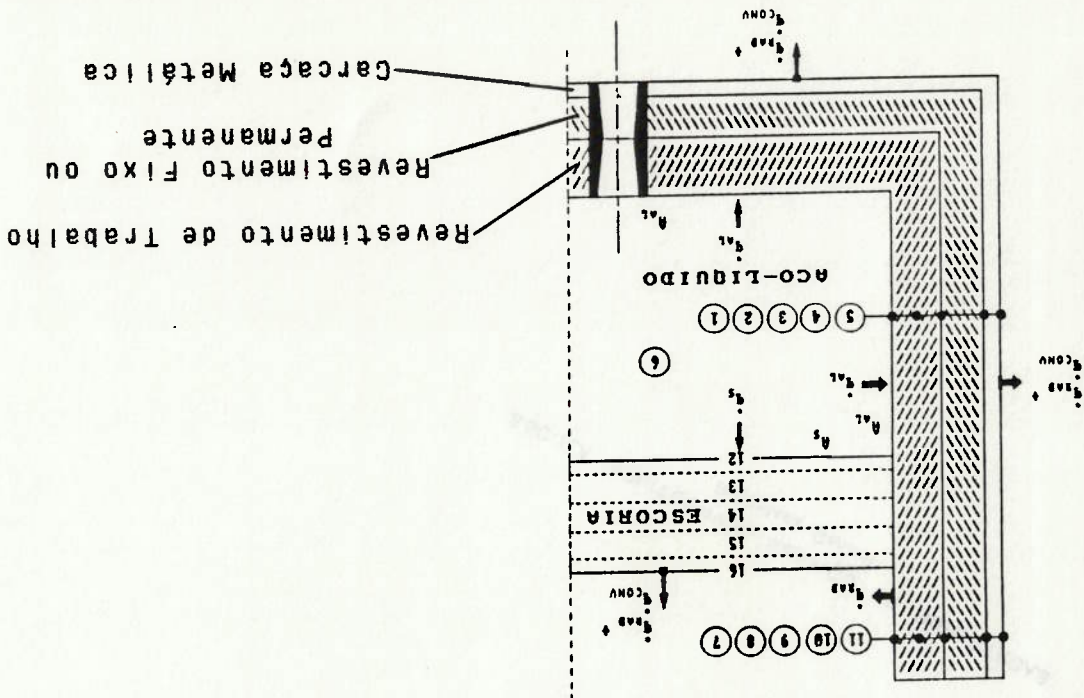


Fig. 3.17 - Esquema dos pontos e mecanismos de transporte de energia considerados na etapa de transporte da panela cheia de aço-líquido.

No caso específico deste trabalho, divide-se a camada de escória em 5 pontos (de 12 a 16), onde a temperatura no ponto 12 é considerada igual à temperatura do aço-líquido (ponto 8).

3.3.4.1 EQUACIONAMENTO DA CAMADA DE ESCÓRIA

O processo de transferência de calor a partir do banho metálico através da cobertura de escória está representado na Figura 3.18. Nessa representação ocorre, imediatamente após o enchimento da panela, a formação de uma região de escória líquida com uma temperatura próxima à do banho metálico. Como a perda de calor a partir da superfície livre de escória para a atmosfera ocorre a uma taxa maior do que aquela oriunda da região inferior, a cobertura de escória começa a resfriar-se. Este processo continua até que um equilíbrio térmico seja alcançado.

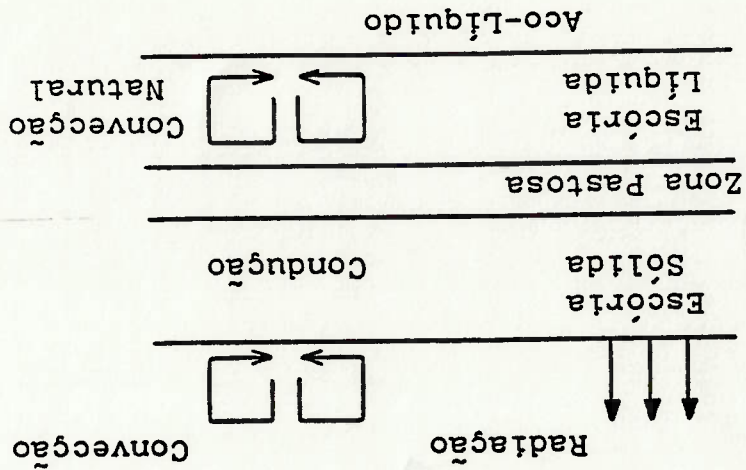


Fig. 3.18 - Transferência de calor do aço-líquido para o meio ambiente através da cobertura de escória. Ref.: [19].

Encontrou-se na literatura a proposição de dois modelos distintos para simular os efeitos da perda térmica do aço-líquido através da cobertura de escória:

a) Modelo Proposto por Omotani [19]

[19] afirma que o mecanismo de transferência de calor através da escória pode ser visualizado como um processo de convecção ocorrendo numa camada relativamente fina de escória líquida aquecida por baixo pelo aço-líquido.

No trabalho de Heaslip, segundo o autor, foi demonstrado através de análise dimensional e similitude térmica que a taxa de transferência de calor do metal líquido para a escória (\dot{Q}_S) é dada pela expressão (3.45) indicada abaixo:

$$\dot{Q}_S = 0.083 A_S K_S (T_M - T_S)^{4/3} \left(\frac{g \beta_S}{v_S} \right)^{1/3} \quad (3.45)$$

- onde,
- A_S - área de contato entre o aço-líquido e a escória (m^2);
 - K_S - condutibilidade térmica da escória líquida ($W/m \cdot ^\circ C$);
 - T_M - temperatura líquidos ($\approx 1350^\circ C$);
 - T_S - temperatura da escória líquida ($^\circ C$);
 - g - aceleração da gravidade (m/s^2);
 - β_S - coeficiente de expansão térmica da escória líquida ($^\circ C^{-1}$);
 - v_S - viscosidade cinemática da escória líquida (m^2/s);
 - α_S - difusividade térmica da escória líquida (m^2/s).

De acordo com a expressão (3.45), a taxa de perda de calor do metal para a escória independe da espessura da escória. Supõe-se que este comportamento é válido para o caso de

coberturas de escória que excedem 10 ou 12 cm em espessura. Coberturas de escória muito finas são menos isolantes e apresentam uma taxa de perda de calor maior em relação àquela apresentada pela última expressão, enquanto, escórias mais espessas não produzem nenhum melhoramento na performance do isolamento.

b) Modelo Proposto por Szekely e Chen [16]

Este modelo, que foi adotado neste trabalho, além de levar em conta a espessura da camada de escória, conduz a praticamente os mesmos resultados obtidos pelo modelo de Omatani [19] em se tratando de escórias mais espessas, como veremos mais adiante no teste de sensibilidade do modelo no Capítulo 5.

A Figura 3.19 mostra que uma camada sólida é formada na parte superior e avança gradualmente em direção à superfície metálica em função da perda térmica através da superfície da camada de escória, $z = 0$.

Assumindo-se que o calor é transferido através da escória principalmente por condução, enquanto que o banho de aço é misturado por correntes de convecção e está em temperatura uniforme.

Assumindo também que a condutibilidade térmica da escória nas fases sólida e líquida são iguais e não dependem da temperatura, a conservação de energia na camada de escória pode ser expressa através da equação:

$$k_s \frac{\partial^2 T_s}{\partial z^2} = \rho \frac{dH_s}{dT_s} \frac{\partial T_s}{\partial t} \quad \text{para } 0 < z < L_s \quad (3.46)$$

que significa, que não há descontinuidade na interface

(3.48)

$$T_s = T_{al} \text{ em } z = L_s$$

onde o índice "al" refere-se ao aço-líquido, e

(3.47)

$$T_s = T_{s,e} = T_{al,e} \text{ em } t = 0$$

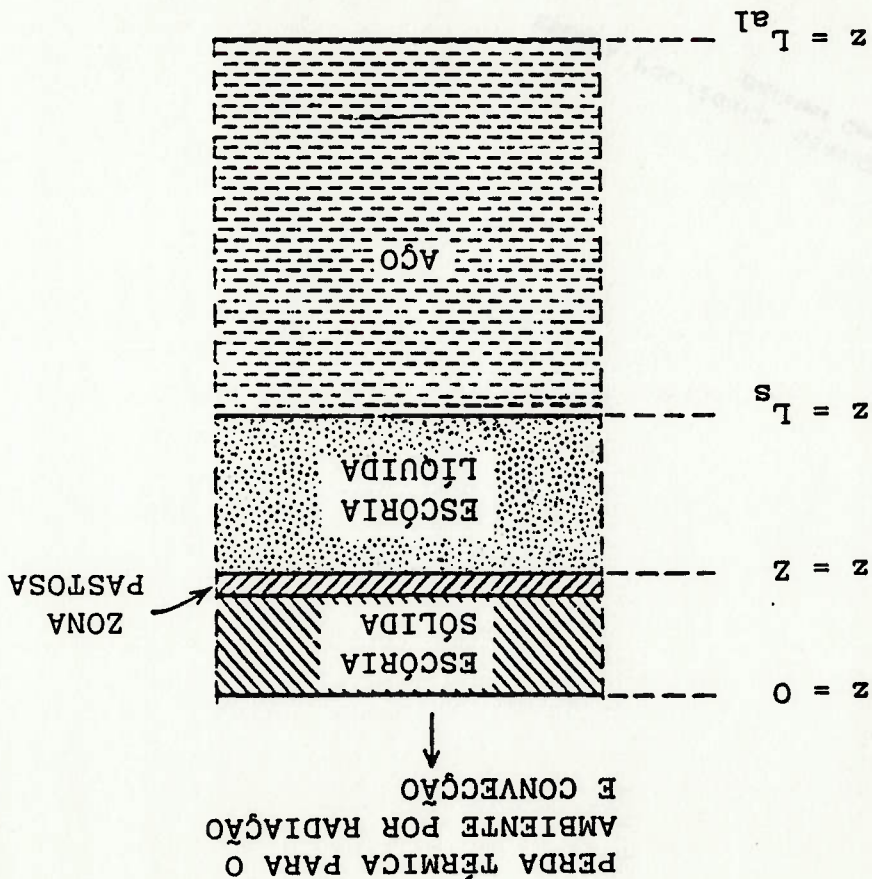
As condições de contorno são:

espessura da camada de escória.

onde o índice "s" refere-se às propriedades da escória e L_s é a

térmico da camada de escória.

Fig. 3.19 - Representação esquemática do fluxo



$$\frac{dH_I}{dT_S} = \frac{\Delta H}{T_{MP} - T_{MR}} \left\{ \cos \left[2\pi (T_S - T_{MR}) (T_{MP} - T_{MR})^{-1} \right] + 1 \right\} + C_{PS} \quad (3.54)$$

conveniente de dH_I/dT_S que satisfaz ambas as equações é:
 e ΔH o calor latente de solidificação. Uma representação
 onde T_{MP} e T_{MR} são os limites superior e inferior da zona pastosa

$$\Delta H = \int_{T_{MR}}^{T_{MP}} \frac{dH_I}{dT_S} dT_S \quad (3.53)$$

enquanto dentro da zona pastosa,

$$\frac{dH_I}{dT_S} = C_{PS} \quad (3.52)$$

e, portanto, fora da zona pastosa,

$$H_I = \Delta H + C_{PS} (T_S - T_{MR}) \quad (3.51)$$

considerando-se que por definição:

através de diferenças finitas. Isso pode ser feito
 expressar a derivada dH_I/dT_S numa forma conveniente para cálculos
 O primeiro passo na solução numérica desse problema, é

$$-k_s \frac{\partial T_s}{\partial z} = h (T_s - T_A) + \sigma \epsilon (T_s^4 - T_A^4) \quad \text{em } z = 0 \quad (3.50)$$

escória produz:

onde L_{AL} é a profundidade total do metal líquido medido a partir
 de $z = 0$. Também, um balanço de energia no topo da camada de

$$-k_s \frac{\partial T_s}{\partial z} = (L_s - L_{AL}) \rho_{AL} C_{PAL} \frac{\partial T_{AL}}{\partial t} \quad \text{em } z = L_s \quad (3.49)$$

no banho de aço:

metal-escória. Finalmente, a taxa de condução de calor através
 da escória deve ser igual a taxa de decréscimo de calor contido

Um gráfico $dH_T/dT_S \times T_S$ é mostrado a seguir:

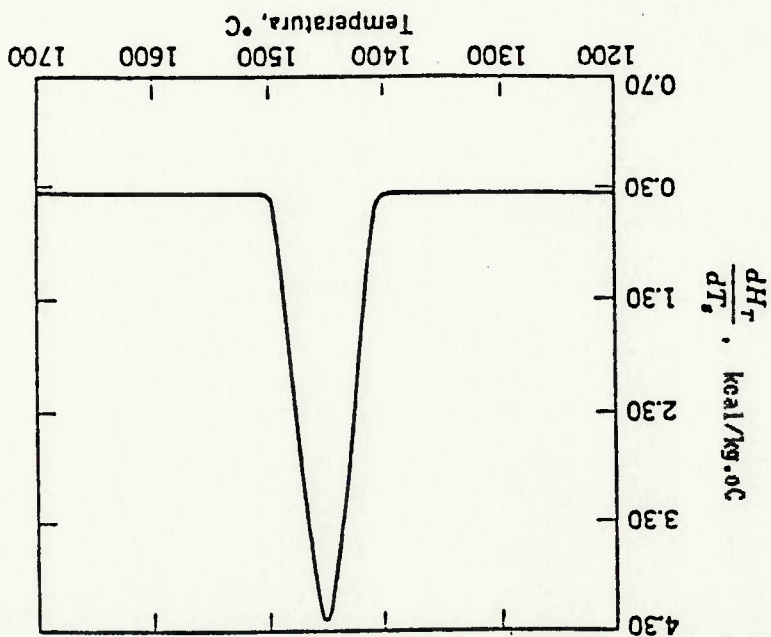


Fig 3.20 - Variação de dH_T/dT_S com a temperatura da zona pastosa.

Uma vez conhecido o "coeficiente" (dH_T/dT_S) , a equação

(3.46) pode ser expressa na forma de diferenças finitas como

segue:

$$T_{S(1)}^* = T_{S(1)} + \frac{p [dH_T/dT_S] (\Delta z)}{k_s \Delta t} [T_{S(1+1)} - 2T_{S(1)} + T_{S(1-1)}] \quad (3.55)$$

onde $T_{S(1)}$ é a temperatura do nó no instante $t + \Delta t$; $T_{S(1)}$,

$T_{S(1+1)}$, ..., referem-se às temperaturas dos nós $1, 1+1, \dots$, no instante t ; e (dH_T/dT_S) é avaliado no instante t .

As condições de contorno da equação (3.46) podem também ser

expressas na forma de diferenças finitas, e a equação (3.55) é

resolvida através de computador digital.

As propriedades termofísicas do aço, da escória e do

revestimento refratário estão indicadas no Apêndice-D.

3.3.5 EQUACIONAMENTO DA ETAPA DE LINGOTAMENTO DA PANELA

Na etapa de lingotamento, a equação de balanço de energia do aço é semelhante à etapa de vazamento de aço do conversor; considerando-se nesse caso a introdução de uma parcela relativa à entalpia de saída do fluxo de aço através da válvula gaveta localizada no fundo da panela. A temperatura do aço será considerada uniforme a cada instante e a expressão do balanço de energia do aço é dada a seguir:

$$\underbrace{\frac{dE_{int}}{dt}}_{\text{variação da energia interna do aço-líquido}} = \underbrace{-C_{pAL} \dot{M}_{AL} (T_{AL}(t) - T_A)}_{\text{entalpia de saída do aço-líquido}} + \underbrace{\dot{q}_{AL} A_{AL}(t)}_{\text{fluxo de calor por convecção entre o aço-líquido e a superfície interna da panela}} + \dot{q}_S(t) A_S$$

fluxo de calor por condução através da camada de escória

(3.56)

As demais condições de contorno permanecem, alterando-se apenas as condições iniciais.

Para descrição das temperaturas na parede da panela durante o abaixamento de nível do banho, a parede é dividida em três regiões distintas:

a) Região fixa que não está em contato com o aço-líquido (pontos de 7 a 11):

b) Região em contato com o aço-líquido (pontos de 1 a 5):

c) Região descoberta pela camada de escória (pontos de 17 a 21):

conforme indicado nas figuras 3.21 e 3.22 apresentadas a seguir:

Os cálculos para a determinação dos fatores de forma utilizados no equacionamento da etapa do lingotamento estão

Fig. 3.22 - Esquema dos pontos e mecanismos de transporte de energia considerados na etapa de lingotamento.

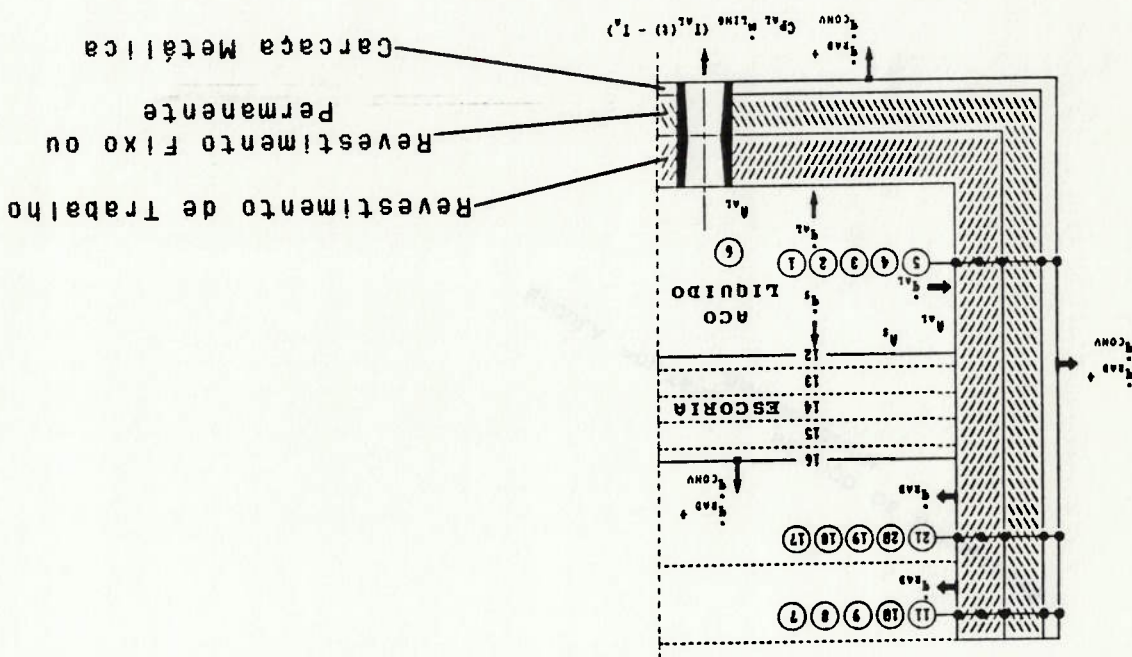
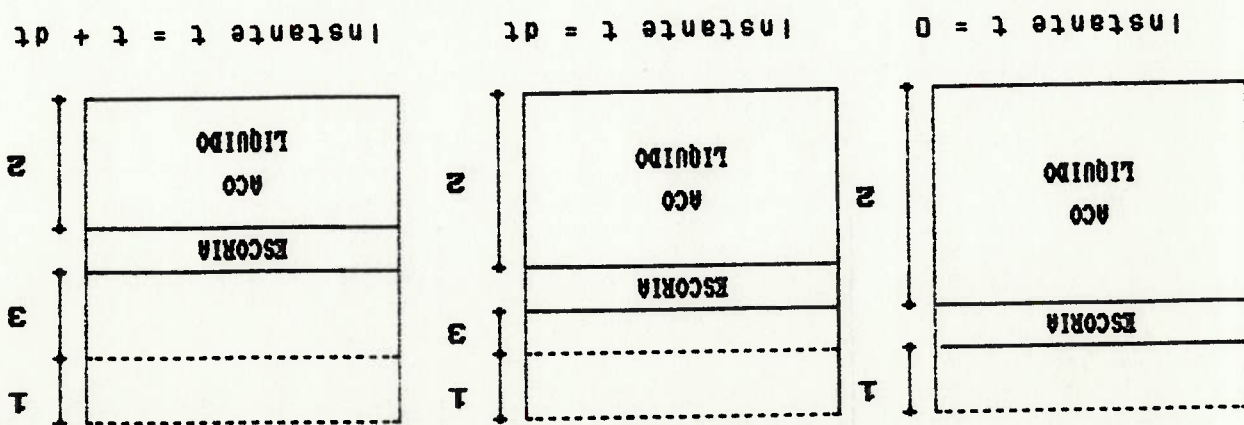


Fig. 3.21 - Esquema das regiões consideradas na etapa de lingotamento.



apresentados no Apêndice-E.

CAPÍTULO 4

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste capítulo serão descritos, pela ordem, os objetivos, o planejamento e a execução dos testes realizados com uma panela da Acaria-11 da COSIPA. Serão descritas também as dificuldades encontradas durante a execução dos testes.

4.1 OBJETIVOS

- Obter os valores da temperatura na face fria do revestimento de trabalho, durante o aquecimento da panela (ritmo de aquecimento do tijolo refratário):
- Obter as temperaturas em vários pontos de uma panela e, de posse desses dados, fazer uma comparação com os valores obtidos através do modelo matemático proposto neste trabalho:
- Obter as temperaturas do revestimento e da carga após cada ciclo de operação da panela.

4.2 PLANEJAMENTO DOS TESTES

A seguir serão relacionados o material e os procedimentos necessários para preparação e execução dos testes.

4.2.1 MATERIAL NECESSÁRIO

Para o levantamento do perfil térmico de alguns pontos do revestimento refratário e da carga metálica da panela são necessários os seguintes equipamentos:

- 9 termopares do tipo K (cromel-alumel):

- 3 registradores de temperatura de 3 penas, com compensação de junta de referência, linearizador e circuito de proteção do tipo "burn-out";
- cabos de compensação para ligar os termopares aos registradores;
- 2 registradores de sinais com 3 penas para registrar pressão;
- 4 distribuidores de sinal;
- 2 tubos em "U" para medir a pressão diferencial nas válvulas borboleta das linhas de combustível (gás de coqueria) e ar de combustão;
- 2 manômetros para medir as pressões à jusante das mesmas válvulas borboleta;
- 1 termômetro para medir a temperatura ambiente.

4.2.2 PREPARAÇÃO DOS TESTES

a) Seleção da Panela

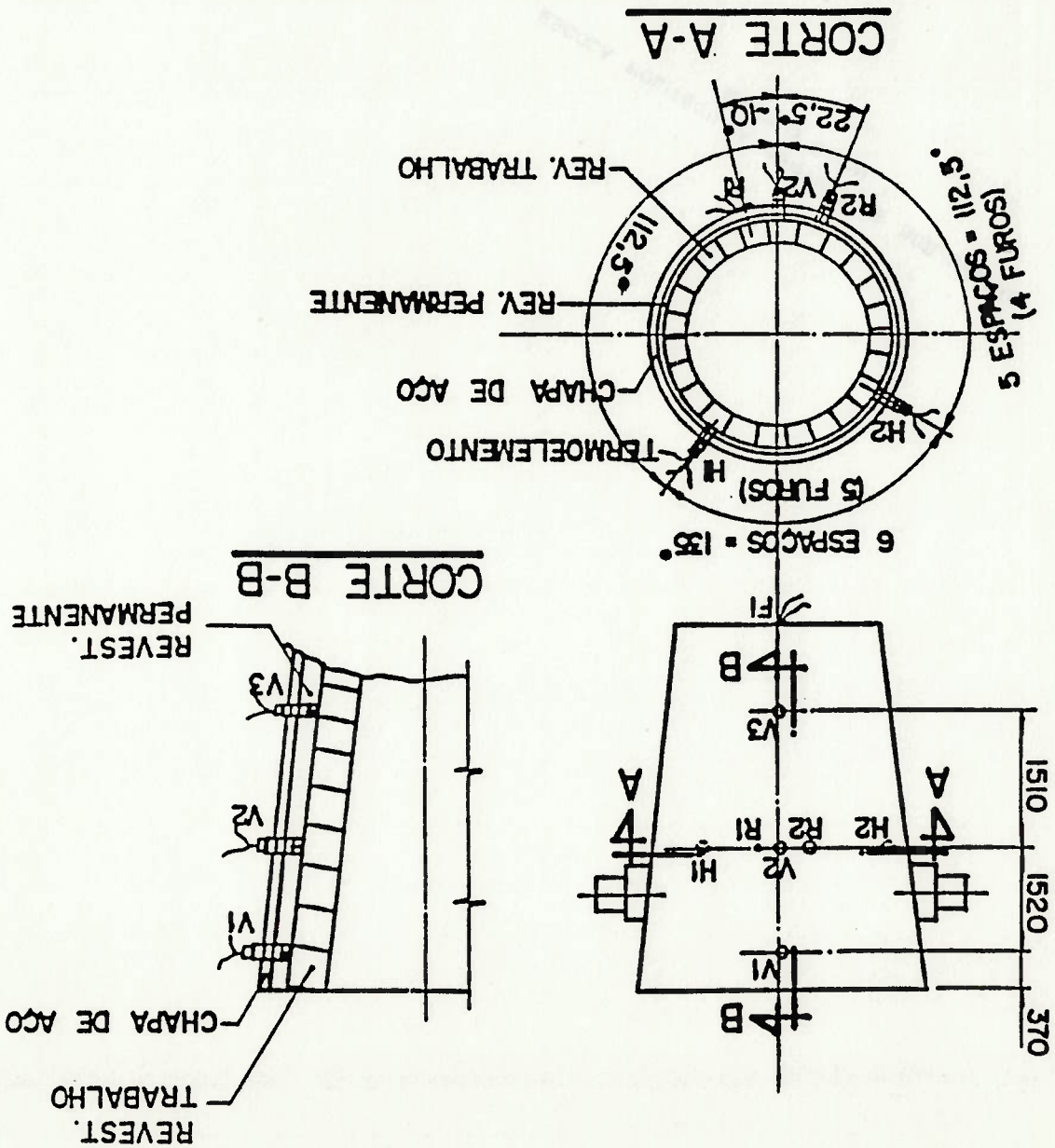
A panela a ser utilizada deverá estar seca antes dos testes e ser do tipo normalmente usada para transporte de aço líquido.

b) Furação do Revestimento

Devem ser feitos furos com diâmetro de 12mm e profundidade igual à espessura do revestimento permanente nos locais indicados na figura 4.1.

Fig. 4.1 - Localização dos termopares na panela.

TERMOPARES:	
V1, V2 E V3 -	Temperatura entre os revestimentos de trabalho e fixo, dispostos na vertical.
H1 e H2 -	Temperatura entre os revestimentos de trabalho e fixo, dispostos na horizontal.
R1 -	Temperatura na carcaca metálica.
R2 -	Temperatura entre o revestimento fixo e a carcaca metálica.
F1 -	Temperatura do fundo.



c) Aferição dos Registradores

Os registradores devem ser aferidos no laboratório de instrumentação antes da montagem no campo. Para registrar a temperatura a faixa é de 30°C a 800°C. A faixa de pressões a serem registradas é de 0 a 1500 mmca, e as pressões diferenciais estão entre 0 e 1000 mmca.

d) Instalação dos Registradores

Os registradores devem ser instalados numa bancada adequada, a certa distância da panela, de forma que a radiação proveniente da panela aquecida não afete o equipamento. Deverá ser feito teste de continuidade nos fios de interligação após a preparação da panela.

e) Preparação dos Termopares

Colocar missangas e isoladores nos termopares. Caso seja necessário, deverão ser construídos suportes para apoio e proteção dos termopares, em aço inoxidável. Os termopares deverão ser isolados com manta de fibra cerâmica e protegidos com fita de amianto para evitar a radiação proveniente da carcaça da panela. Devem ser feitos testes de aferição dos termopares. Identificar os termopares e as respectivas polaridades.

f) Limpeza e Medição dos Furos

Depois de feita a furação no revestimento permanente, o furo deve ser limpo com pincel.

As medidas de profundidade dos furos e suas respectivas localizações estão apresentadas na Figura 4.1.

g) Instalação dos Termopares na Painela

Posicionar corretamente os termopares nos furos e identificá-los conforme Figura 4.1.

Fixar os termopares com as presilhas, caso seja necessário.

Proteger as partes expostas dos termopares.

Caso sejam usados os suportes, revesti-los com manta de fibra cerâmica.

Instalar cartazes indicando material de teste.

h) Medição das Pressões

Para avaliar a vazão nas linhas de ar e de combustível serão utilizadas as válvulas borboleta existentes em cada linha. Isto se deve à impossibilidade de montagem das placas de orifício numa distância recomendada, devido ao arranjo da tubulação existente. O esquema de montagem dos instrumentos está indicada na Figura 4.3.

Recomenda-se, nesse caso, para maior precisão na obtenção das pressões, que sejam utilizados registradores. Além disso, o teste é extenso, durante 12 horas deverão ser feitas medições.

Outra possibilidade de obter valores de pressão, é utilizando-se manômetros e tubos em "U" preenchidos parcialmente com líquido (ver esquema com dimensões mínimas na Figura 4.2), localizados nas mesmas posições dos transmissores de pressão indicados na Figura 4.3.

Fig. 4.2 - Esquema do tubo em "U" e manômetro montados na tubulação de ar de combustão.

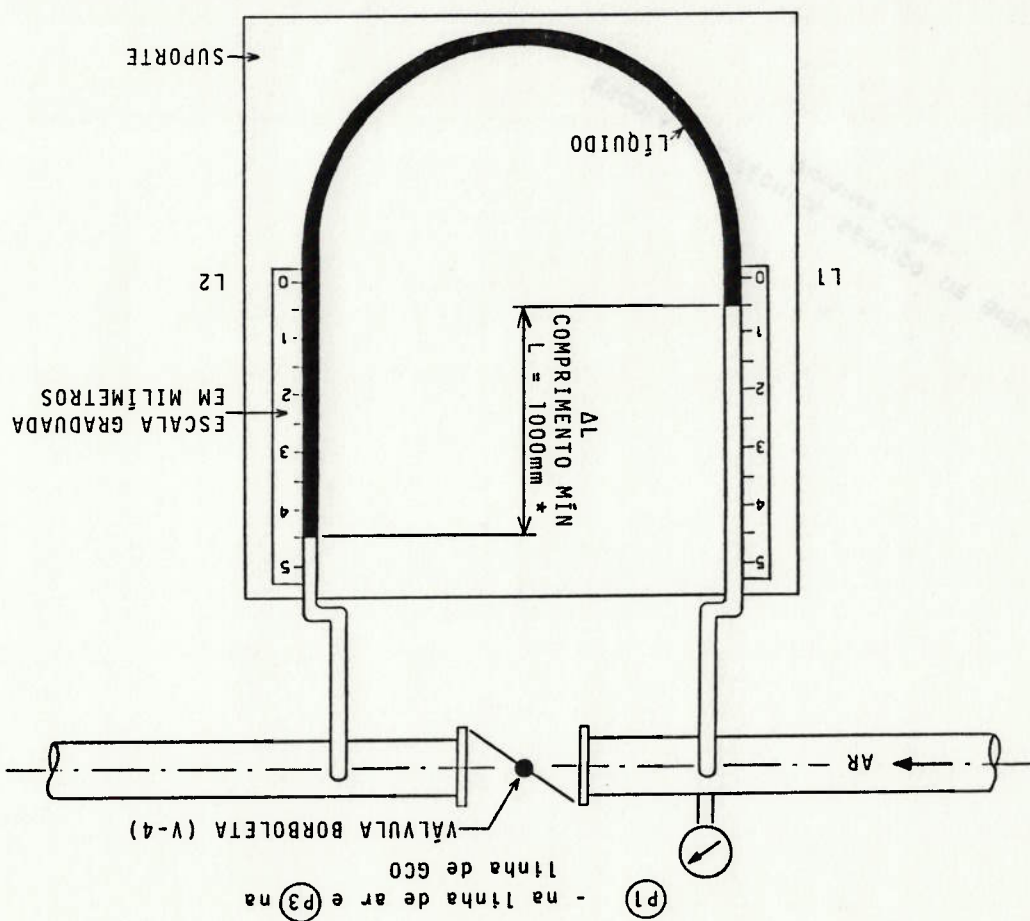
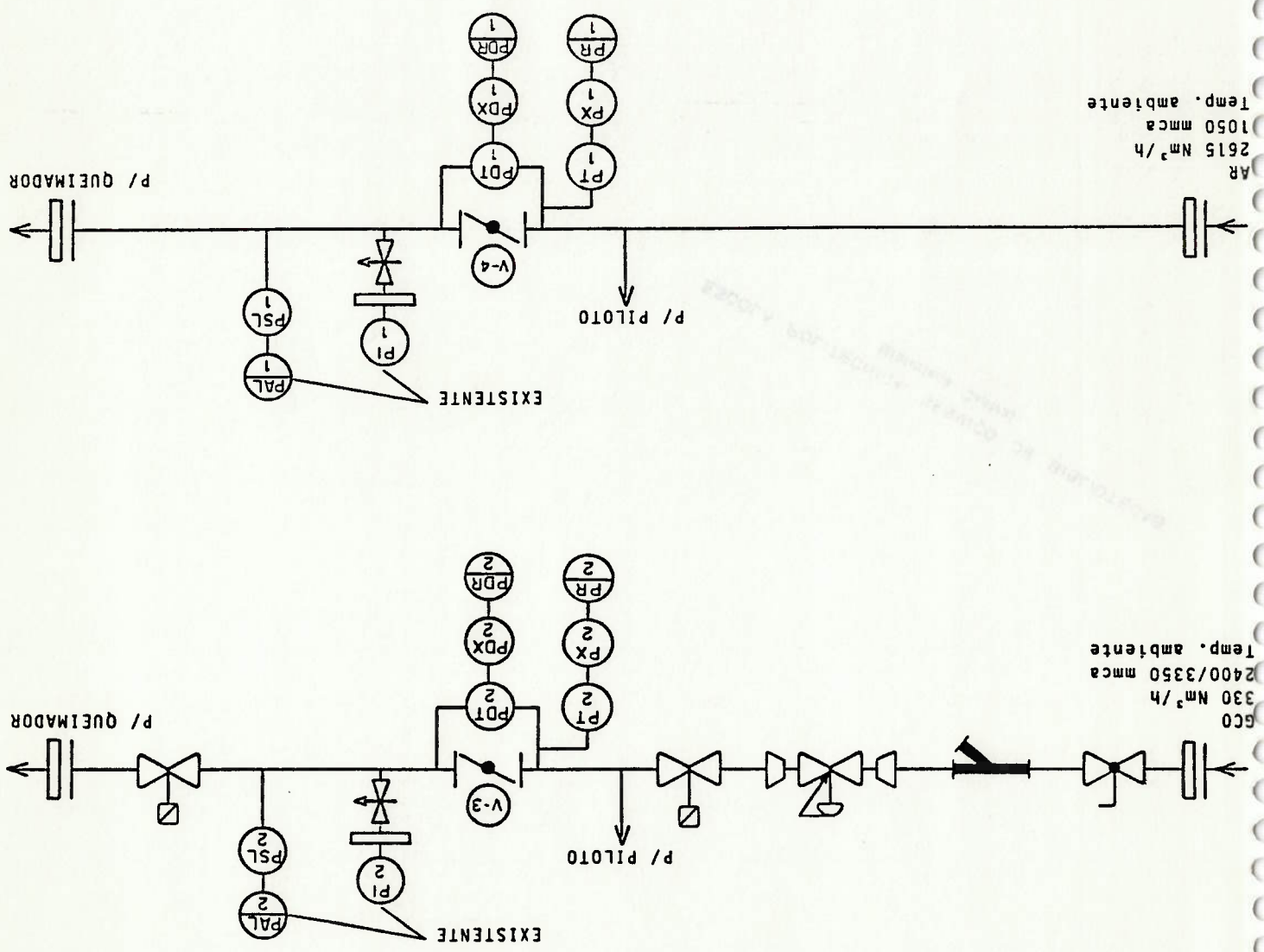


Fig. 4.3 - Fluxograma das linhas de GCO e ar de combustão, indicando a localização das tomadas de pressão.



Até este ponto foram apresentadas todas as providências necessárias para a realização dos testes com a panela de Aciaria e, a seguir, serão descritas em que condições se deram os testes efetivamente e as dificuldades encontradas durante a realização da experiência.

4.3 EXECUÇÃO DOS TESTES

Devem ser previstos plugs nos cabos de compensação e funcionalidade no suporte dos registradores para permitir que estes sejam transportados até o stand de manutenção e possam ser conectados facilmente aos termopares.

j) Teste no Stand de Manutenção

Caso sejam utilizados tubos em "U" para leitura da pressão diferencial, estes devem estar dispostos numa altura que facilite a leitura. A escala deve ser graduada em milímetros. O líquido a ser utilizado dentro do tubo deverá ter coloração contrastante com o suporte.

Os transmissores devem ser montados à montante e a jusante das válvulas borboleta:
Devem ser feitos testes de continuidade nos fios que interligam, registradores, distribuidores e transmissores de pressão:

i) Instalação dos Instrumentos para Medir Pressão

Foi solicitada a utilização de instrumentos adequados para medir as vazões de ar de combustão e de gás de coqueria (combustível) do sistema de aquecimento, conforme descrito no item 4.2.1. Como essa alternativa foi considerada inviável pela complexidade na aquisição de placas de orifício e registradores, a alternativa que se oferecia era a utilização de manômetros e tubos em "U" preenchidos com água para medir a pressão diferencial nas válvulas borboleta. Essa alternativa mais simples e menos precisa permitia a avaliação do erro cometido nessa medida através da comparação com o valor da vazão obtida no medidor de linha de gás de coqueria (GCO) principal. Isso seria conseguido, pois o primeiro teste realizado num dia de manutenção

4.3.2 OBTENÇÃO DAS VAZÕES

considerando como referência a temperatura na junta fria. tabela de calibração transformava-se essa tensão em temperatura, registrava-se a tensão de cada elemento. Com auxílio de uma foram obtidas com auxílio de um calibrador de termopares onde Nos instantes inicial e final de cada ciclo, as temperaturas intervalos de 1 minuto e 45 segundos.

Nas etapas de aquecimento e resfriamento, o registro em carta foi discreto com medidas sucessivas do mesmo ponto em segurança e também para que a panela pudesse ser reaproveitada. Os termopares indicados na figura 4.1 foram montados em contato com as superfícies, de forma a não gerar problemas de

4.3.1 OBTENÇÃO DAS TEMPERATURAS

a) Só foi possível medir da Ba. corrida em diante: desta forma as

problemas:

As medidas de temperatura no ciclo apresentaram muitos

- Ciclo

ser lida com o pirômetro óptico.

c) A temperatura da parede, no final do primeiro teste, não pôde

forneimento de GCO para o queimador por alguns minutos:

b) No primeiro aquecimento ocorreram algumas falhas no

ser analisados:

a) Durante as três horas iniciais do primeiro aquecimento da

panela, o registrador funcionou mal e estes pontos não puderam

- Aquecimento e Resfriamento

4.3.3 DIFICULDADES ENCONTRADAS NOS TESTES

execução dos testes.

manômetros e altura da coluna de líquido obtidas durante a

trabalho, juntamente com as planilhas de dados das pressões nos

utilizadas nas simulações, estão apresentadas no Apêndice-E deste

coqueria relativos aos testes de aquecimento 1 e 2, para serem

Os cálculos das vazões do ar de combustão e do gás de

$360 \text{ Nm}^3/\text{h}$.

por nós antes do teste) de não medir as vazões abaixo de

pode ser obtida, pois ele apresenta uma restrição (desconhecida

consumidor de GCO. Infelizmente, a vazão de GCO nesse medidor não

preventiva, e teria-se somente o queimador utilizado como único

- temperaturas iniciais ficaram prejudicadas:
- b) Na 11a. corrida as temperaturas iniciais não puderam ser lidas:
 - c) A produção de aço reduzida, naquele período, prejudicou sensivelmente as simulações:
 - d) A queda do termopar R2 prejudicou a análise:
 - e) Houve imprecisão na avaliação da temperatura de junta fria no final do ciclo:
 - f) Apesar de 3 ciclos acompanhados, somente o último foi aproveitado.

RESULTADOS

CAPÍTULO 5

5.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresentaremos inicialmente as características geométricas da panela ensaiada (caso base) e os resultados obtidos experimentalmente. Em seguida, realizaremos testes de sensibilidade do modelo através da variação da emissividade do gás, abertura da tampa, tipo de revestimento, excesso de ar e espessura da camada de escória. Estes testes têm por finalidade básica, verificar se a resposta do modelo condiz com a realidade física do processo. Trata-se portanto, de uma análise qualitativa do modelo.

Posteriormente, os resultados experimentais serão comparados com os valores obtidos através do modelo nas mesmas condições em que os testes de aquecimento/resfriamento e panela em ciclo foram realizados. Este procedimento permitirá uma análise quantitativa do modelo de modo a avaliar se as hipóteses simplificadoras adotadas no modelo são satisfatórias.

5.2 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DA PANELA ENSAIADA

Para utilizar o modelo já desenvolvido foram feitas as seguintes considerações com relação às dimensões da panela utilizada durante os testes:

Tampa:

- Espessura do refratário (irregular) = 70 ± 5 mm

- Espessura da chapa de aço = 10 mm
- Diâmetro = 3670 mm
- Distância média entre tampa e panela = 100 mm
- Revestimento: Concreto Refratário Aluminoso c/ 70% de Al_2O_3
- Cilindros abertos no topo com diâmetro de 396 mm

Panela:

- Espessura do refratário permanente = 114 mm
- Espessura do refratário de trabalho = 114 mm
- Diâmetro interno médio = 2949 mm
- Altura média = 3445 mm
- Espessura da chapa de aço (carcaça metálica) = 28 mm
- Diâmetro da válvula gaveta (aberta) = 133 mm
- Tipo: Alukor 70 e Sial-Ca (trab. e perm.)

5.3 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Neste item, serão apresentados os valores das temperaturas relativos aos testes de aquecimento/restriamento e final de ciclo, obtidos experimentalmente.

Na procedimento experimental foram acompanhadas as seguintes

medidas:

- 1º Aquecimento - duração 11 hs e 45 min: } 1º Teste
- 1º Restriamento - duração 11 hs e 45 min: }
- 2º Aquecimento - duração 12 hs: } 2º Teste
- 2º Restriamento - duração 13 hs: }
- 1º Ciclo - duração 12 hs:
- 2º e 3º Ciclos - duração 6 hs.

Nas tabelas 5.1 e 5.2 estão apresentadas as temperaturas dos pontos V1, V2, V3, H1, H2, R1, R2 e F1, durante os dois testes de aquecimento e resfriamento, respectivamente. Os intervalos de confiança são da ordem de $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

Tempo (horas)	TEMPERATURAS - AQUECIMENTO - 1					TEMPERATURAS - AQUECIMENTO - 2										
	V1	V2	V3	H1	H2	R1	R2	F1	V1	V2	V3	H1	H2	R1	R2	F1
0	210	150	135	210	255	75	75	255	175	200	185	180	175	175	120	150
0.25	225	165	140	225	270	80	80	270	170	190	175	180	170	180	120	145
0.5	235	180	155	235	285	85	85	285	175	195	180	185	175	185	120	145
1	240	190	160	240	290	88	88	290	180	200	185	190	180	190	120	145
1.25	245	195	165	245	295	90	90	295	185	205	190	195	185	200	120	145
1.5	250	200	170	250	300	95	95	300	190	210	195	200	190	210	120	145
1.75	255	205	175	255	305	95	95	305	195	215	200	205	195	215	120	145
2	260	210	180	260	310	95	95	310	200	220	205	210	200	220	120	145
2.25	265	215	185	265	315	95	95	315	205	225	210	215	205	225	120	145
2.5	270	220	190	270	320	95	95	320	210	230	215	220	210	230	120	145
2.75	275	225	195	275	325	95	95	325	215	235	220	225	215	235	120	145
3	280	230	200	280	330	95	95	330	220	240	225	230	220	240	120	145
3.25	285	235	205	285	335	95	95	335	225	245	230	235	225	245	120	145
3.5	290	240	210	290	340	95	95	340	230	250	235	240	230	250	120	145
3.75	295	245	215	295	345	95	95	345	235	255	240	245	235	255	120	145
4	300	250	220	300	350	95	95	350	240	260	245	250	240	260	120	145
4.25	305	255	225	305	355	95	95	355	245	265	250	255	245	265	120	145
4.5	310	260	230	310	360	95	95	360	250	270	255	260	250	270	120	145
4.75	315	265	235	315	365	95	95	365	255	275	260	265	255	275	120	145
5	320	270	240	320	370	95	95	370	260	280	265	270	260	280	120	145
5.25	325	275	245	325	375	95	95	375	265	285	270	275	265	285	120	145
5.5	330	280	250	330	380	95	95	380	270	290	275	280	270	290	120	145
5.75	335	285	255	335	385	95	95	385	275	295	280	285	275	295	120	145
6	340	290	260	340	390	95	95	390	280	300	285	290	280	300	120	145
6.25	345	295	265	345	395	95	95	395	285	305	290	295	285	305	120	145
6.5	350	300	270	350	400	95	95	400	290	310	295	300	290	310	120	145
6.75	355	305	275	355	405	95	95	405	295	315	300	305	295	315	120	145
7	360	310	280	360	410	95	95	410	300	320	305	310	300	320	120	145
7.25	365	315	285	365	415	95	95	415	305	325	310	315	305	325	120	145
7.5	370	320	290	370	420	95	95	420	310	330	315	320	310	330	120	145
7.75	375	325	295	375	425	95	95	425	315	335	320	325	315	335	120	145
8	380	330	300	380	430	95	95	430	320	340	325	330	320	340	120	145
8.25	385	335	305	385	435	95	95	435	325	345	330	335	325	345	120	145
8.5	390	340	310	390	440	95	95	440	330	350	335	340	330	350	120	145
8.75	395	345	315	395	445	95	95	445	335	355	340	345	335	355	120	145
9	400	350	320	400	450	95	95	450	340	360	345	350	340	360	120	145
9.25	405	355	325	405	455	95	95	455	345	365	350	355	345	365	120	145
9.5	410	360	330	410	460	95	95	460	350	370	355	360	350	370	120	145
9.75	415	365	335	415	465	95	95	465	355	375	360	365	355	375	120	145
10	420	370	340	420	470	95	95	470	360	380	365	370	360	380	120	145
10.25	425	375	345	425	475	95	95	475	365	385	370	375	365	385	120	145
10.5	430	380	350	430	480	95	95	480	370	390	375	380	370	390	120	145
10.75	435	385	355	435	485	95	95	485	375	395	380	385	375	395	120	145
11	440	390	360	440	490	95	95	490	380	400	385	390	380	400	120	145
11.25	445	395	365	445	495	95	95	495	385	405	390	395	385	405	120	145
11.5	450	400	370	450	500	95	95	500	390	410	395	400	390	410	120	145
11.75	455	405	375	455	505	95	95	505	395	415	400	405	395	415	120	145
12	460	410	380	460	510	95	95	510	400	420	405	410	400	420	120	145
12.25	465	415	385	465	515	95	95	515	405	425	410	415	405	425	120	145
12.5	470	420	390	470	520	95	95	520	410	430	415	420	410	430	120	145
12.75	475	425	395	475	525	95	95	525	415	435	420	425	415	435	120	145
13	480	430	400	480	530	95	95	530	420	440	425	430	420	440	120	145

Tab. 5.1 - Valores experimentais das temperaturas nos vários pontos da panela durante os testes de aquecimento.

Tab. 5.2 - Valores experimentais das temperaturas nos vários pontos da panela durante os testes de resfriamento.

Ao final do 2º aquecimento a panela que estava em teste foi descuidada de modo que a temperatura interna da parede pudesse ser lida através de um pirômetro óptico, e os valores obtidos estão indicados na Figura 5.1 a seguir:

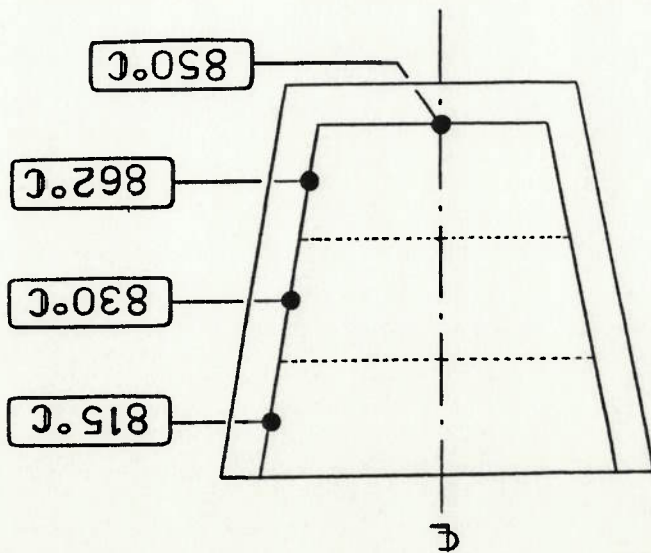
Tempo (horas)	V1	V2	V3	H1	H2	R1	R2	F1
0	580	490	370	560	605	160	185	115
0.25	580	495	375	565	600	165	190	115
1	555	495	385	550	570	170	195	120
1.25	540	490	385	535	550	180	195	120
1.5	530	485	380	520	535	180	200	125
1.75	510	475	375	510	515	180	200	125
2	495	465	370	495	500	180	200	130
2.25	480	460	365	480	485	180	200	130
2.5	465	450	360	465	465	180	200	135
2.75	450	440	355	450	450	185	200	135
3	440	430	350	440	440	185	200	140
3.25	425	420	345	425	420	185	200	140
3.5	405	405	340	405	405	180	200	140
3.75	390	395	335	390	385	180	195	145
4	380	385	330	380	370	180	195	145
4.25	365	380	325	365	360	180	195	150
4.5	350	365	320	350	345	180	195	150
4.75	335	350	315	335	330	180	185	155
5	320	335	310	320	315	180	185	155
5.25	305	320	305	305	300	180	180	155
5.5	290	305	300	290	285	180	180	155
5.75	275	290	295	275	270	175	175	155
6	260	275	290	260	255	175	175	155
6.25	245	260	285	245	240	170	170	155
6.5	230	245	280	230	225	170	170	155
6.75	215	230	275	215	210	165	165	155
7	200	215	270	200	195	165	165	155
7.25	185	200	265	185	180	160	160	155
7.5	170	185	260	170	165	160	160	155
7.75	155	170	255	155	150	155	155	155
8	140	155	250	140	145	150	150	155
8.25	125	140	245	125	140	145	145	155
8.5	110	125	240	110	135	140	140	155
8.75	100	115	235	100	130	140	140	155
9	90	105	230	90	125	135	135	155
9.25	80	95	225	80	120	130	130	155
9.5	70	85	220	70	115	125	125	155
9.75	60	75	215	60	110	120	120	155
10	50	65	210	50	105	115	115	155
10.25	40	55	205	40	100	110	110	155
10.5	30	45	200	30	95	105	105	155
10.75	20	35	195	20	90	100	100	155
11	10	25	190	10	85	95	95	155
11.25	5	15	185	5	80	90	90	155
11.5	0	5	180	0	75	85	85	155
12	0	0	175	0	70	80	80	155
12.25	0	0	170	0	65	75	75	155
12.5	0	0	165	0	60	70	70	155
12.75	0	0	160	0	55	65	65	155
13	0	0	155	0	50	60	60	155

Tab. 5.3 - Valores das temperaturas iniciais e finais de cada ciclo nos diversos pontos de medição e duração de cada etapa do ciclo.

CORRIDA	TEMPERATURAS (°C)										INTERVALO DE TEMPO (min)			
	V1	V2	V3	R1	R2	H1	H2	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3	ETAPA 4	ETAPA 5	ETAPA 6	ETAPA 7
850-822	549	602	506	200	(215)	590	594	2'45"	30'	5'15"	BORB = 34'30" = 25'	99'	5-35	40'15"
850-829	985	1084	1021	307	--	1104	1117	5'	6'	4'	45'	79'	5-16	21'
850-831	1075	1115	1000	334	--	1104	1129	-	78'	5'30"	BORB = 28' = 31'	23'30"	5-3	8'
ETAPA 1: TRANSPORTE DO AQUECIMENTO PARA O VIRADOR ETAPA 2: VIRADOR (INSPEÇÃO E PREPARAÇÃO) + TRANSPORTE PARA CARRO TORPEDO (CT) + ESPERA NO CT ETAPA 3: VAZAMENTO ETAPA 4: TRANSPORTE PARA BORBULHAMENTO + BORBULHAMENTO + TRANSPORTE PARA DISTRIBUIDOR ETAPA 5: LINGOTAMENTO ETAPA 6: TRANSPORTE PARA BORBULHAMENTO ETAPA 7: BORBULHAMENTO														

DATA: 7 E 8/4/89 - TESTE NO. 2

Fig. 5.1 - Esquema das temperaturas obtidas através do pirômetro óptico no final do 2º aquecimento. Na Tabela 5.3 estão apresentadas as temperaturas e os tempos medidos de cada ciclo nos diversos pontos de medição.



que o caso mais crítico de aquecimento ocorre quando é utilizado
 Através da comparação das curvas da Figura 5.4 verifica-se
 obtidos.

temperatura necessária e níveis mais elevados de temperatura são
 da panela. Quanto menor a abertura, mais rápido é atingida a
 panela e a tampa interfere muito no perfil de temperatura interna
 O gráfico da Figura 5.3 mostra que a distância entre a
 panela.

significativas na curva de aquecimento da parede interna da
 da emissividade do gás entre 0.25 e 0.4 não provocou variações
 de emissividades do gás (Fig. 5.2), e concluiu-se que a variação
 efetuou-se uma série de simulações considerando-se vários valores
 do gás sobre a temperatura do revestimento interno da panela,
 Atm de se avaliar a influência da variação da emissividade

5.4 TESTES DE SENSIBILIDADE DO MODELO

medidos durante as corridas 850-822/829/831.

Tab. 5.4 - Valores experimentais das temperaturas do aço-líquido

CORRIDA	No.	TEMPERATURAS (°C)			
		INICIO DE VAZAMENTO	FINAL DE VAZAMENTO	INICIO DE BORBULHAMENTO	FINAL DE BORBULHAMENTO
850-831	1660	1628	1621	1588	
850-829	1665	1635	1632	1681	
850-822	1678	1655	-	-	

As temperaturas do aço-líquido no início e final do
 vazamento e borbulhamento de argônio foram determinadas através
 de termopares descartáveis com precisão da ordem de $\pm 1^\circ\text{C}$, e
 estão relacionadas na Tabela 5.4 abaixo.

o revestimento básico. Observa-se também que, com qualquer revestimento, as temperaturas finais atingidas são próximas. A panela com revestimento sílico-alumínoso atinge o regime permanente (encharque) mais rápido.

Através do gráfico da Figura 5.5 pode-se avaliar a importância do excesso de ar no aquecimento das paredes internas. Verifica-se, portanto, que é necessário utilizar-se um queimador com baixo excesso de ar para atingir os níveis de temperatura exigidos.

No gráfico da Figura 5.6 são apresentadas as curvas de variação da temperatura do aço-líquido com o tempo, obtidas através dos modelos de camada de escória propostos por Omotani [19] e Szekeiy e Chen [16].

O modelo de camada de escória proposto por Szekeiy e Chen [16] além de levar em conta a espessura da camada de escória, conduz a praticamente os mesmos resultados obtidos pelo modelo de Omotani [19] em se tratando de escórias mais espessas.

Fig. 5.3 - Influência da distância entre a tampa e a panela na temperatura da parede.

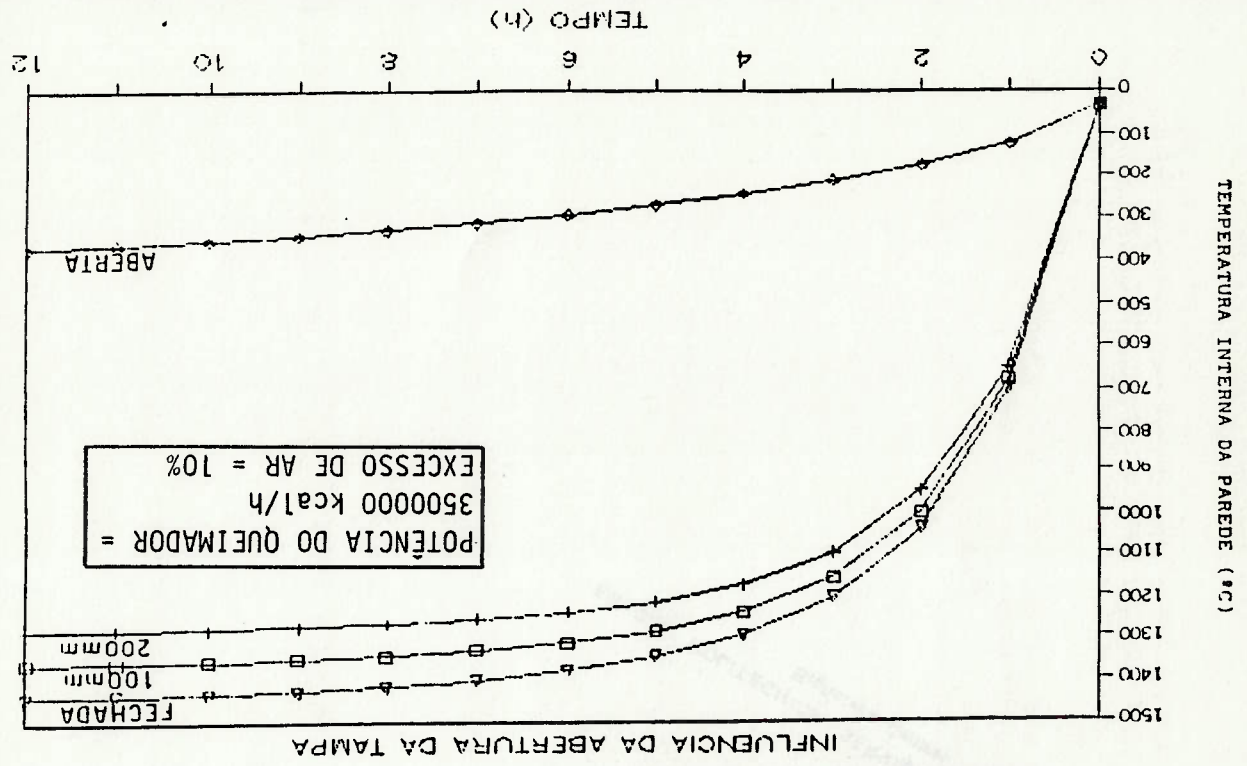


Fig. 5.2 - Influência da emissividade do gás (0.25 a 0.40) na temperatura da parede.

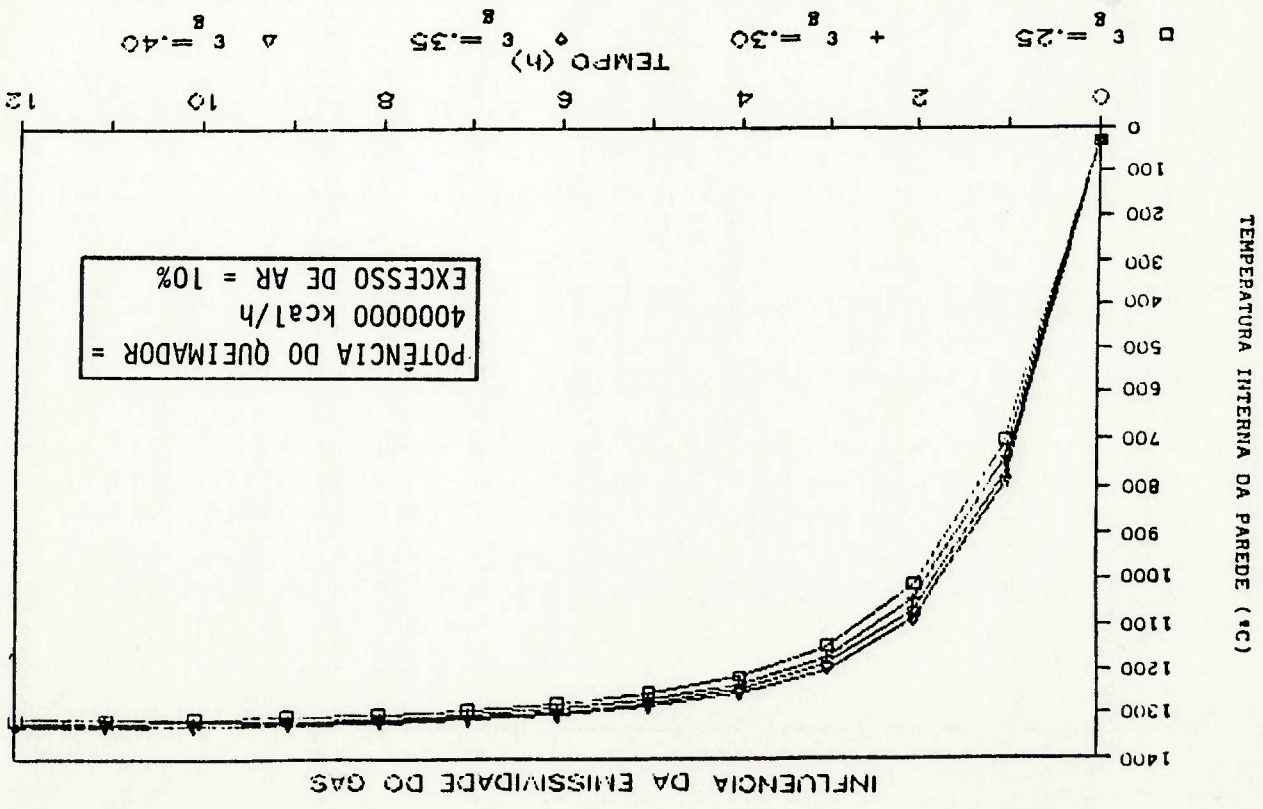


Fig. 5.5 - Influência do excesso de ar na temperatura da parede.

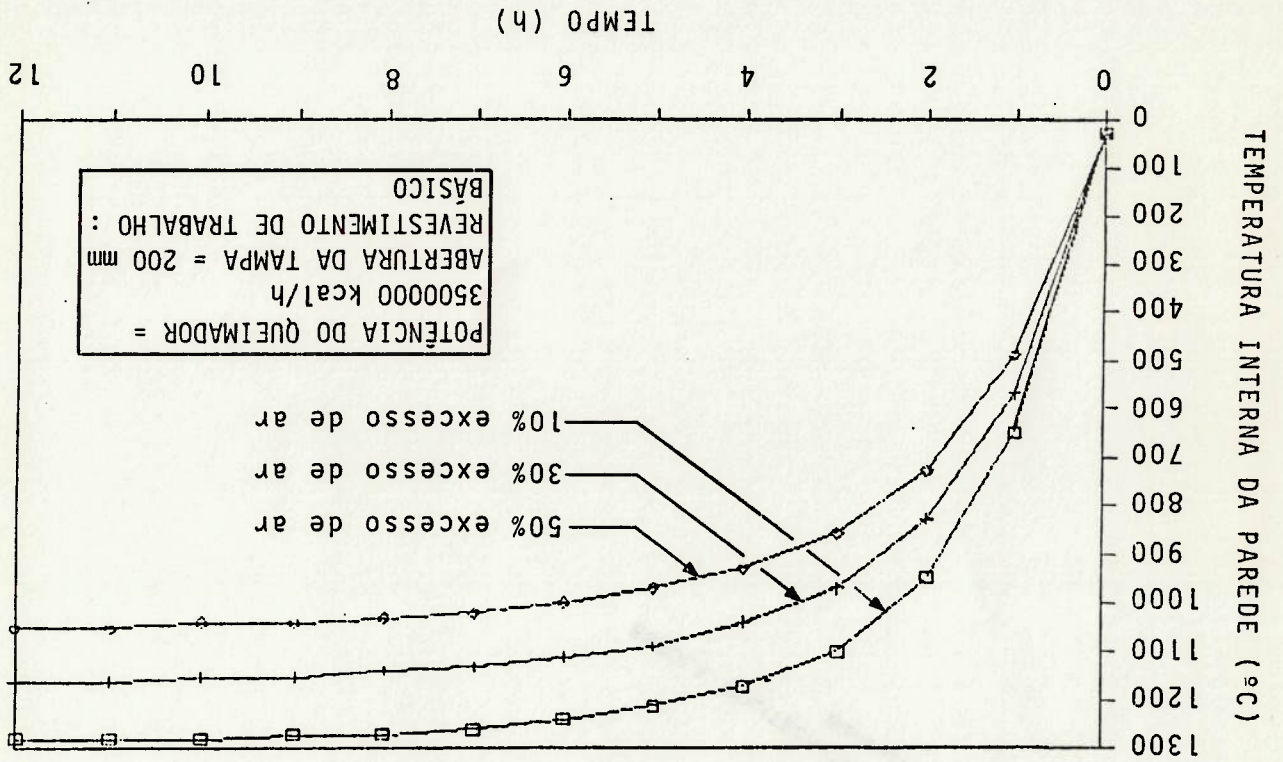
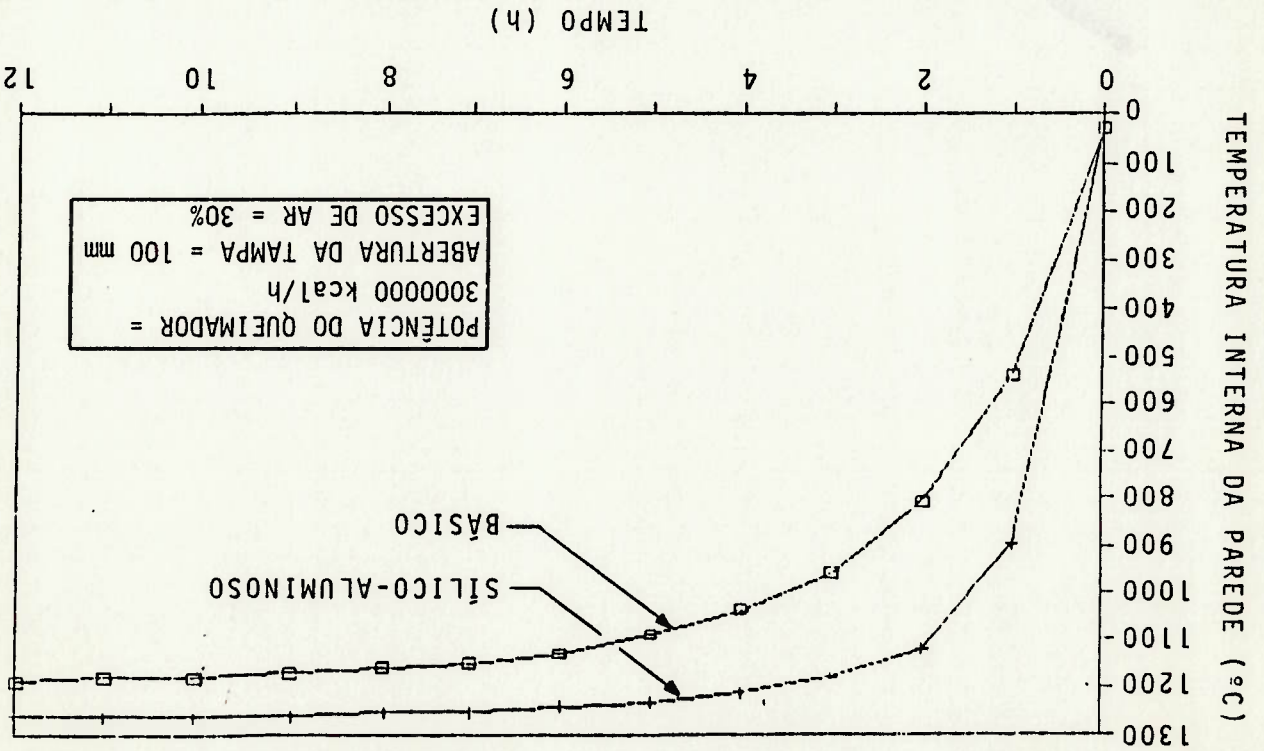


Fig. 5.4 - Influência do tipo de revestimento de trabalho da panela na temperatura da parede.



Neste item serão apresentadas as curvas comparativas entre os valores experimentais e os calculados através do modelo para os dois testes de aquecimento/resfriamento, considerando-se aberturas da tampa da panela de 100, 200 e 500 mm e também com a tampa aberta e fechada. Os pontos considerados são os seguintes: ponto B, entre os revestimentos de trabalho e fixo (ou permanente); ponto 11, entre o revestimento fixo e a carga

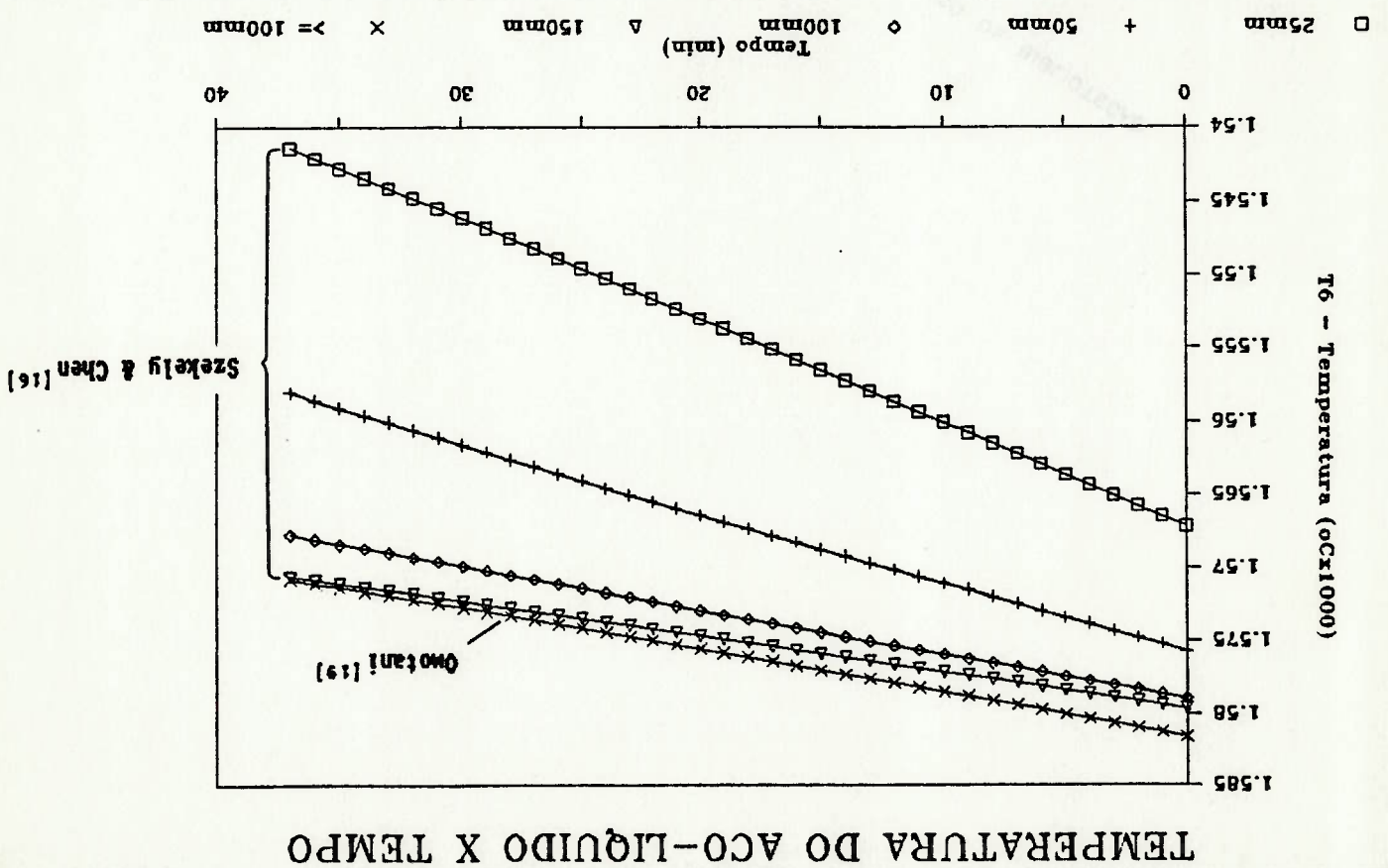
EXPERIMENTAIS REFERENTES AO AQUECIMENTO E RESFRIAMENTO

5.5 RESULTADOS COMPARATIVOS ENTRE O MODELO E AS MEDIDAS

as referências [16] e [19].

líquido para várias espessuras de escória, segundo

Fig. 5.6 - Evolução da temperatura na interface escória-metal



metálica e ponto 3, que representa a temperatura externa da carcaca metálica. Estes pontos encontram-se indicados na figura 3.1.

No caso da curva experimental do ponto B, será considerada a média dos valores obtidos através dos termopares V1, V2, V3, H1 e H2.

Atm de compensar a perda térmica através dos dois furos existentes na tampa da panela por ocasião dos testes (2 furos de ≈ 40 cm) que não estavam previstos no modelo, faremos a comparação dos resultados mediante a variação da abertura da tampa da panela. Uma outra forma de se compensar esta perda seria através da variação da emissividade do gás, porém, como podemos notar através da figura 5.2, grandes variações na emissividade do gás repercutem em pequenas variações da temperatura da panela. O tipo de revestimento e o excesso de ar são pré-estabelecidos, restando-nos apenas a abertura da tampa.

Nas simulações foram consideradas as características geométricas da panela ensaiada (conforme descrito no item 5.2), emissividade média do gás de 0.3 e vazões de ar de combustão e de combustível conforme Apêndice-F.

No canto superior direito dos gráficos está indicado o desvio médio entre os valores obtidos através do modelo para uma abertura de tampa de 500 mm e os dados experimentais.

Verifica-se através das figuras de 5.7 a 5.12 que os desvios médios são maiores no teste 2. Isto se deve, provavelmente, a problemas de condição inicial pois, para efeito de simulação, o perfil térmico final obtido através do modelo para o 1º teste é

dado de entrada para a simulação do 2º e, consequentemente, o erro irá se acumular.

Para uma abertura de fresta entre a panela e a tampa de 500 mm, obtém-se uma temperatura da superfície interna da panela de 813.21°C, no final do 2º aquecimento. Nas mesmas condições, porém com emissividade média de 0.15, esta temperatura será de 783.09°C. Se considerarmos ainda, que a temperatura da superfície interna experimental, para efeito de comparação, é a média aritmética dos 4 valores obtidos através da leitura do pirômetro óptico (Figura 5.1), ou seja, 839.25°C, então os desvios obtidos são de 3.1 e 6.7%, respectivamente.

Fig. 5.8 - Comparação dos resultados obtidos experimentalmente e através do modelo no ponto B - entre os revestimentos de trabalho e fixo (ou permanente) - Teste 2.

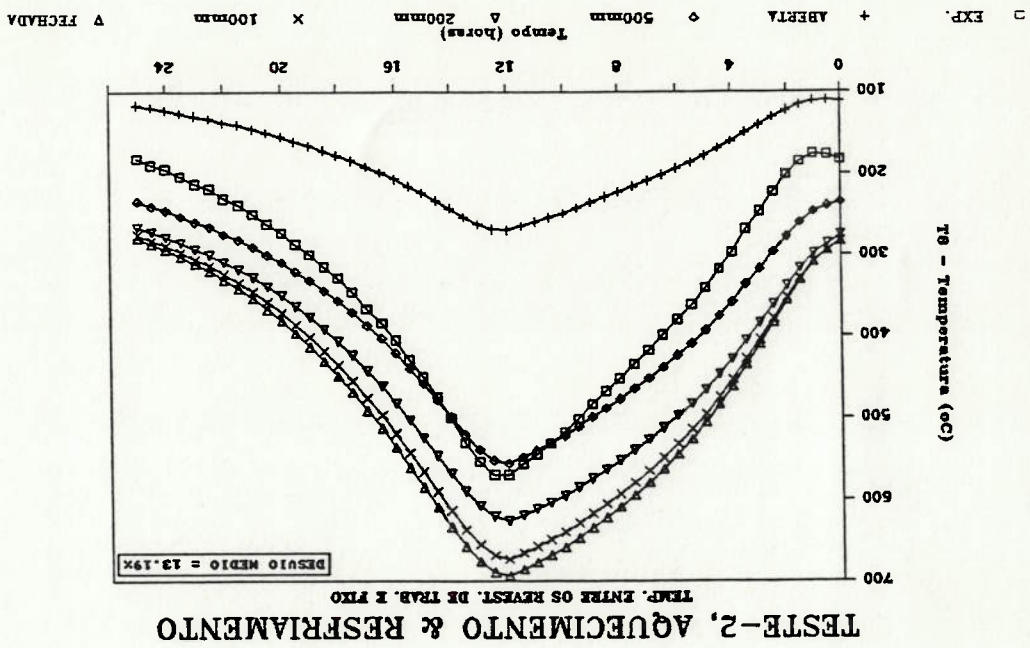


Fig. 5.7 - Comparação dos resultados obtidos experimentalmente e através do modelo no ponto B - entre os revestimentos de trabalho e fixo (ou permanente) - Teste 1.

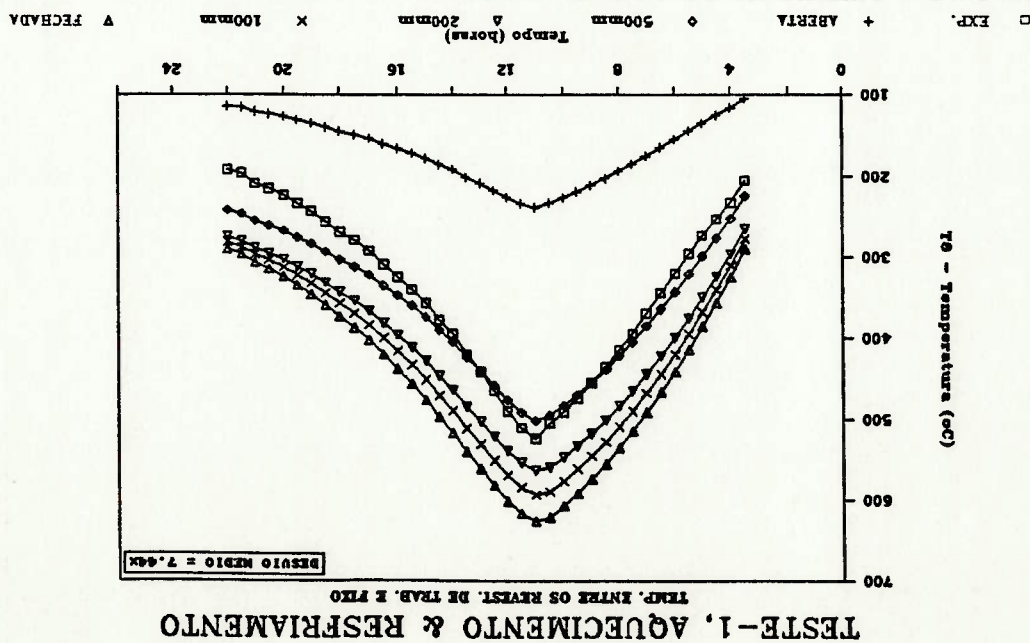


Fig. 5.10 - Comparação dos resultados obtidos experimentalmente e através do modelo no ponto 11 - entre o revestimento e fixo (ou permanente) e a carga metálica - Teste 2.

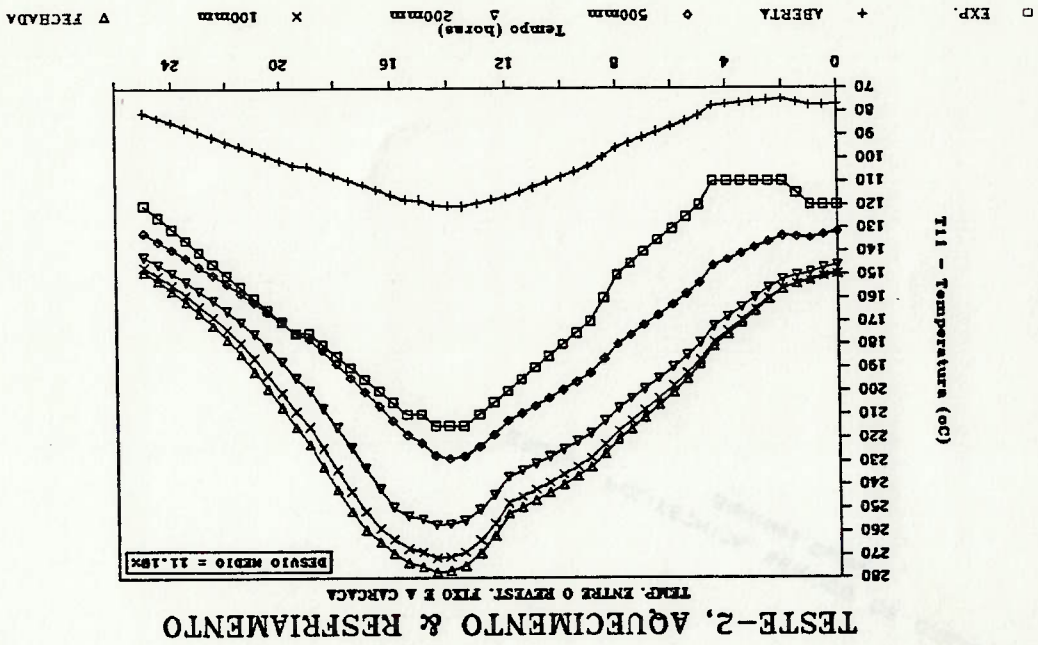


Fig. 5.9 - Comparação dos resultados obtidos experimentalmente e através do modelo no ponto 11 - entre o revestimento e fixo (ou permanente) e a carga metálica - Teste 1.

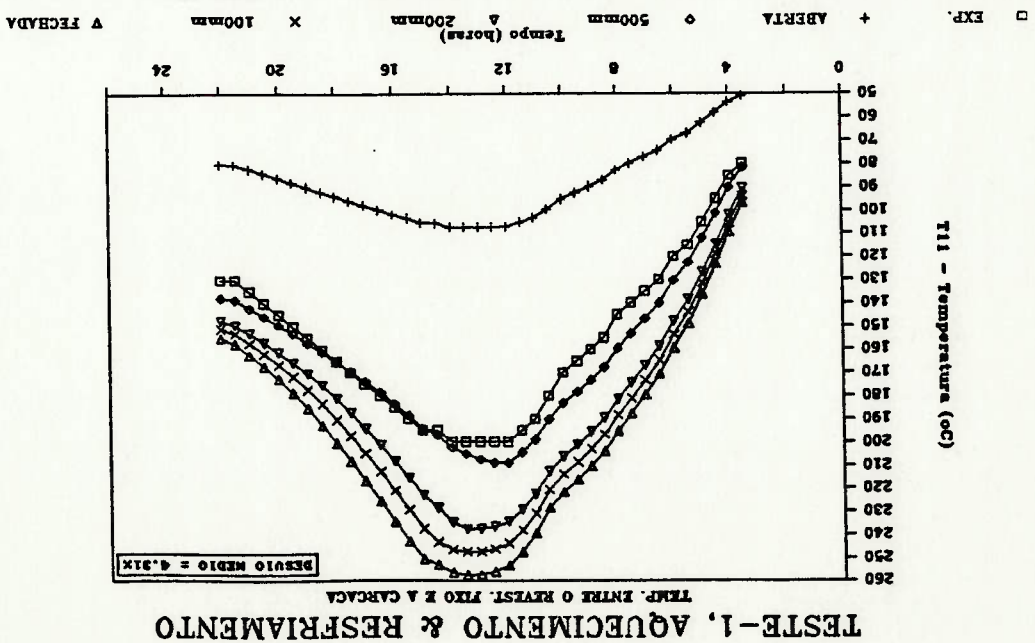


Fig. 5.11 - Comparação dos resultados obtidos experimentalmente e através do modelo no ponto 3 - carga metálica - Teste 2.

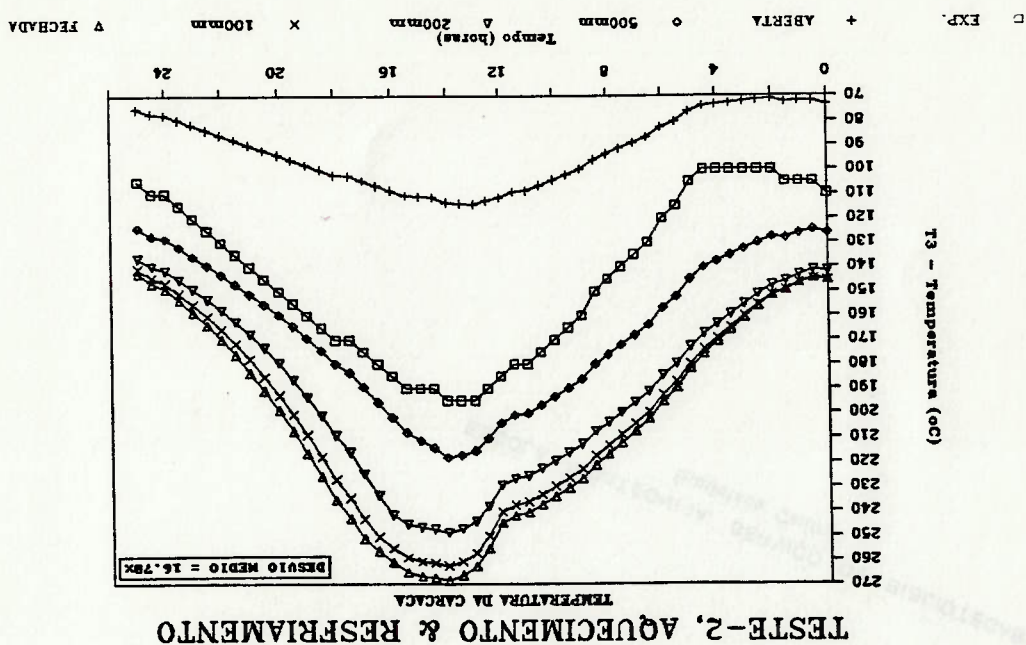
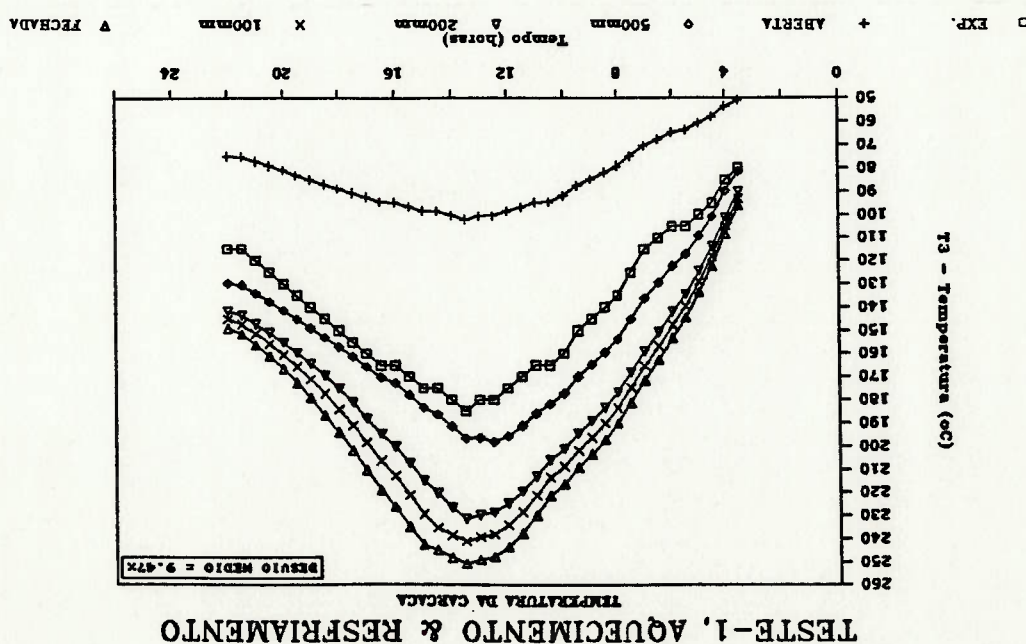


Fig. 5.12 - Comparação dos resultados obtidos experimentalmente e através do modelo no ponto 3 - carga metálica - Teste 1.



Os dados experimentais obtidos no final da corrida 850-829 (Tab. 5.3 e 5.4) servem de dados de entrada para a simulação do ciclo correspondente à corrida 850-831. Portanto, a temperatura entre os revestimentos fixo e de trabalho será a média aritmética dos valores obtidos através dos termopares V1, V2, V3, H1 e H2 (1062,2°C). A temperatura na carcaca metálica é de 307°C enquanto o ciclo.

Esta corrida possibilitou a comparação entre os valores calculados e medidos das temperaturas da panela e do aço durante

- Corrida 850-831

entre o final da corrida 822 e o início da 829. Nesta corrida, decorreu muito tempo, aproximadamente 12 horas, impossibilitou a comparação entre os valores calculados e medidos. A falta das temperaturas iniciais de aquecimento,

- Corrida 850-829

dificultando a simulação. Nesta corrida não foi possível estabelecer uma comparação entre os valores calculados e os medidos experimentalmente, pois ao final do lingotamento, não soube-se precisar qual a quantidade de aço-líquido remanescente na panela. Na Tabela 5.3 estão apresentadas as temperaturas e os tempos medidos. Pode-se notar os tempos elevados (99 min) do lingotamento e dos transportes, dificultando a simulação.

- Corrida 850-822

EXPERIMENTAIS REFERENTES AS ETAPAS DO CICLO

5.6 RESULTADOS COMPARATIVOS ENTRE O MODELO E AS MEDIDAS

que, o valor da temperatura no ponto entre o revestimento fixo e a carga metálica foi obtido por interpolação linear a partir dos pontos obtidos na corrida 850-822. Quanto às temperaturas da superfície interna da panela e do ponto intermediário do revestimento de trabalho, também foram obtidas por interpolação a partir de curvas conhecidas com perfis semelhantes.

Os resultados do modelo são apresentados para diversas espessuras de camada de escória (50, 100, 150 e 200 mm) e também para o modelo proposto por Omotani [19] que é válido apenas para espessuras de camada de escória superiores a 100 mm.

Na figura 5.13 estão indicadas as curvas de variação da temperatura do aço-líquido desde o início do vazamento (ETAPA-3) até o final do transporte para basculamento da escória (ETAPA-5). As etapas que constituíram as corridas e os tempos de duração de cada uma, e que foram considerados nas simulações, estão indicados na Tabela 5.3.

O desvio máximo entre os valores experimental e calculado da temperatura do aço-líquido, referente à curva cuja a espessura da camada de escória é de 50 mm (caso mais desfavorável), é de 0,8%. A curva obtida através do modelo da escória proposto por Omotani [19] apresenta resultados muito semelhantes aos obtidos com o modelo utilizado (Szekely e Chen [16]) para camadas de escória mais espessas, como foi mencionado anteriormente.

Portanto, nota-se uma grande proximidade entre os valores das temperaturas do aço-líquido medidos e calculados, apesar dos poucos pontos obtidos experimentalmente.

No gráfico da figura 5.14, pode-se notar que a temperatura

entre os revestimentos fixo e de trabalho são praticamente as mesmas e independem da variação da espessura da escória ou do tipo de modelo de camada de escória adotado. O desvio em relação ao ponto medido (média aritmética - $1100,6^{\circ}\text{C}$) é da ordem de 17.6%.

Com relação ao gráfico da variação da temperatura da carcaça metálica com o tempo (Fig. 5.15), valem as mesmas afirmações descritas acima, com a diferença de que o desvio entre os pontos calculados e o ponto medido (334°C) no final da corrida é de aproximadamente 19.3%.

TEMPERATURA DO AÇO-LÍQUIDO

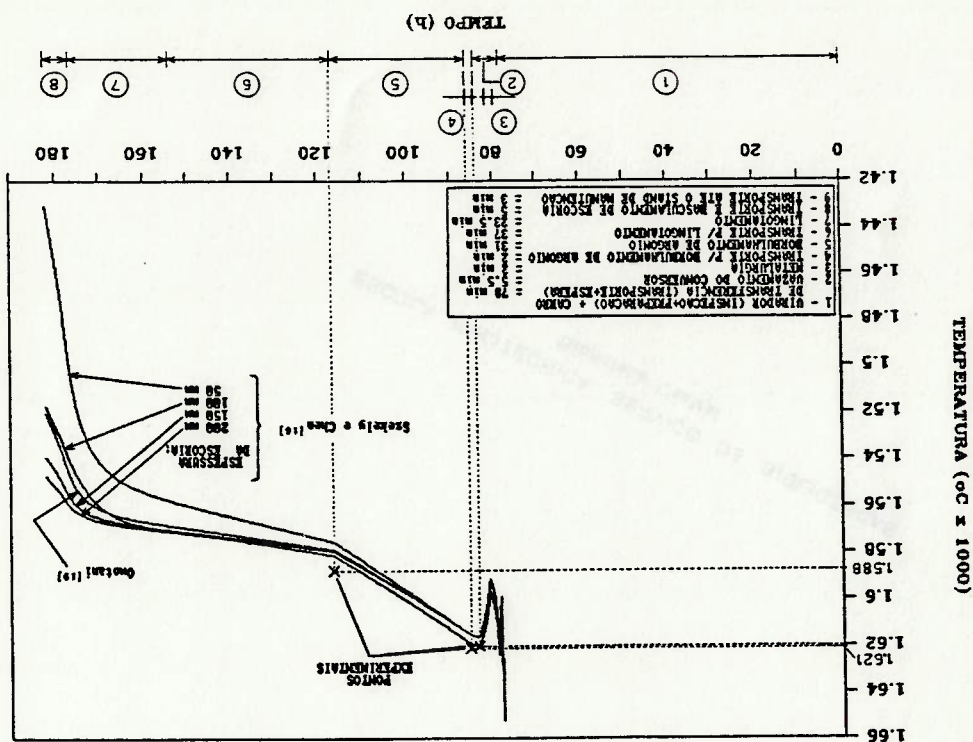


Fig. 5.13 - Comparação dos resultados experimentais e calculados da temperatura do aço-líquido, mediante variação da espessura e do modelo de camada de escória, para o ciclo da corrida 850-831.

Fig. 5.15 - Evolução da temperatura da carga metálica, mediante variação da espessura e do modelo da camada de escória, para o ciclo da corrida 850-831.

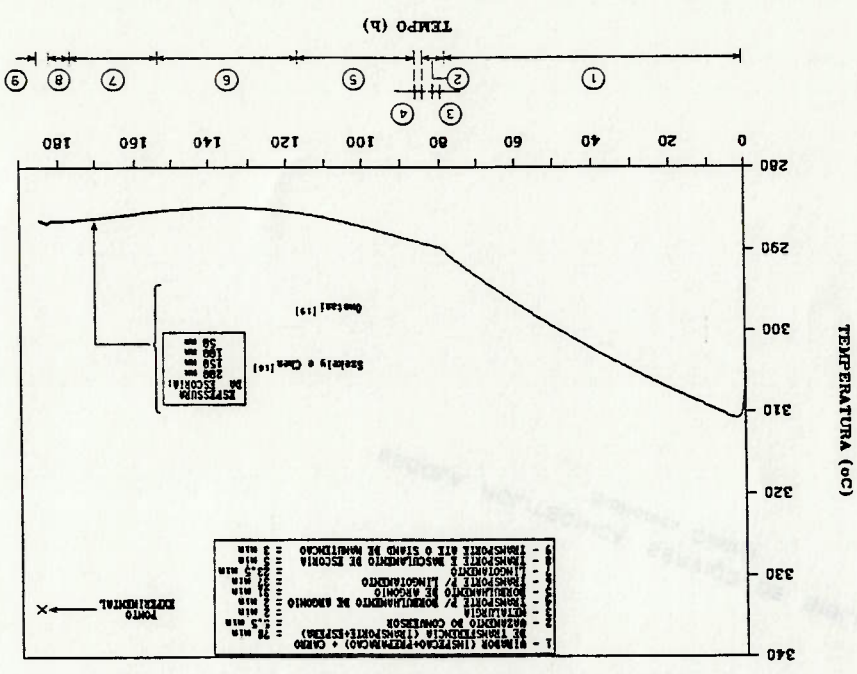
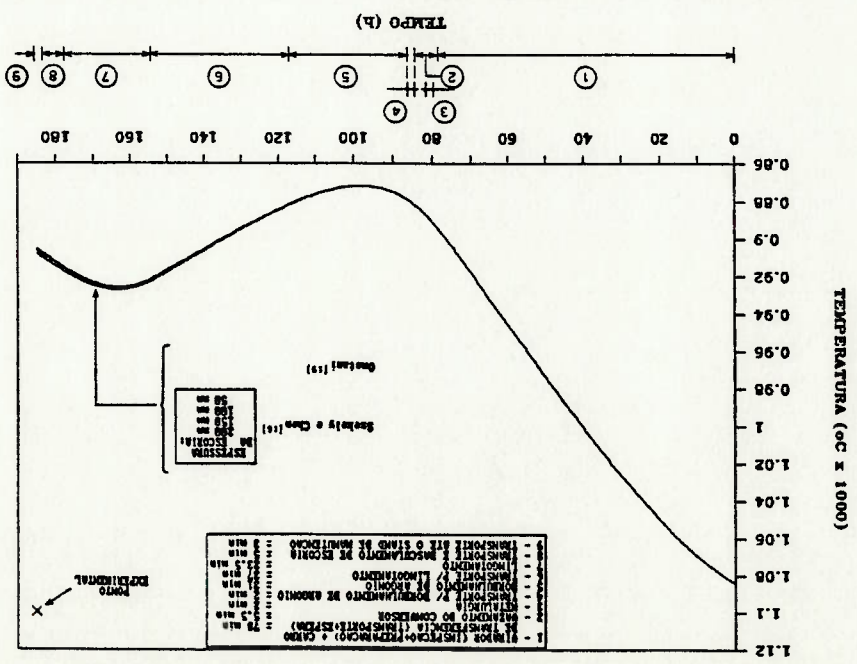


Fig. 5.14 - Evolução da temperatura entre os revestimentos fixo e de trabalho, mediante variação da espessura e do modelo da camada de escória, para o ciclo da corrida 850-831.



TEMP. ENTRE REVEST. FIXO E DE TRABALHO

O modelo desenvolvido teve a sua avaliação prejudicada nos testes de aquecimento/resfriamento pelos seguintes motivos:

- O queimador utilizado opera de forma diferente daquela prevista nas hipóteses do modelo, sendo a chama curta (interior a 3 metros) a principal discordância. Consta-se esse fato nos valores diferentes das temperaturas entre os revestimentos permanente e de trabalho (H1, H2, V2, e V3). Essas temperaturas deveriam ser próximas se os produtos da combustão fossem bem misturados:
- A tampa apresenta duas aberturas por onde escoam com facilidade os gases produzidos na combustão, fato este considerado no modelo, pois aumenta a perda por radiação para o ambiente:
- A combustão no interior da panela, durante as medições, foi muito rica. Algumas horas após o início do teste verificava-se facilmente a formação de longas chamas nas aberturas da tampa:
- A irregularidade no revestimento da tampa é muito acentuada, provocando uma "desuniformização" do fluxo de calor:
- Falta de medida precisa nas vazões de gás de coqueria (GCO) e ar de combustão. Esse motivo pode ser considerado como principal. Da forma como foram feitas as avaliações, não se tem idéia de quanto é o erro cometido no cálculo. A falta da medição na linha principal, que foi prevista inicialmente,

6.1 SOBRE O AQUECIMENTO E RESFRIAMENTO DA PANELA

CONCLUSÕES

CAPÍTULO 6

Como propostas de continuidade deste trabalho podem ser citadas: a comparação com dados da literatura, novo levantamento experimental e o estudo de um modelo bidimensional que represente melhor os fenômenos de escoamento dos gases e transferência de calor durante a etapa de aquecimento da panela.

6.3 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

Apesar das dificuldades encontradas e do número reduzido de temperaturas obtidas, o teste mostrou que as temperaturas do aço, medidas com maior precisão, estão muito próximas daquelas obtidas pelo modelo. Nos pontos do revestimento, apesar de existir uma variação, ela é ainda aceitável pois deve-se considerar o erro das medições. Portanto, para a finalidade de dimensionar queimadores e estimar as temperaturas de aquecimento da panela e de vazamento do aço, o modelo apresenta boa precisão na estimativa de temperaturas.

6.2 SOBRE O CICLO DA PANELA

- Na etapa de aquecimento, o modelo matemático desenvolvido é válido para um sistema de combustão bem misturado. pode-se ter temperaturas mais próximas das medidas: podem variar muito. Diminuindo-se ainda mais a vazão de GCO, verificou-se que as temperaturas nos diversos pontos da parede vazões menores (em torno de 80% do valor calculado), gerou esse desconhecimento. Através de simulações feitas com

Truelove [42] sugere uma combinação dos modelos bem-misturado (adotado neste trabalho) e plug-flow para os casos em que o queimador se localiza no centro da base. Neste caso, próximo ao queimador, a mistura turbulenta entre o combustível e o ar e a recirculação externa entre a chama e a parede da câmara resulta numa região na qual os gases são bem misturados. Essa região pode ser modelada como bem misturada. O comprimento da região bem misturada é estimada a partir do conhecimento do comprimento da chama e modelo de escoamento dentro da câmara. Além da região bem misturada, o modelo plug-flow é utilizado.

BIBLIOGRAFIA

- (1) PFEIFER, H. et alii. Modell zur thermischen simulation von stahligesspfannen. Stahl und Eisen, 109(24): 1279-88, Nov. 1984.
- (2) PFEIFER, H. et alii. Der einfluss veränderlicher pfannenbordgeometrien auf den wärmeverlust der stahlschmelze. Stahl und Eisen, 103(25-26): 1321-8, Dez. 1983.
- (3) SZEKELY, J. & EVANS, J. W. Radiative heat loss from the surface of molten steel held in a ladle. Transactions of the Metallurgical Society of AIME, 245: 1149-59, Jun. 1969.
- (4) LUDLEY, J. H. & SZEKELY, J. Combined radiative and convective heat loss from the surface of a solidifying melt. Journal of The Iron and Steel Institute, 204(1): 12-5, Jan. 1966.
- (5) SIQUEIRA, A. I. A. et alii. Análise térmica de uma panela de aciaría de 220t de capacidade. In: Congresso Anual da ABM, 37, São Paulo, ABM, Junho 1983. pp 113-31.
- (6) MUNDIN, M. J. et alii. Análise térmica da panela de aço. In: Congresso Anual da ABM, 40, Rio de Janeiro, ABM, Junho 1985. pp 604-19.
- (7) MANSUY, D. & GÉHIN, G. Aspect thermique de l'utilisation des réfractaires. Revue de Métallurgie, 80(12): 935-45, Dec. 1983.

- (8) HLINKA, J. W. & MILLER, T. W. Temperature loss in liquid steel-refractory systems. Iron and Steel Engineer: 123-33, Aug. 1970.
- (9) GRECO, C. Um método para o cálculo térmico de fornos rotativos. São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1972.
- (10) DIDIER Refractory materials for the use of purging gases and carrier gases in metallurgy.
- (11) HOTTEL, H. V. C. & SAROFIM, A. F. Radiative transfer. New York, McGraw-Hill, 1967.
- (12) PATANKAR, S. V. Numerical heat transfer and fluid flow. New York, McGraw-Hill, 1980.
- (13) ECKERT, E. R. G. & DRAKE JR, R. M. Heat and mass transfer. New York, McGraw-Hill, 1972.
- (14) SZEKELY, J. & THEMELIS, N. J. Rate phenomena in process metallurgy. New York, John Wiley & Sons, 1971.
- (15) RIECHE, K. et alii. Über den einfluss des wärmezustandes der pfannenausmauerung und einer wärmeisolierenden abdeckung auf den temperaturverlust der schmelze. Stahl und Eisen, 105(19): 981-6, Sept. 1985.
- (16) SZEKELY, J. & CHEN, J. H. The role of natural convection in ladles as affecting tundish temperature control in continuous casting. Metallurgical Transactions, 2: 1188-92, Apr. 1971.
- (17) PEREIRA, C. L. Modelamento matemático do perfil térmico do revestimento refratário de panelas de aço. Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais, 1986.

- (18) LIMA, M. A. Modelo térmico e fluido-dinâmico de uma panela de aciaria. Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais, 1985.
- (19) OMOTANI, M. A. et alii. Ladie temperature control during continuous casting. Iron and Steelmaker, 10(10): 29-35, Oct. 1983.
- (20) HOLMAN, J. P. Heat transfer. New York, McGraw-Hill, 1981.
- (21) MCDAMAS, W. H. Heat transmission. New York, McGraw-Hill, 1954.
- (22) KUDRIN, V. Steelmaking. Moscow, Mir, 1985.
- (23) GEIGER, G. H. & POIRIER, D. R. Transport phenomena in metallurgy. New York, Addison-Wesley, 1973.
- (24) BIRD, R. B. et alii. Transport phenomena. New York, John Wiley & Sons, 1960.
- (25) ROSHENOW, W. M. & CHOI, H. Y. Heat, mass and momentum transfer. New York, Prentice-Hall, 1961.
- (26) HLINKA, J. W. Water model for the quantitative simulation of the heat and fluid flow in liquid-steel refractory systems. Mathematical Process in Iron and Steelmaking: 157-64, 1973.
- (27) SCHLICHTING, H. Boundary layer theory. New York, McGraw-Hill, 1979.
- (28) GOSMAN, A. O. et alii. Heat and mass transfer in recirculating flows. New York, Academic Press, 1969.
- (29) PATANKAR, S. V. & SPALDING, D. B. Heat and mass transfer in boundary layers. London, Intertext Books, 1970.

- (30) RAY, W. H. & SZEKELY, J. Process optimization with applications in metallurgy and chemical engineering. New York, John Wiley & Sons, 1973.
- (31) KAYS, W. M. & CRAWFORD, M. E. Convective heat and mass transfer. New York, McGraw-Hill, 1980.
- (32) SZEKELY, J. & LEE, R. G. The effect of slag thickness on heat loss from ladles holding molten steel. Transactions of the Metallurgical Society of AIME, 242: 861-5, Jun. 1968.
- (33) ALBERNY, R. & LECLERO, A. Heat losses from liquid steel in the ladle and in the tundish of a continuous casting installation. Mathematical Process in Iron and Steelmaking: 151-6, 1973.
- (34) HARTOG, H. W. et alii. Heat balance and temperature stratification in liquid steel in ladles. Mathematical Process in Iron and Steelmaking: 213-21, 1973.
- (35) CHONÉ, J. & TEYSSEIER, F. Calcul des pertes thermiques en poche. Revue de Métallurgie, (7-8): 1723-33, 1974.
- (36) MUTSARTS, P. Etude des facteurs thermiques influençant les pertes thermiques dans les poches à acier. Revue de Métallurgie, (10): 2109-38, 1974.
- (37) WALKER, H. Refractories - Modern refractory practice. Cleveland, William Feather, 1961.
- (38) Conservação de energia na indústria do vidro: Manual de Recomendações. São Paulo, IPT, 1983. 316p. (Publ. IPT n° 1245).

(38) VAN WYLEN, G. J. & SONNTAG, R. Fundamentos de termodinâmica clássica. São Paulo, Edgard Blücher, 1976. 2a. ed., 531p.

(40) KAZANTSEV, E. I. Industrial furnaces. Moscow, Mir Publishers, 1977.

(41) ARPACI, V. S. Conduction heat transfer. Reading, Mass., Addison-Wesley, 1966.

(42) TRUELOVE, J. S. Furnaces and combustion chambers. Hemisphere Publishing Corporation, 1983.

(43) ALTOÉ JR, C. et alii. Aumento da vida do revestimento retratório das panelas de aço da Aciaria-II da USIMINAS. In: Congresso Anual da ABM, Salvador, ABM, Novembro 1980. pp 155-65.

APÊNDICE A
DESCRIÇÃO SUMÁRIA DO MÉTODO NUMÉRICO
DE DISCRETIZAÇÃO

Foi utilizada a formulação do volume de controle (ou método

do subdomínio) para discretização da equação parabólica de

condução de calor unidimensional em regime transitório. Nesta

formulação, o domínio é dividido em um número de volumes de

controle "nonoverlapping" de forma que haja um volume de controle

cercando cada nó. A equação diferencial é integrada sobre cada

volume de controle. Pertis "piecwise" expressando a variação da

equação geral (θ) entre os nós, são utilizados para avaliar as

integrais requeridas. O resultado é a equação discretizada

contendo os valores de θ para um grupo de nós.

A equação discretizada obtida dessa forma expressa o

princípio da conservação de θ para volume de controle finito,

enquanto que a equação diferencial expressa para um volume de

controle infinitesimal.

A característica mais atraente da formulação do volume de

controle é que a solução resultante implica que a conservação

integral de quantidades como massa, momentum e energia é

exatamente satisfeita sobre qualquer grupo de volumes de controle

e consequentemente, sobre todo o domínio.

- Discretização da Equação de Condução Unidimensional em Regime

Transitório

A condução de calor unidimensional em regime transitório é

descrita pela equação de Fourier:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) \quad (A.1)$$

A equação discretizada é obtida através da integração da equação A.1 no volume de controle indicado na figura A.1 e no intervalo de tempo de t para $t + \Delta t$. Assim,

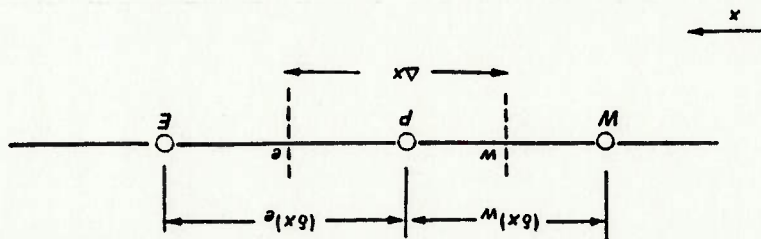


Fig. A.1 - Representação nodal para problema unidimensional.

$$(A.2) \quad \rho c \int_{t+\Delta t}^t \int_E^M \frac{\partial T}{\partial t} dx = \int_{t+\Delta t}^t \int_E^M \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial x}{\partial T} \right) dx dt.$$

Assumindo que o valor de T no nó prevalece em toda a parte do volume de controle para a representação do termo $\partial T / \partial t$, e seguindo a prática do regime permanente para $k \partial T / \partial x$, obtemos:

$$(A.3) \quad \rho c \Delta x (T_P^t - T_M^t) = \int_{t+\Delta t}^t \left[k_e (T_E^t - T_P^t) - k_w (T_P^t - T_M^t) \right] dx dt$$

É neste ponto que precisamos de uma hipótese de como T_P , T_E e T_M variam com o tempo de t para $t + \Delta t$. Muitas hipóteses são possíveis, e uma delas pode ser generalizada através da proposição:

$$(A.4) \quad \int_{t+\Delta t}^t T_P dt = [T_P^t + (1 - \mathcal{J}) T_P^0] \Delta t$$

onde \mathcal{J} é um fator de ponderação entre 0 e 1. Usando fórmulas similares para as integrais de T_E e T_M , obtemos a partir da

equação A.3,

$$(A.5) \quad \rho c \frac{\Delta t}{\Delta x} (T_P^t - T_M^t) = \mathcal{J} \left[k_e (T_E^t - T_P^t) - k_w (T_P^t - T_M^t) \right] + (1 - \mathcal{J}) \left[k_e (T_E^0 - T_P^0) - k_w (T_P^0 - T_M^0) \right]$$

Como a estabilidade de um procedimento explícito de diferenças à frente (forward) depende da seleção de valores de Δx e Δt e por outro lado, nenhuma restrição é imposta sobre a solução das equações obtidas através da formulação implícita, optaremos então, pela segunda formulação, isto é, o procedimento implícito de diferenças à ré (backward), apesar do grande número de cálculos para cada passo no tempo. Neste caso, $f=1$ e portanto a expressão A.5 ficará da seguinte forma:

$$(A.6) \quad \frac{\Delta x}{\Delta t} (T_i^p - T_i^0) = \left[\frac{k_e(T_i^E - T_i^p)}{k_e(T_i^E - T_i^p) - k_w(T_i^p - T_i^W)} - \frac{(\delta x)^e}{k_w(T_i^p - T_i^W)} \right]$$

Com o objetivo de solucionar numericamente o sistema de equações não-lineares, foi desenvolvida uma subrotina na qual o método de solução utilizado é o de Newton-Raphson.

- Descrição do Método

Seja o sistema de n equações não-lineares:

$$(A.7) \quad \left. \begin{aligned} F_1 &= (x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \\ &: \\ &: \\ F_2 &= (x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \\ &: \\ F_n &= (x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \end{aligned} \right\}$$

Para solucioná-lo numericamente pelo método de Newton-Raphson, é necessário escolher os valores iniciais (chutes) y_1, y_2, \dots, y_n nas vizinhanças de x_1, x_2, \dots, x_n . A solução do sistema é dada pelo vetor $(x_1^k, x_2^k, \dots, x_n^k)$, onde:

$$\left. \begin{aligned} x_{k+1}^1 &= x_k^1 + \Delta x_1 \\ x_{k+1}^2 &= x_k^2 + \Delta x_2 \\ &\vdots \\ x_{k+1}^n &= x_k^n + \Delta x_n \end{aligned} \right\}$$

(A.8)

Podemos calcular Δx_i ($i = 1, 2, \dots, n$) a partir do seguinte

sistema de equações lineares:

$$\left. \begin{aligned} (a_{f_1/a_{x_1}}^1 \Delta x_1 + a_{f_1/a_{x_2}}^1 \Delta x_2 + \dots + a_{f_1/a_{x_n}}^1 \Delta x_n) &= -f_1 \\ (a_{f_2/a_{x_1}}^2 \Delta x_1 + a_{f_2/a_{x_2}}^2 \Delta x_2 + \dots + a_{f_2/a_{x_n}}^2 \Delta x_n) &= -f_2 \\ &\vdots \\ (a_{f_n/a_{x_1}}^n \Delta x_1 + a_{f_n/a_{x_2}}^n \Delta x_2 + \dots + a_{f_n/a_{x_n}}^n \Delta x_n) &= -f_n \end{aligned} \right\}$$

(A.9)

que pode ser escrito em forma de produto de matrizes:

$$\begin{bmatrix} a_{f_1/a_{x_1}}^1 & a_{f_1/a_{x_2}}^1 & \dots & a_{f_1/a_{x_n}}^1 \\ a_{f_2/a_{x_1}}^2 & a_{f_2/a_{x_2}}^2 & \dots & a_{f_2/a_{x_n}}^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{f_n/a_{x_1}}^n & a_{f_n/a_{x_2}}^n & \dots & a_{f_n/a_{x_n}}^n \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta x_2 \\ \vdots \\ \Delta x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -f_1 \\ -f_2 \\ \vdots \\ -f_n \end{bmatrix}$$

(A.10)

Montando-se uma outra matriz de ordem $(n \times n+1)$,

$$\begin{bmatrix} a_{f_1/a_{x_1}}^1 & a_{f_1/a_{x_2}}^1 & \dots & a_{f_1/a_{x_n}}^1 & -f_1 \\ a_{f_2/a_{x_1}}^2 & a_{f_2/a_{x_2}}^2 & \dots & a_{f_2/a_{x_n}}^2 & -f_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ a_{f_n/a_{x_1}}^n & a_{f_n/a_{x_2}}^n & \dots & a_{f_n/a_{x_n}}^n & -f_n \end{bmatrix}$$

(A.11)

Para calcular as derivadas parciais numericamente, foi aplicado um método que se chega a um valor aproximado que consiste em escolher um intervalo Δs_i tal que:

$$\Delta s_i = \max(10^{-6}, y_i \times 10^{-6}) \text{ onde } i = 1, 2, \dots, n$$

para evitar que ele seja nulo - (caso em que $y_i = 0$).

O valor 10^{-6} pode ser alterado conforme o caso. Assim, a

derivada parcial foi calculada da seguinte forma:

$$\frac{\partial f_i}{\partial x_j} = \text{tg} \alpha_j = [f_i(x_j + \Delta s_j/2) - f_i(x_j - \Delta s_j/2)] / \Delta s_j$$

∴

$$\frac{\partial f_i}{\partial x_n} = \text{tg} \alpha_n = [f_i(x_n + \Delta s_n/2) - f_i(x_n - \Delta s_n/2)] / \Delta s_n$$

Geometricamente:

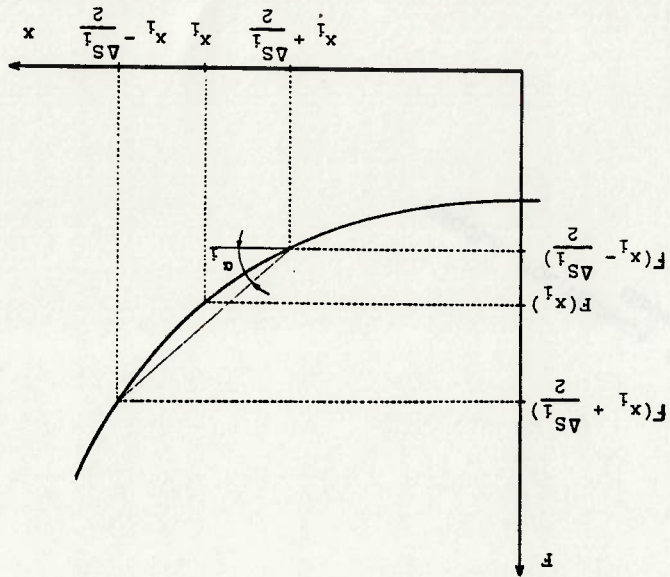
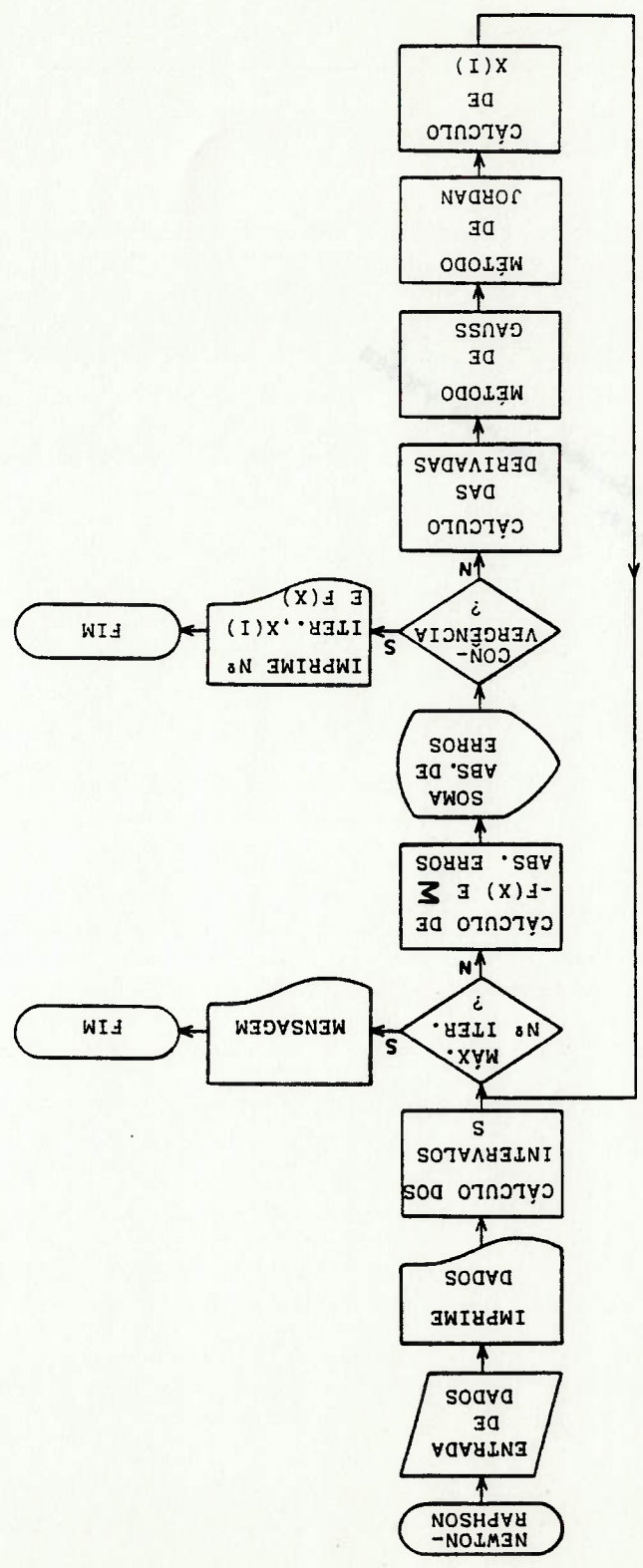


Fig. A.2 - Esboço que apresenta o método aproximado através do qual as derivadas parciais são obtidas.

solução de sistema de equações não-lineares.

Fig. A.3 - Diagrama de blocos do método de Newton-Raphson para a



CÁLCULOS DE COMBUSTÃO

APÊNDICE B

Combustível: GAS DE COQUEIRA

Composição Volumétrica:

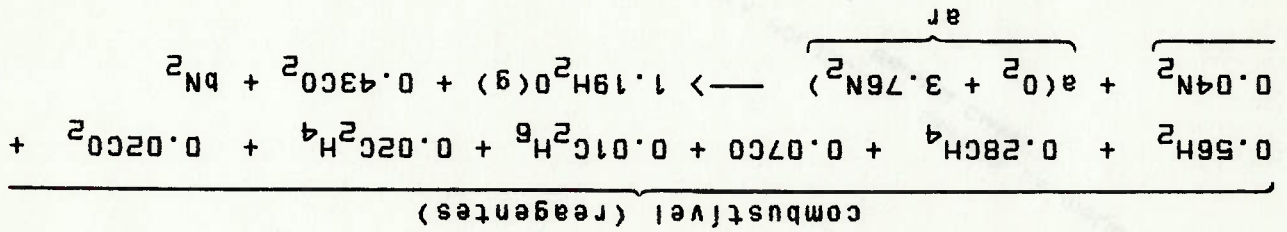
H ₂	- 56%
CH ₄	- 28%
CO	- 7%
C ₂ H ₆	- 1%
C ₂ H ₄	- 2%
CO ₂	- 2%
N ₂	- 4%
	100%

incombustíveis

$$PCI = 0.56 \times 2575 + 0.28 \times 8580 + 0.07 \times 3020 + 0.01 \times 15370 + 0.02 \times 14320 = 495.9 \text{ kcal/Nm}^3$$

- Determinação da estequiometria da reação, da massa de ar e de

gases para excesso de ar:



Balanco O₂: 0.07 + 2 x 0.02 + 2 x a = 1.19 + 2 x 0.43 → a =

0.97 moles

Balanco N₂: 2 x 0.04 + 2 x 3.76 x 0.97 = 2 x b → b =

3.6872 moles

- Composição volumétrica dos produtos:

$$\% \text{H}_2\text{O} = 1.19/5.3072 = 22.42\%$$

$$\% \text{CO}_2 = 0.43/5.3072 = 8.10\%$$

$$\% \text{N}_2 = 3.6872/5.3072 = 69.48\%$$

- Massa total de gases de combustão úmidos, provenientes da combustão estequiométrica:

(B.1) $m_{gu} = m_{gs} + 9 \times h + a + m_{ar\ seco} \times w$

- Massa total de gases secos, (estequiométrica):

(B.2) $m_{gs} = 3.67 \times c + 2 \times s + n + 105.3 \times (c/12 + h/4 + s/32 - 0/32) - 3.67 \times 0.4950 + 0.1075 + 105.3 \times (0.4950/12 + 0.2285/4 - 0.1690/32) = 11.73 \text{ kg/kg de combustível}$

- Massa de ar atmosférico seco necessária (estequiométrica):

(B.3) $m_{ar\ seco} = 137.9 \times (c/12 + h/4 + s/32 - 0/32) = 137.9 \times (0.4950/12 + 0.2285/4 - 0.1690/32) = 12.84 \text{ kg/kg de combustível}$

Portanto, substituindo-se os valores de m_{gs} e $m_{ar\ seco}$ na expressão B.1 obtém-se:

$m_{gu} = 11.73 + 9 \times 0.2285 + 12.84 \times 0.01^* = 13.91 \text{ kg/kg de combustível}$

(x) - ar atmosférico úmido com umidade $w = 0.01 \text{ kg de vapor d'água/kg de ar seco.}$

- Massa de ar atmosférico úmido necessária à combustão estequiométrica:

(B.4) $m_{ar} = m_{ar\ seco} \times (1 + w) = 12.84 \times (1 + 0.01) = 12.97 \text{ kg/kg de combustível}$

Finalmente, a massa de gases de combustão úmidos necessária à combustão completa com excesso de ar é dada por:

$$m_{gu}' = m_{gu} + m_{ar} \times e \quad (B.5)$$

$$= 13.91 + 12.97 \times e$$

onde, e = $\frac{\text{massa de ar utilizada} - \text{massa de ar estequiométrica}}{\text{massa de ar estequiométrica}}$

- Calor específico dos gases de combustão (J/kg°C):

$$C_{pM} = [(0.2242/18) \times C_{pH_2O} + (0.0810/44) \times C_{pCO_2} + (0.6948/28) \times C_{pN_2}] \times 4184 \quad (B.6)$$

onde,

$$C_{pH_2O} = 34.19 - 43.868 \times (T^G/100)^{0.25} + 19.778 \times (T^G/100)^{0.5} - 0.88407 \times (T^G/100)$$

$$C_{pCO_2} = - 0.89286 + 7.2967 \times (T^G/100)^{0.5} - 0.98074 \times (T^G/100) + 5.7835 \times 10^{-3} \times (T^G/100)^2$$

$$C_{pN_2} = 9.3355 - 122.56 \times (T^G/100)^{-1.5} + 256.38 \times (T^G/100)^{-2} - 196.08 \times (T^G/100)^{-3}$$

As expressões dos calores específicos à pressão constante do H₂O, CO₂ e N₂ foram extraídas de Van Wylan [39], e a expressão (B.6) é função das pressões parciais dos produtos.

T^G é dado em K.

- Densidade média do combustível (GC0):
 $\rho = 0.416 \text{ kg/m}^3 \text{ (30°C)}$

APÊNDICE C
MODELO DO JATO DE VAZAMENTO
DO CONVERSOR PARA A PANELA

No vazamento de aço-líquido para a panela ocorrem perdas

térmicas do jato de vazamento para o ambiente. Estas perdas

dependem da altura da abertura de vazamento sobre a panela, do

tempo de vazamento e da forma geométrica do jato de vazamento.

Para o cálculo das perdas térmicas ou da diminuição de

temperatura do jato de vazamento desde o conversor até a sua

entrada na panela é presumido o seguinte:

- A temperatura de vazamento do conversor T_{vaz} é constante

durante o tempo de vazamento t_{vaz} :

- O fluxo de massa \dot{m}_{vaz} é constante;

- O jato de vazamento é descrito pelas leis da queda livre:

- A seção transversal do jato de vazamento é circular.

Para o cálculo da perda térmica e da diminuição

correspondente de temperatura do jato de vazamento, é elaborado o

balanço energético para um elemento de massa diferencial -

Figura C.1.

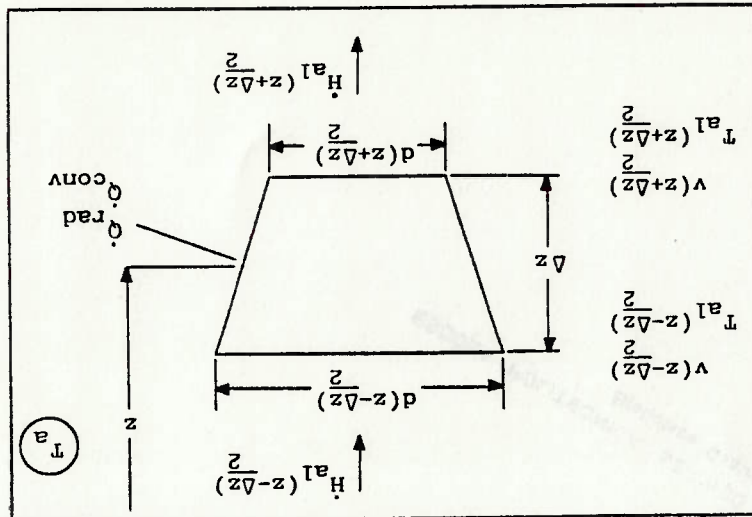


Fig. C.1 - Balanço energético para um elemento de massa de jato

de vazamento.

$$(C.1) \quad \dot{H}_{AI}(z+\Delta z/2) - \dot{H}_{AI}(z-\Delta z/2) = \dot{Q}_{RAD} + \dot{Q}_{CONV}$$

$$(C.2) \quad \dot{Q}_{RAD} = -\epsilon_{AI} \sigma A [T_{AI}(z)^4 - T_a^4]$$

$$(C.3) \quad \dot{Q}_{CONV} = -h_{AI-a} A [T_{AI}(z) - T_a]$$

$$\dot{H}_{AI}(z+\Delta z/2) - \dot{H}_{AI}(z-\Delta z/2) = \dot{m} C_{PAI} [T_{AI}(z+\Delta z/2) - T_{AI}(z-\Delta z/2)]$$

(C.4)

Com um desenvolvimento em série de Taylor, C.5 e as equações C.6 e C.7,

$$(C.5) \quad T_{AI}(z+\Delta z/2) = T_{AI}(z) + \frac{1}{1!} \frac{dT_{AI}}{dz} (\Delta z/2) + \frac{1}{2!} \frac{d^2 T_{AI}}{dz^2} (\Delta z/2)^2 + \dots$$

(C.6)

$$\dot{m} = \frac{m_{VAZ}}{m_{VAZ}} = \rho_{AI} \frac{v(z)}{d(z) z}$$

(C.7)

$$v(z) = \sqrt{2gz}$$

é obtida uma equação diferencial comum, C.8, para descrever o

curso da temperatura $T_{AI}(z)$

$$\frac{dT_{AI}}{dz} = \frac{-K \left(\frac{d_m}{d} \right)^{1/2} \pi \left[\frac{m_{CPAI}}{z} \left(\frac{dT_{AI}}{dz} \right)^4 + T_a^4 \right] + \dots}{\dots}$$

(C.8)

$$h_{AI-a} (T_{AI}(z) - T_a)$$

onde K é um fator que indica o desvio da forma do jato de

vazamento da geometria ideal circular presumida ($K > 1$).

APÊNDICE D
PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DOS MATERIAIS
UTILIZADOS NO MODELO

A seguir são apresentadas propriedades como emissividade, calor específico, condutibilidade térmica e peso específico dos materiais utilizados no modelo. Os materiais são, pela ordem, aço, revestimento refratário e escória.

1 - Aço

1.1 - Emissividade

Carga metálica da panela (superfície oxidada)

Líquido - 0.6 (refs.: 2,4,14,16)

1.2 - Calor Específico (J/kg.°C)

Sólido - 473 (ref.: 20)

Líquido - 750 (ref.: 19)

1.3 - Condutibilidade Térmica (W/m.°C)

TEMPERATURA		AÇO-CARBONO (C=1.8%)	
MATERIAL	TEMPERATURA	43	43
0 oc	1000c	320F	2120F
0 oc	1000c	3920F	5720F
0 oc	2000c	7520F	11120F
0 oc	4000c	14720F	18320F
0 oc	6000c	21920F	
0 oc	8000c		
0 oc	10000c		
0 oc	12000c		

Tab. D.1 - Variação da condutibilidade térmica com a temperatura para o aço-carbono (C = 1.0%) - Ref.: 20.

1.4 - Peso Específico (kg/m³)

Sólido - 7800 (refs.: 4,6)

Líquido - 7200 (refs.: 6,14)

2 - Tijolos Refratários

2.1 - Emissividade

TIJOLO		TEMPERATURA				
REFRATARIO	2800F	93 oc	204oc	427oc	871 oc	1093oc
	400F	800F	1600F	2000F	2400F	2800F
SILICO	0.9	(0.9)	0.81	0.76	0.72	0.68
ALUMINOSO	0.9	(0.9)	0.82	0.78	0.74	0.67
MONOLITICO	(0.9)	-	-	0.65	0.6	0.57
ALUMINA	0.9	0.85	0.79	(0.5)	--	--

- Valores entre parenteses foram obtidos por extrapolação dos dados de teste.

Tab. D.2 - Variação da emissividade com a temperatura para tijolos refratários sílico-alumínoso, monolítico e de

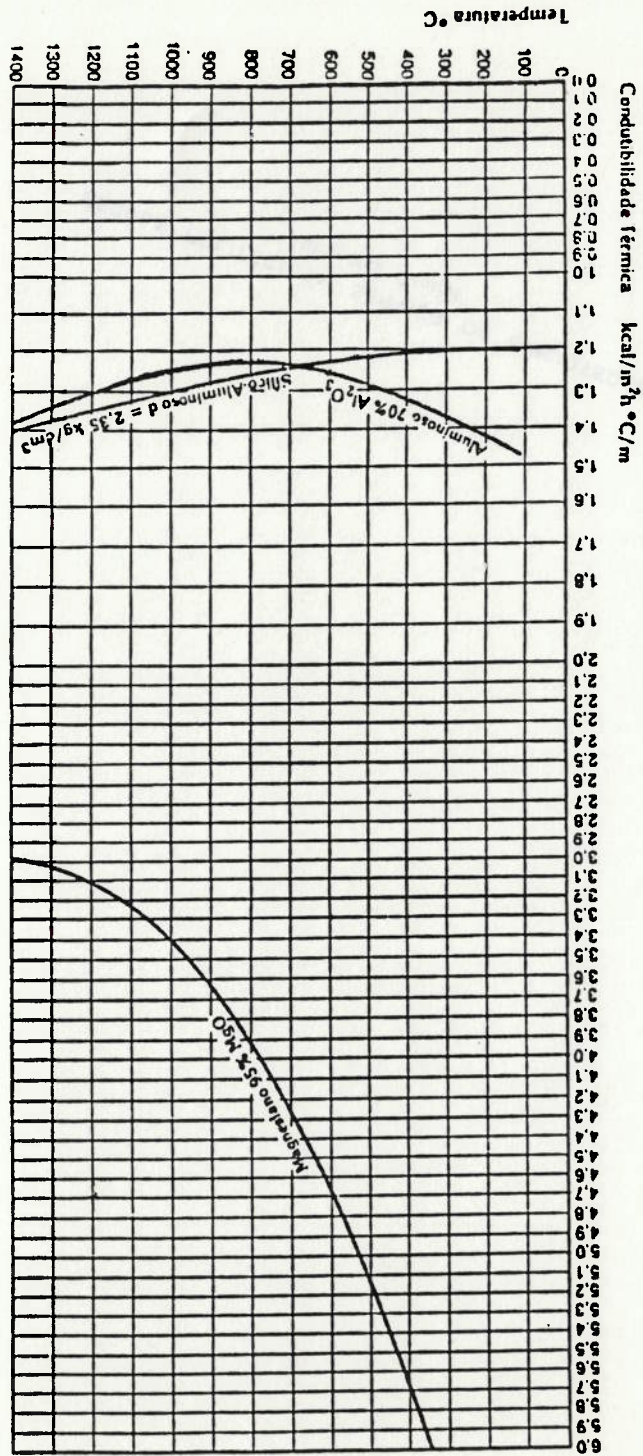
alta-alumina. Ref.: 37.

2.2 - Calor Específico (kcal/kg.°C)

TEMPERATURA		TIJOLO REFRATARIO	
oF	oc	SILICO	MONOLITICO
		ALUMINOSO	BASICO
32	0	0.193	0.169
200	93	0.199	0.188
400	204	0.206	0.211
600	316	0.212	0.229
800	427	0.220	0.238
1000	538	0.227	0.246
1200	649	0.234	0.252
1400	760	0.241	0.256
1600	871	0.248	0.260
1800	982	0.253	0.264
2000	1093	0.258	0.268
2200	1204	0.262	0.272
2400	1316	0.266	0.276
2600	1427	0.269	0.279

Tab. D.3 - Variação do calor específico com a temperatura para tijolos refratários sílico-alumínoso, monolítico e básico. Ref.: 37.

Fig. D.1 - Variação da condutibilidade térmica com a temperatura para refratários moldados magnésiano, aluminoso e sílico-aluminoso.



2.3 - Condutibilidade Térmica (kcal/m²h⁰C/m)

2.4 - Peso Específico (kg/m³)
- Silico-Alumino - 2130
Tijolo Refratário - Alta-Alumina - 2570
- Básico - 3050

3 - Escória

3.1 - Emissividade

Sólida - 0.6 (refs.: 4,6,14,16)

3.2 - Calor Específico (J/kg.°C)

Líquida - 840 (refs.: 2,6)

3.3 - Condutibilidade Térmica (W/m.°C)

Sólida - 1.72 (refs.: 6,16)

Líquida - 10.4 (refs.: 6,16)

3.4 - Peso Específico (kg/m³)

Líquida - 3800 (refs.: 4,6,14,16)

APÊNDICE E
DETERMINAÇÃO DOS FATORES DE FORMA

- LEGENDA:
- 7 - Superfície livre (fixa)
 - 16 - Camada de escória
 - 17 - Superfície descoberta pela camada de escória
 - M - Meio
 - X - Superfície fictícia

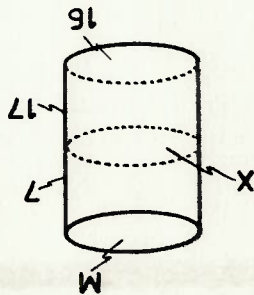


Fig. E.1 - Esquema das superfícies internas da panela para determinação das expressões de cálculo dos fatores de forma, durante a etapa de lingotamento.

(E.1) $F_{17,7} + F_{17,16} + F_{17,17} + F_{17,M} = 1$

conhecidos (tabelados) $\left\{ \begin{array}{l} F_{16,M}: F_{16,X}: F_{X,M} \\ F_{M,16}: F_{X,16}: F_{M,X} \end{array} \right.$

$F_{16,17} + F_{16,X} = 1 \rightarrow F_{16,17} = 1 - F_{16,X}$

Aplicando o teorema da reciprocidade temos,

$A_{16}F_{16,17} = A_{17}F_{17,16} \rightarrow F_{17,16} = (A_{16}/A_{17})F_{16,17} =$

(E.2) $= (A_{16}/A_{17})(1 - F_{16,X})$

$F_{M,7-17} = F_{M,7} + F_{M,17}$

$F_{M,7} + F_{M,X} = 1 \rightarrow F_{M,7} = 1 - F_{M,X}$

$F_{M,7-17} + F_{M,16} = 1 \rightarrow F_{M,7-17} = 1 - F_{M,16}$

Portanto,

$F_{M,17} = (1 - F_{M,16}) - (1 - F_{M,X}) = F_{M,X} - F_{M,16}$

$A_{M}F_{M,17} = A_{17}F_{17,M}$ (teorema da reciprocidade)

$F_{17,M} = (A_M/A_{17})F_{M,17} = (A_M/A_{17})(F_{M,X} - F_{M,16})$

(E.3)

$F_{17,17} + F_{17,X} + F_{17,16} = 1 \rightarrow F_{17,17} + 2F_{17,16} = 1$

\rightarrow

$F_{17,17} = 1 - 2F_{17,16}$

(E.4)

Substituindo (E.2), (E.3) e (E.4) na expressão (E.1):

$$F_{17,7} + F_{17,16} + (1 - 2F_{17,16}) + F_{17,M} = 1$$

$$F_{17,7} = F_{17,16} - F_{17,M}$$

Portanto,

$$F_{17,7} = (A_{16}/A_{17})(1 - F_{16,X}) - (A_M/A_{17})(F_{M,X} - F_{M,16})$$

$$A_M = A_{16}$$

$$F_{17,7} = (A_{16}/A_{17})(1 - F_{16,X} - F_{M,X} + F_{M,16})$$

(E.5)

APÊNDICE F
- CÁLCULO DAS VAZÕES DE AR E DE COMBUSTÍVEL
- PLANILHA DE DADOS DE VAZÕES

- Ar de Combustão:

Foi feita a média dos valores de ΔP e de pressão à jusante da válvula para os dois testes de aquecimento/restrição. O cálculo foi baseado na fórmula de Kv da válvula Niagara VALKRAFT 540, equivalente à válvula BULER utilizada nos testes.

1º Teste:

- Ângulo de abertura da válvula = 27.14°

- Diâmetro da válvula = 8"

- Kv = 175.5 (coeficiente de vazão)

- $\Delta P = 1046.5 \text{ mmca} \text{ }_{ef} = 0.1011 \text{ bar} \text{ }_{ef}$

- T = 313 K

- $P_2 = 60 \text{ mmca} \text{ }_{ef} = 1.0058 \text{ bar} \text{ }_{abs}$

onde,

ΔP = perda de carga

P_2 = pressão de jusante

- $\rho_N = 1.293 \text{ kg/m}^3$

Neste caso, $P_2 > P_1/2$

$$Q_N = 514 \times Kv \times \sqrt{(\Delta P \times P_2) / (\rho_N \times T)} \quad [\text{Nm}^3/\text{h}]$$

(F.1)

Os valores substituídos na expressão acima fornece:

$$Q_N = 1430 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

2º Teste:

- Ângulo de abertura da válvula = 25.63°

- Kv = 156.6

valores extraídos da planilha de dados do teste 2 (Tab.: F.2)

- $\Delta P = 1053 \text{ mmca} \rangle_{\text{ef}}$ = 0.10171 bar
- T = 313 K
- $P_2 = 40 \text{ mmca} \rangle_{\text{ef}}$ = 1.0039 bar
- $P_N = 1.293 \text{ kg/m}^3$

Substituindo-se esses valores na expressão F.1, obtêm-se:

$$Q_{N_2}^{AR} = 1278 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

- Gás de Coqueria:

O procedimento de cálculo na obtenção de valores médios de

ΔP é semelhante ao anterior, só que neste caso, a válvula montada na tubulação é uma FLUCON - série 3000 equivalente à VALDISK da Valtek e a fórmula para calcular a vazão em função do coeficiente de vazão é um pouco diferente.

1º Teste:

O método de cálculo é dado pela Valtek e apresentado no

catálogo de válvulas de controle:

- ângulo de abertura da válvula = 90°
- $\Delta P = 25 \text{ mmca} \rangle_{\text{ef}}$ = 0.0024 bar
- T = 313 K = 564°R
- $P_2 = 463 \text{ mmca} \rangle_{\text{ef}}$ = 1.0447 bar
- $P_N = 0.416 \text{ kg/m}^3$

A fórmula de cálculo da vazão é:

$$Q_N = 7320 \times F_p \times C_v \times P_1 \times Y \times \sqrt{X / (M \times T_1 \times Z)} \quad \text{(F.2)}$$

- $P_2 = 491 \text{ mmca} \text{ (abs)} = 1.0426 \text{ bar} \text{ (abs)}$
- $\Delta P = 23 \text{ mmca} \text{ (abs)} = 0.0022 \text{ bar} \text{ (abs)}$
- Angulo de abertura da válvula = 90°

2º Teste:

$$\boxed{Q_{GCO}^N = 350 \text{ Nm}^3/\text{h}}$$

$$Q_N = 13074 \text{ scfh ou,}$$

Substituindo os valores na fórmula (F.2) tem-se:

Z = fator de compressibilidade

P_{GR} = pressão crítica

P_R = pressão reduzida

onde,

$$P_R = P_1/P_{GR} = 15.39/353.4 = 0 \rightarrow Z = 1$$

$$P_1 = 1.0471 \text{ bar (abs)} = 15.39 \text{ psia (pressão de montante)}$$

$$M = 10.3 \text{ (massa molecular do GCO)}$$

$$Y = 1 - X/(3 \times F^k \times X_T) = 0.997 \text{ (fator de expansão)}$$

X = relação entre a perda de carga e a pressão de montante

k = constante adiabática do GCO

onde,

$$X = 0.0024/(1.0447 + 0.0024) = 0.0023 \text{ (} < X_T \times F^k \text{)} \quad \text{OK!}$$

$$\left. \begin{aligned} F^k &= k/1.4 = 0.96 \\ k &= (Cp/Cv) = 1.34 \end{aligned} \right\} X_T \times F^k = 0.25$$

$$X_T = 0.26 \text{ (válvula VALDISK - valor tabelado)}$$

$$Cv = 185 \text{ (coeficiente de vazão - valor tabelado)}$$

$$F_p = 1 \text{ (fator geométrico da tubulação)}$$

$$D_N = 3" \text{ (diâmetro nominal da válvula e da tubulação)}$$

$$Q_N^2 = 334 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$Q_N = 12471 \text{ scfh ou,}$$

Substituindo os valores na fórmula (E.2) tem-se:

$$Y = 1 - X / (3 \times F^K \times X^T) = 0.997$$

$$X^T \times F^K = 0.25$$

$$X = 0.0022 / (1.0448 + 0.0022) = 0.0021 \quad (< X^T \times F^K) \quad \text{OK!}$$

$$- P_1 = 1.0448 \text{ bar}^{\text{abs}} = 15.36 \text{ psia}$$

LIQUIDO UTILIZADO: Água com corante azul TESTE No.1 DATA: 23/03/88

TEMPO	AR DE COMBUSTIAO				GAS DE COQUEIRIA							
	ANGULO DE ABERTURA V-4 (GRUS)	LI (mm)	L2 (mm)	DI. PRESSAO (mmca)	ANGULO DE ABERTURA V-3 (GRUS)	LI (mm)	L2 (mm)	DI. PRESSAO (mmca)				
00:00	27.14	50	+531	-520	1051	10265	90	430	+16	-8	24	234
00:30	"	50	+530	-519	1049	10246	"	448	+16	-8	24	234
01:00												
01:30												
02:00	"	50	+524	-512	1036	10119	"	500	+16	-9	25	244
02:30												
03:00	"	60	+530	-515	1045	10207	"	495-490				
03:30												
04:00	"	60	+527	-518	1045	10207	"	495-490	+16	-9	25	244
04:30	"	60	+528	-516	1044	10197	"	490-475	+16	-8	24	234
05:00	"	60	+528	-516	1044	10197	"	490-475	+16	-8	24	234
05:30	"	60	+528	-514	1042	10177	"	485-460	+16	-8	24	234
06:00	"	60	+528	-514	1042	10177	"	480-450	+16	-9	25	244
06:30												
07:00	"	60	+529	-516	1045	10207	"	480-450	+16	-9	25	244
07:30												
08:00	"	60	+528	-515	1043	10187	"	480-450	+16	-9	25	244
08:30												
09:00	"	60	+531	-520	1051	10265	"	485-460	+16	-9	25	244
09:30												
10:00	"	60	+532	-521	1053	10285	"	490-475	+16	-9	25	244
10:30	"	60	+532	-521	1053	10285	"	485-460	+16	-9	25	244
11:00												
11:30												
12:00												

Tab. F.1 - Valores experimentais das pressões manométricas e diferenciais do ar de combustão e GCO durante o 1º Teste.

LISTAGENS DO PROGRAMA

APÊNDICE G


```

30 IF ABS(H-6) < .05 GOTO 1750
470 E=H:GOTO 1670
1750 TZERO(7)=E:1(7)=-TZERO(7)
760 FOR I=1 TO 6
770 T(1)=-1A:ET(1)=1A
780 NEXT
790 FOR I=8 TO N
800 T(1)=1A:ET(1)=1A
810 NEXT
820 GOTO 1380
830 REM
840 REM
850 REM T1=(T5E+T5I)/2
860 REM IF T1<= 50 THEN KB=.00004*TI+.027
870 REM IF T1> 50 AND T1<100 THEN KB=.00006*TI+.026
880 REM IF T1>=100 AND T1<150 THEN KB=.00006*TI+.025
890 REM
900 Q(1)=-A1*1(1)-A2*1(2)+A3*1(8)+A20*TZERO(2)
910 Q(2)=-A1C*1(1)+A2C*1(2)-B1*1(1)/100)^4+B4*(1(4)/100)^4+BG*(1(7)/100)^4+
A1C0*TZERO(1)
920 Q(3)=-A3C*1(3)+A2CLIN*1(10)-B3*(1(3)/100)^4+BGA-HSP*(1(3)-1A)^4)^.3333+
A3C0*TZERO(3)
930 Q(4)=-A4*1(4)-A5*1(5)+A6*1(12)+A50*TZERO(5)
940 Q(5)=-A4C*1(4)+A5C*1(5)-B4LIN*(1(4)/100)^4+BILIN*(1(1)/100)^4+BGLIN*
(1(7)/100)^4+A4C0*TZERO(4)
950 Q(6)=-A6C*1(6)+A5CLIN*1(13)-B6*(1(6)/100)^4+BICALIN-HST*(1(6)-1A)^4)^.333+
A6C0*TZERO(6)
960 Q(7)=-C1*(1(1)/100)^4-C4*(1(4)/100)^4+(C5+C6)*(1(7)/100)^4+CBLIN*(1(7)-1A)-
-CA
970 Q(8)=-N1*(1(2))-N3*(1(9))-N2*(1(11))-N7*(1(8)-TZERO(8))
980 Q(9)=-N1*(1(2))-N3*(1(9))-N4*(1(11))-N7*(1(8)-TZERO(9))
990 Q(10)=-N5*(1(9))-N6*(1(10))-N7*(1(10)-TZERO(10))
1000 Q(11)=-N8*(1(9))-N10*(1(10))-N11*(1(11))-N9*(1(10)-TZERO(11))
1010 Q(12)=-N8*(1(9))-N11*(1(10))-N13*(1(10)-TZERO(12))
1020 Q(13)=-N15*(1(5))-N17*(1(13))-N14*(1(16))-TZERO(13)
1030 Q(14)=-N15*(1(5))-N17*(1(13))-N16*(1(16))-N14*(1(16))-TZERO(14)
1040 Q(15)=-N15*(1(5))-N17*(1(13))-N17*(1(13))-N18*(1(13))-TZERO(15)
1050 Q(16)=-N19*(1(14))-N20*(1(14))-N21*(1(14))-TZERO(16)
1060 REM
1070 FOR I=1 TO N
1080 FOR J=1 TO N
1090 DQ(I,J)=-6
1100 NEXT
1110 NEXT
1120 DQ(1,1)=-A1
1130 DQ(1,2)=-A2
1140 DQ(1,8)=-A3
1150 REM
1160 DQ(2,1)=-A1C-4*B1/100*(1(1)/100)^3
1170 DQ(2,2)=-A2C
1180 DQ(2,4)=-4*B4/100*(1(4)/100)^3
1190 DQ(2,7)=-4*B6/100*(1(7)/100)^3
1200 REM
1210 DQ(3,10)=-A2CLIN
1220 REM IF T(3)-1A<0 THEN P=-1 ELSE P=1
1230 DQ(3,3)=-A3C-4*B3/100*(1(3)/100)^3-4/3*HSP*(1(3)-1A)^.333
1240 REM
1250 DQ(4,4)=-A4
1260 DQ(4,5)=-A5
1270 DQ(4,12)=-A6
1280 REM
1290 DQ(5,1)=-4*B1LIN/100*(1(1)/100)^3
1300 DQ(5,4)=-4*B4LIN/100*(1(4)/100)^3
1310 DQ(5,7)=-4*B6LIN/100*(1(7)/100)^3

```

```

740 DQ(6,13)=ASC(LIN
2350 REM IF (T(6)-TA)<0 THEN S=-1 ELSE S=1
2360 DQ(6,6)=-A6C-4*B6/100*(T(6)/100)^3-4/3*HST*(T(6)-(TA))^333

```

```

2370 REM
2380 DQ(7,1)=-4*C1/100*(T(1)/100)^3
2390 DQ(7,4)=-4*C4/100*(T(4)/100)^3
2400 DQ(7,7)=-4*(C6+C5)/100*(T(7)/100)^3+C6*LIN

```

```

2420 DQ(8,2)=-N1:DQ(8,11)=-N3
2430 DQ(8,8)=-N1-N2-N4:DQ(8,9)=-N3
2440 REM

```

```

2460 DQ(9,8)=-N1:DQ(9,9)=-N3-N4-N2
2470 DQ(9,11)=-N3:DQ(9,2)=-N1
2480 REM

```

```

2490 DQ(11,10)=-N10:DQ(11,3)=-N10
2500 REM

```

```

2510 DQ(10,11)=-N8:DQ(10,16)=-N10-N11-N9:DQ(10,3)=-N10
2520 DQ(10,9)=-N8
2530 REM

```

```

2540 DQ(12,12)=-N15-N18-N16
2550 DQ(12,13)=-N17
2560 DQ(12,5)=-N15:DQ(12,6)=-N17
2570 REM

```

```

2580 DQ(13,13)=-N17-N18-N16
2590 DQ(13,12)=-N15:DQ(13,6)=-N17
2600 DQ(13,5)=-N15

```

```

2610 REM
2620 REM
2630 FOR J=1 TO N

```

```

2640 DQ(J,N+1)=-Q(J)
2650 NEXT

```

```

2660 REM
2670 RETURN

```

subrotina - MATEO

```

2700 REM COMPARAÇÃO DE PIVOS COM TROCA DE LINHAS
2710 NY=N+1
2720 NX=N-1

```

```

2730 FOR L=1 TO N-1
2740 LX=L+1

```

```

2750 FOR I=LX TO N
2760 G=ABS(DQ(L,L))-ABS(DQ(1,L))

```

```

2770 IF G=0 THEN 2830
2780 FOR JX=1 TO NY

```

```

2790 TEM=DQ(L,JX)
2800 DQ(L,JX)=DQ(1,JX)
2810 DQ(1,JX)=TEM

```

```

2820 NEXT JX
2830 NEXT I

```

```

2840 REM DIVIDIR LINHA POR PIVOT
2850 PIVOT=DQ(L,L)
2860 FOR JX=1 TO NY

```

```

2870 DQ(L,JX)=DQ(L,JX)/PIVOT
2880 NEXT JX

```

```

2890 REM TRIANGULARIZAÇÃO DA MATRIZ- METODO DE GAUSS
2900 FOR I=LX TO N
2910 DIVA=DQ(1,L)

```

```

2920 FOR J=L TO NY
2930 DQ(1,J)=DQ(1,J)-DIVA*DQ(L,J)

```

```

2940 NEXT J
2950 NEXT I
2960 NEXT L
2970 DQ(N,NY)=DQ(N,NY)/DQ(N,N)
2980 DQ(N,N)=1

```


00 FOR I=1 TO N-1

3010 IX=1+1

3020 FOR K=IX TO N

3030 DIAU=DG(I,K)

3040 FOR J=K TO NY

3050 DG(I,J)=D0(I,J)-DIAU*DG(K,J)

3060 NEXT J

3070 NEXT K

3080 NEXT I

3090 RETURN

3100 REM

3110 REM

3120 LPRINT CHR\$(14) "AQUECIMENTO DE PANEAS ACIARIA 1 - COSIPA "

3130 LPRINT CHR\$(14) "CARCALHO

3140 LPRINT "-----"

3150 LPRINT "D A D O S D E E N T R A D A "

3160 LPRINT "=====

3170 LPRINT "P A R E D E "

3180 LPRINT "-----" :LPRINT

3190 LPRINT "Densidade do refratario (C)

3200 LPRINT "Densidade da chapa de ao (kg/m3)

3210 LPRINT "Calor especifico do refr. a 303K (W/kg.K) :":CP1

3220 LPRINT "Calor especifico da chapa de ao (W/kg.K) :":CP3

3230 LPRINT "Condut.termica do refratario a 303K(W/m.K)":KRP

3240 LPRINT "Condut.termica do refratario a 303K(W/m.K)":KLP

3250 LPRINT "Emissividade do refratario

3260 LPRINT "Emissividade da chapa de ao

3270 LPRINT "Espessura do refratario (mm)

3280 LPRINT "Espessura da chapa de ao (mm)

3290 LPRINT "Area da parede (m2)

3300 LPRINT "Tipo de refratario

3310 LPRINT "T A M P A "

3320 LPRINT "-----" :LPRINT

3330 LPRINT "G A S E P R O D U T O S "

3340 LPRINT "-----" :LPRINT

3350 LPRINT "Poder calorifico inferior do gas (KJ/m3)

3360 LPRINT "Densidade do gas (kg/Nm3)

3370 LPRINT "Calor especifico medio dos produtos(W/kgK)":CPMG

3380 LPRINT "Densidade media dos produtos (kg/m3)

3390 LPRINT "Emissividade dos produtos

3400 LPRINT "O U T R O S D A D O S "

3410 LPRINT "-----" :LPRINT

3420 LPRINT "Temperatura ambiente (C)

3430 LPRINT "Altura da panela (m)

3440 LPRINT "Diâmetro interno da panela (m)

3450 LPRINT "Diâmetro externo da panela (m)

3460 LPRINT "Diametro da tampa (mm)

3470 LPRINT "Tipo de refratario

3480 LPRINT "Area da tampa (m2)

3490 LPRINT "Espessura da chapa de ao (mm)

3500 LPRINT "Espessura do refratario (mm)

3510 LPRINT "Emissividade da chapa de ao

3520 LPRINT "Emissividade do refratario

3530 LPRINT "Condut.termica do refratario a 303K(W/m.K)":KRT

3540 LPRINT "Condut.termica do refratario a 303K(W/m.K)":KLT

3550 LPRINT "Calor especifico da chapa de ao (W/kg.K) :":LPE

3560 LPRINT "Calor especifico do refr. a 303K (W/kg.K) :":CP4

3570 LPRINT "Densidade da chapa de ao (kg/m3)

3580 LPRINT "Densidade do refratario (C)

3590 LPRINT "-----" :LPRINT

3600 LPRINT "T A M P A "

3610 LPRINT "-----" :LPRINT

3620 LPRINT "G A S E P R O D U T O S "

3630 LPRINT "-----" :LPRINT

3640 LPRINT "Poder calorifico inferior do gas (KJ/m3)

3650 LPRINT "Densidade do gas (kg/Nm3)

3660 LPRINT "Calor especifico medio dos produtos(W/kgK)":CPMG

3670 LPRINT "Densidade media dos produtos (kg/m3)

3680 LPRINT "Emissividade dos produtos

3690 LPRINT "O U T R O S D A D O S "

3700 LPRINT "-----" :LPRINT

3710 LPRINT "Temperatura ambiente (C)

3720 LPRINT "Altura da panela (m)

3730 LPRINT "Diâmetro interno da panela (m)

3740 LPRINT "Diâmetro externo da panela (m)

3750 LPRINT "Diametro da tampa (mm)

3760 LPRINT "Tipo de refratario

3770 LPRINT "Area da tampa (m2)

3780 LPRINT "Espessura da chapa de ao (mm)

3790 LPRINT "Espessura do refratario (mm)

3800 LPRINT "Emissividade da chapa de ao

3810 LPRINT "Emissividade do refratario

3820 LPRINT "Condut.termica do refratario a 303K(W/m.K)":KRT

3830 LPRINT "Condut.termica do refratario a 303K(W/m.K)":KLT

3840 LPRINT "Calor especifico da chapa de ao (W/kg.K) :":LPE

3850 LPRINT "Calor especifico do refr. a 303K (W/kg.K) :":CP4

3860 LPRINT "Densidade da chapa de ao (kg/m3)

3870 LPRINT "Densidade do refratario (C)

3880 LPRINT "-----" :LPRINT

3890 LPRINT "T A M P A "

3900 LPRINT "-----" :LPRINT

3910 LPRINT "G A S E P R O D U T O S "

3920 LPRINT "-----" :LPRINT

3930 LPRINT "Poder calorifico inferior do gas (KJ/m3)

3940 LPRINT "Densidade do gas (kg/Nm3)

3950 LPRINT "Calor especifico medio dos produtos(W/kgK)":CPMG

3960 LPRINT "Densidade media dos produtos (kg/m3)

3970 LPRINT "Emissividade dos produtos

3980 LPRINT "O U T R O S D A D O S "

3990 LPRINT "-----" :LPRINT

4000 LPRINT "Temperatura ambiente (C)

4010 LPRINT "Altura da panela (m)

4020 LPRINT "Diâmetro interno da panela (m)

4030 LPRINT "Diâmetro externo da panela (m)

4040 LPRINT "Diametro da tampa (mm)

4050 LPRINT "Tipo de refratario

4060 LPRINT "Area da tampa (m2)

4070 LPRINT "Espessura da chapa de ao (mm)

4080 LPRINT "Espessura do refratario (mm)

4090 LPRINT "Emissividade da chapa de ao

4100 LPRINT "Emissividade do refratario

4110 LPRINT "Condut.termica do refratario a 303K(W/m.K)":KRT

4120 LPRINT "Condut.termica do refratario a 303K(W/m.K)":KLT

4130 LPRINT "Calor especifico da chapa de ao (W/kg.K) :":LPE

4140 LPRINT "Calor especifico do refr. a 303K (W/kg.K) :":CP4

4150 LPRINT "Densidade da chapa de ao (kg/m3)

4160 LPRINT "Densidade do refratario (C)

4170 LPRINT "-----" :LPRINT

4180 LPRINT "T A M P A "

4190 LPRINT "-----" :LPRINT

4200 LPRINT "G A S E P R O D U T O S "

4210 LPRINT "-----" :LPRINT

4220 LPRINT "Poder calorifico inferior do gas (KJ/m3)

4230 LPRINT "Densidade do gas (kg/Nm3)

4240 LPRINT "Calor especifico medio dos produtos(W/kgK)":CPMG

4250 LPRINT "Densidade media dos produtos (kg/m3)

4260 LPRINT "Emissividade dos produtos

4270 LPRINT "O U T R O S D A D O S "

4280 LPRINT "-----" :LPRINT

4290 LPRINT "Temperatura ambiente (C)

4300 LPRINT "Altura da panela (m)

4310 LPRINT "Diâmetro interno da panela (m)

4320 LPRINT "Diâmetro externo da panela (m)

4330 LPRINT "Diametro da tampa (mm)

4340 LPRINT "Tipo de refratario

4350 LPRINT "Area da tampa (m2)

4360 LPRINT "Espessura da chapa de ao (mm)

4370 LPRINT "Espessura do refratario (mm)

4380 LPRINT "Emissividade da chapa de ao

4390 LPRINT "Emissividade do refratario

4400 LPRINT "Condut.termica do refratario a 303K(W/m.K)":KRT

4410 LPRINT "Condut.termica do refratario a 303K(W/m.K)":KLT

4420 LPRINT "Calor especifico da chapa de ao (W/kg.K) :":LPE

4430 LPRINT "Calor especifico do refr. a 303K (W/kg.K) :":CP4

4440 LPRINT "Densidade da chapa de ao (kg/m3)

4450 LPRINT "Densidade do refratario (C)

4460 LPRINT "-----" :LPRINT

4470 LPRINT "T A M P A "

4480 LPRINT "-----" :LPRINT

4490 LPRINT "G A S E P R O D U T O S "

4500 LPRINT "-----" :LPRINT

4510 LPRINT "Poder calorifico inferior do gas (KJ/m3)

4520 LPRINT "Densidade do gas (kg/Nm3)

4530 LPRINT "Calor especifico medio dos produtos(W/kgK)":CPMG

4540 LPRINT "Densidade media dos produtos (kg/m3)

4550 LPRINT "Emissividade dos produtos

4560 LPRINT "O U T R O S D A D O S "

4570 LPRINT "-----" :LPRINT

4580 LPRINT "Temperatura ambiente (C)

4590 LPRINT "Altura da panela (m)

4600 LPRINT "Diâmetro interno da panela (m)

4610 LPRINT "Diâmetro externo da panela (m)

4620 LPRINT "Diametro da tampa (mm)

4630 LPRINT "Tipo de refratario

4640 LPRINT "Area da tampa (m2)

4650 LPRINT "Espessura da chapa de ao (mm)

4660 LPRINT "Espessura do refratario (mm)

4670 LPRINT "Emissividade da chapa de ao

4680 LPRINT "Emissividade do refratario

4690 LPRINT "Condut.termica do refratario a 303K(W/m.K)":KRT

4700 LPRINT "Condut.termica do refratario a 303K(W/m.K)":KLT

4710 LPRINT "Calor especifico da chapa de ao (W/kg.K) :":LPE

4720 LPRINT "Calor especifico do refr. a 303K (W/kg.K) :":CP4

4730 LPRINT "Densidade da chapa de ao (kg/m3)

4740 LPRINT "Densidade do refratario (C)

4750 LPRINT "-----" :LPRINT

4760 LPRINT "T A M P A "

4770 LPRINT "-----" :LPRINT

4780 LPRINT "G A S E P R O D U T O S "

4790 LPRINT "-----" :LPRINT

4800 LPRINT "Poder calorifico inferior do gas (KJ/m3)

4810 LPRINT "Densidade do gas (kg/Nm3)

4820 LPRINT "Calor especifico medio dos produtos(W/kgK)":CPMG

4830 LPRINT "Densidade media dos produtos (kg/m3)

4840 LPRINT "Emissividade dos produtos

4850 LPRINT "O U T R O S D A D O S "

4860 LPRINT "-----" :LPRINT

4870 LPRINT "Temperatura ambiente (C)

4880 LPRINT "Altura da panela (m)

4890 LPRINT "Diâmetro interno da panela (m)

4900 LPRINT "Diâmetro externo da panela (m)

4910 LPRINT "Diametro da tampa (mm)

4920 LPRINT "Tipo de refratario

4930 LPRINT "Area da tampa (m2)

4940 LPRINT "Espessura da chapa de ao (mm)

4950 LPRINT "Espessura do refratario (mm)

4960 LPRINT "Emissividade da chapa de ao

4970 LPRINT "Emissividade do refratario

4980 LPRINT "Condut.termica do refratario a 303K(W/m.K)":KRT

4990 LPRINT "Condut.termica do refratario a 303K(W/m.K)":KLT

5000 LPRINT "Calor especifico da chapa de ao (W/kg.K) :":LPE

5010 LPRINT "Calor especifico do refr. a 303K (W/kg.K) :":CP4

5020 LPRINT "Densidade da chapa de ao (kg/m3)

5030 LPRINT "Densidade do refratario (C)

5040 LPRINT "-----" :LPRINT

5050 LPRINT "T A M P A "

5060 LPRINT "-----" :LPRINT

5070 LPRINT "G A S E P R O D U T O S "

5080 LPRINT "-----" :LPRINT

5090 LPRINT "Poder calorifico inferior do gas (KJ/m3)

5100 LPRINT "Densidade do gas (kg/Nm3)

5110 LPRINT "Calor especifico medio dos produtos(W/kgK)":CPMG

5120 LPRINT "Densidade media dos produtos (kg/m3)

5130 LPRINT "Emissividade dos produtos

5140 LPRINT "O U T R O S D A D O S "

5150 LPRINT "-----" :LPRINT

5160 LPRINT "Temperatura ambiente (C)

5170 LPRINT "Altura da panela (m)

5180 LPRINT "Diâmetro interno da panela (m)

5190 LPRINT "Diâmetro externo da panela (m)

5200 LPRINT "Diametro da tampa (mm)

5210 LPRINT "Tipo de refratario

5220 LPRINT "Area da tampa (m2)

5230 LPRINT "Espessura da chapa de ao (mm)

5240 LPRINT "Espessura do refratario (mm)

5250 LPRINT "Emissividade da chapa de ao

5260 LPRINT "Emissividade do refratario

5270 LPRINT "Condut.termica do refratario a 303K(W/m.K)":KRT

5280 LPRINT "Condut.termica do refratario a 303K(W/m.K)":KLT

5290 LPRINT "Calor especifico da chapa de ao (W/kg.K) :":LPE

5300 LPRINT "Calor especifico do refr. a 303K (W/kg.K) :":CP4

5310 LPRINT "Densidade da chapa de ao (kg/m3)

5320 LPRINT "Densidade do refratario (C)

5330 LPRINT "-----" :LPRINT

5340 LPRINT "T A M P A "

5350 LPRINT "-----" :LPRINT

5360 LPRINT "G A S E P R O D U T O S "

5370 LPRINT "-----" :LPRINT

5380 LPRINT "Poder calorifico inferior do gas (KJ/m3)

5390 LPRINT "Densidade do gas (kg/Nm3)

5400 LPRINT "Calor especifico medio dos produtos(W/kgK)":CPMG

5410 LPRINT "Densidade media dos produtos (kg/m3)

5420 LPRINT "Emissividade dos produtos

5430 LPRINT "O U T R O S D A D O S "

5440 LPRINT "-----" :LPRINT

5450 LPRINT "Temperatura ambiente (C)

5460 LPRINT "Altura da panela (m)

5470 LPRINT "Diâmetro interno da panela (m)

5480 LPRINT "Diâmetro externo da panela (m)

5490 LPRINT "Diametro da tampa (mm)

5500 LPRINT "Tipo de refratario

5510 LPRINT "

160 REM LPRINT CHR\$(14) "=====";WIDTH LPRINT 134

150 REM LPRINT "Potencia do queimador ="

140 REM LPRINT USING "#####";P01*.8598,

130 REM LPRINT " [kcal/h]"

120 REM LPRINT "Vazao de gas ="

110 REM LPRINT USING "#####";NPONTO/ROG*3600,

100 REM LPRINT " [Nm3/h]"

90 REM LPRINT "Espaco panela/tampa =";LPRINT USING "##";FS*1000;.LPRINT

80 REM LPRINT " [mm]"

70 REM LPRINT "Vazao de ar (";EXC*100;"% excesso) =";LPRINT USING "#####";MP

60 REM LPRINT " [Nm3/h]"

50 REM LPRINT "Retratarlo de trabalho =";C3

40 REM LPRINT " IF T(>) GOTO 3910

380 REM LPRINT:LPRINT:LPRINT

380 REM 1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234

3850 REM LPRINT "TEMP";TEMP

3860 REM LPRINT " DO

3870 REM LPRINT " INT

3880 REM LPRINT " MEIO

3890 REM LPRINT " RAD

3900 REM LPRINT " EXT

3910 REM LPRINT " TAMP

3920 REM LPRINT " TAMP

3930 REM LPRINT " TAMP

3940 REM LPRINT " TAMP

3950 REM LPRINT " TAMP

3960 REM LPRINT " TAMP

3970 REM LPRINT " TAMP

3980 REM LPRINT " TAMP

3990 REM LPRINT " TAMP

4000 REM LPRINT " TAMP

4010 REM LPRINT " TAMP

4020 REM LPRINT " TAMP

4030 REM LPRINT " TAMP

4040 REM LPRINT " TAMP

4050 REM LPRINT " TAMP

4060 REM LPRINT " TAMP

4070 REM LPRINT " TAMP

4080 REM LPRINT " TAMP

4090 REM LPRINT " TAMP

4100 REM LPRINT " TAMP

4110 REM LPRINT " TAMP

4120 REM LPRINT " TAMP

4130 REM LPRINT " TAMP

4140 REM LPRINT " TAMP

4150 REM LPRINT " TAMP

4160 REM LPRINT " TAMP

4170 REM LPRINT " TAMP

4180 REM LPRINT " TAMP

4190 REM LPRINT " TAMP

4200 REM LPRINT " TAMP

4210 REM LPRINT " TAMP

4220 REM LPRINT " TAMP

4230 REM LPRINT " TAMP

4240 REM LPRINT " TAMP

4250 REM LPRINT " TAMP

4260 REM LPRINT " TAMP

4270 REM LPRINT " TAMP

4280 REM LPRINT " TAMP

4290 REM LPRINT " TAMP

4300 REM LPRINT " TAMP

4310 REM LPRINT " TAMP

4320 REM LPRINT " TAMP

4330 REM LPRINT " TAMP

4340 REM LPRINT " TAMP

4350 REM LPRINT " TAMP

4360 REM LPRINT " TAMP

4370 REM LPRINT " TAMP

4380 REM LPRINT " TAMP

4390 REM LPRINT " TAMP

4400 REM LPRINT " TAMP

4410 REM LPRINT " TAMP

4420 REM LPRINT " TAMP

4430 REM LPRINT " TAMP

4440 REM LPRINT " TAMP

4450 REM LPRINT " TAMP

4460 REM LPRINT " TAMP

4470 REM LPRINT " TAMP

4480 REM LPRINT " TAMP

4490 REM LPRINT " TAMP

4500 REM LPRINT " TAMP

4510 REM LPRINT " TAMP

4520 REM LPRINT " TAMP

4530 REM LPRINT " TAMP

4540 REM LPRINT " TAMP

4550 REM LPRINT " TAMP

4560 REM LPRINT " TAMP

4570 REM LPRINT " TAMP

4580 REM LPRINT " TAMP

4590 REM LPRINT " TAMP

4600 REM LPRINT " TAMP

4610 REM LPRINT " TAMP

4620 REM LPRINT " TAMP

4630 REM LPRINT " TAMP

4640 REM LPRINT " TAMP

4650 REM LPRINT " TAMP

4660 REM LPRINT " TAMP

4670 REM LPRINT " TAMP

4680 REM LPRINT " TAMP

4690 REM LPRINT " TAMP

4700 REM LPRINT " TAMP

4710 REM LPRINT " TAMP

4720 REM LPRINT " TAMP

4730 REM LPRINT " TAMP

4740 REM LPRINT " TAMP

4750 REM LPRINT " TAMP

4760 REM LPRINT " TAMP

4770 REM LPRINT " TAMP

4780 REM LPRINT " TAMP

4790 REM LPRINT " TAMP

4800 REM LPRINT " TAMP

4810 REM LPRINT " TAMP

4820 REM LPRINT " TAMP

4830 REM LPRINT " TAMP

4840 REM LPRINT " TAMP

4850 REM LPRINT " TAMP

4860 REM LPRINT " TAMP

4870 REM LPRINT " TAMP

4880 REM LPRINT " TAMP

4890 REM LPRINT " TAMP

4900 REM LPRINT " TAMP

4910 REM LPRINT " TAMP

4920 REM LPRINT " TAMP

4930 REM LPRINT " TAMP

4940 REM LPRINT " TAMP

4950 REM LPRINT " TAMP

4960 REM LPRINT " TAMP

4970 REM LPRINT " TAMP

4980 REM LPRINT " TAMP

4990 REM LPRINT " TAMP

5000 REM LPRINT " TAMP

5010 REM LPRINT " TAMP

5020 REM LPRINT " TAMP

5030 REM LPRINT " TAMP

5040 REM LPRINT " TAMP

5050 REM LPRINT " TAMP

5060 REM LPRINT " TAMP

5070 REM LPRINT " TAMP

5080 REM LPRINT " TAMP

5090 REM LPRINT " TAMP

5100 REM LPRINT " TAMP

5110 REM LPRINT " TAMP

5120 REM LPRINT " TAMP

5130 REM LPRINT " TAMP

5140 REM LPRINT " TAMP

5150 REM LPRINT " TAMP

5160 REM LPRINT " TAMP

5170 REM LPRINT " TAMP

5180 REM LPRINT " TAMP

5190 REM LPRINT " TAMP

5200 REM LPRINT " TAMP

5210 REM LPRINT " TAMP

5220 REM LPRINT " TAMP

5230 REM LPRINT " TAMP

5240 REM LPRINT " TAMP

5250 REM LPRINT " TAMP

5260 REM LPRINT " TAMP

5270 REM LPRINT " TAMP

5280 REM LPRINT " TAMP

5290 REM LPRINT " TAMP

5300 REM LPRINT " TAMP

5310 REM LPRINT " TAMP

5320 REM LPRINT " TAMP

5330 REM LPRINT " TAMP

5340 REM LPRINT " TAMP

5350 REM LPRINT " TAMP

5360 REM LPRINT " TAMP

5370 REM LPRINT " TAMP

5380 REM LPRINT " TAMP

5390 REM LPRINT " TAMP

5400 REM LPRINT " TAMP

5410 REM LPRINT " TAMP

5420 REM LPRINT " TAMP

5430 REM LPRINT " TAMP

5440 REM LPRINT " TAMP

5450 REM LPRINT " TAMP

5460 REM LPRINT " TAMP

5470 REM LPRINT " TAMP

5480 REM LPRINT " TAMP

5490 REM LPRINT " TAMP

5500 REM LPRINT " TAMP

5510 REM LPRINT " TAMP

5520 REM LPRINT " TAMP

5530 REM LPRINT " TAMP

5540 REM LPRINT " TAMP

5550 REM LPRINT " TAMP

5560 REM LPRINT " TAMP

5570 REM LPRINT " TAMP

5580 REM LPRINT " TAMP

5590 REM LPRINT " TAMP

5600 REM LPRINT " TAMP

5610 REM LPRINT " TAMP

5620 REM LPRINT " TAMP

5630 REM LPRINT " TAMP

5640 REM LPRINT " TAMP

5650 REM LPRINT " TAMP

5660 REM LPRINT " TAMP

5670 REM LPRINT " TAMP

5680 REM LPRINT " TAMP

5690 REM LPRINT " TAMP

5700 REM LPRINT " TAMP

5710 REM LPRINT " TAMP

5720 REM LPRINT " TAMP

5730 REM LPRINT " TAMP

5740 REM LPRINT " TAMP

5750 REM LPRINT " TAMP

5760 REM LPRINT " TAMP

5770 REM LPRINT " TAMP

5780 REM LPRINT " TAMP

5790 REM LPRINT " TAMP

5800 REM LPRINT " TAMP

5810 REM LPRINT " TAMP

5820 REM LPRINT " TAMP

5830 REM LPRINT " TAMP

5840 REM LPRINT " TAMP

5850 REM LPRINT " TAMP

5860 REM LPRINT " TAMP

5870 REM LPRINT " TAMP

5880 REM LPRINT " TAMP

5890 REM LPRINT " TAMP

5900 REM LPRINT " TAMP

5910 REM LPRINT " TAMP

5920 REM LPRINT " TAMP

5930 REM LPRINT " TAMP

5940 REM LPRINT " TAMP

5950 REM LPRINT " TAMP

5960 REM LPRINT " TAMP

5970 REM LPRINT " TAMP

5980 REM LPRINT " TAMP

5990 REM LPRINT " TAMP

6000 REM LPRINT " TAMP

6010 REM LPRINT " TAMP

6020 REM LPRINT " TAMP

6030 REM LPRINT " TAMP

6040 REM LPRINT " TAMP

6050 REM LPRINT " TAMP

6060 REM LPRINT " TAMP

6070 REM LPRINT " TAMP

6080 REM LPRINT " TAMP

6090 REM LPRINT " TAMP

6100 REM LPRINT " TAMP

6110 REM LPRINT " TAMP

6120 REM LPRINT " TAMP

6130 REM LPRINT " TAMP

6140 REM LPRINT " TAMP

6150 REM LPRINT " TAMP

6160 REM LPRINT " TAMP

6170 REM LPRINT " TAMP

6180 REM LPRINT " TAMP

6190 REM LPRINT " TAMP

6200 REM LPRINT " TAMP

6210 REM LPRINT " TAMP

6220 REM LPRINT " TAMP

6230 REM LPRINT " TAMP

6240 REM LPRINT " TAMP

6250 REM LPRINT " TAMP

6260 REM LPRINT " TAMP

6270 REM LPRINT " TAMP

6280 REM LPRINT " TAMP

6290 REM LPRINT " TAMP

6300 REM LPRINT " TAMP

6310 REM LPRINT " TAMP

6320 REM LPRINT " TAMP

6330 REM LPRINT " TAMP

6340 REM LPRINT " TAMP

6350 REM LPRINT " TAMP

6360 REM LPRINT " TAMP

6370 REM LPRINT " TAMP

6380 REM LPRINT " TAMP

6390 REM LPRINT " TAMP

6400 REM LPRINT " TAMP

6410 REM LPRINT " TAMP

6420 REM LPRINT " TAMP

6430 REM LPRINT " TAMP

6440 REM LPRINT " TAMP

6450 REM LPRINT " TAMP

6460 REM LPRINT " TAMP

6470 REM LPRINT " TAMP

6480 REM LPRINT " TAMP

6490 REM LPRINT " TAMP

6500 REM LPRINT " TAMP

6510 REM LPRINT " TAMP

6520 REM LPRINT " TAMP

6530 REM LPRINT " TAMP

6540 REM LPRINT " TAMP

6550 REM LPRINT " TAMP

6560 REM LPRINT " TAMP

6570 REM LPRINT " TAMP

6580 REM LPRINT " TAMP

6590 REM LPRINT " TAMP

6600 REM LPRINT " TAMP

6610 REM LPRINT " TAMP

6620 REM LPRINT " TAMP

6630 REM LPRINT " TAMP

6640 REM LPRINT " TAMP


```

4340 T(7)=923
4250 REM (REVESTIMENTO FIXO)
4260 RORF=2306:TM(11)=(1(9)+1(11))/2
4270 IF K(6)<=673 THEN K(6)=1.2*1.1628
4280 IF K(6)>673 THEN K(6)=-1.064+1.9167E-04*TM(11)
4290 CP(6)=793.696+7.150001E-02*TM(11)
4300 REM CP(7)=793.696+7.150001E-02*TM(12)
4310 REM (REVEST. TRABALHO SILICO/ALUMINOSO)
4320 TM(1)=(1(1)+1(2))/2:TM(2)=(1(2)+1(8))/2:TM(4)=(1(4)+1(5))/2:TM(5)=(1(5)+
1(12))/2
830 IF C5=ES OR C5=FS GOTO 4400
4340 RORT=2300
4350 FOR J=1 TO 5
4360 CP(J)=793.696+7.150001E-02*TM(J)
4370 REM COPIAR EXPRESSAO ALIMA
4380 NEXT J
4390 GOTO 4480
4400 IF C5<=ES GOTO 4600
4410 REM (REVEST. TRABALHO BASICO)
4420 RORT=3050
4430 FOR J=1 TO 5
4440 CP(J)=837.8224+.07471*TM(J)
4450 IF TM(J)<=923 THEN K(J)=5.0398-.0026*TM(J)
4460 IF TM(J)>923 THEN K(J)=4.03585-.00145*TM(J)
4470 NEXT J
4480 REM (CHAPA DE ACO)
4490 TM(6)=(1(10)+1(3))/2:TM(9)=(1(13)+1(6))/2
4500 ROR=7803
4510 FOR J=1 TO 5
4520 CPA(J)=473:KPA(J)=47.2867-.014536*TM(J)+5)
4530 NEXT J
4540 REM (BAS)
4550 CPH20=(34.19*(1(7)/100-1/100)-43.868/1.25*(1(7)/100)^1.25-(1/100)^1.25)
4560 CPH20=(34.19*(1(7)/100-1/100)+.2967/1.5*(1(7)/100)^1.5-(1/100)^1.5)
4570 CPH20=(9.3855*(1(7)/100-1/100)+122.56/1.5*(1(7)/100)^1.5-(1/100)^1.5)
4580 CPH20=(9.3855*(1(7)/100-1/100)^-1-(1/100)^-2-(1/100)^-2)
4590 RETURN
4600 RORT=2570
4610 FOR J=1 TO 5
4620 IF TM(J)<473 THEN K(J)=1.36*1.1628
4630 IF TM(J)>473 OR TM(J)<=973 THEN K(J)=1.5489-.000375*(TM(J)-273)*1.1628
4640 IF TM(J)>973 OR TM(J)<=1173 THEN K(J)=1.3*1.1628
4650 IF TM(J)>1173 THEN K(J)=-.981428+3.1428E-04*(TM(J)-273)*1.1628
4660 CP(J)=793.696+7.150001E-02*TM(J)
4670 NEXT J
4680 GOTO 4480
4690 REM
4700 REM EMISSIVIDADES DA PAREDE INTERNA (EMRP) E DA TAMPA DA PANELA (EMR1)
4710 REM
4720 IF I<=1 TO 16
4730 FOR I=1 TO 16
4740 T(1)=TZERO(1)
4750 NEXT I
4760 IF T(1)<700 THEN EMRP=.85:GOTO 4790
4770 IF T(1)>700 AND T(1)<=800 THEN EMRP=(T(1)-700)*(1-4-.79)/100+.79:GOTO 4790
4780 IF T(1)>=800 THEN EMRP=.3
4790 IF T(4)<700 THEN EMRP=.85:GOTO 4820
4800 IF T(4)>700 AND T(4)<=800 THEN EMRP=(T(4)-700)*(1-4-.79)/100+.79:GOTO 4820
4810 IF T(4)>=800 THEN EMRP=.3

```



```

DEPDBL T,0,D,E
DIM TR(11),CP(11),K(11),KA(11),CPA(11),DE(15),B(15),Z(15),ET(15)
DIM TML(11),CPL(11),KL(11),KAL(11),CPAL(11),A(15),B(15),D(15),BETA(15),CPS(15)
,H(15)
INPUT "NOME DO ARQUIVO";P5
REM
DADOS DE ENTRADA
OPEN "0",1,P5
GOSUB 310
1=0
REM
CALCULO DOS FATORES DE FORMA
REM
GOSUB 1080
10 REM
CALCULO DOS COEFICIENTES 1
GOSUB 900
30 IF 1=0 GOTO 2910
40 REM
CHUTE - ARMAZENA
50 IF 1>D1 THEN GOSUB 840
60 REM
CALCULO DE T! PELO METODO DE NEWTON RAPHSON
70 GOTO 1360
80 REM
IMPRESSAO
90 GOTO 3190
100 T=1+D1
110 IF 1=TIVAZ+D1 THEN GOSUB 3930
120 PRINT "TZERO(12)=-";TZERO(12)-273
130 PRINT "TZERO(13)=-";TZERO(13)-273
140 PRINT "TZERO(14)=-";TZERO(14)-273
150 PRINT "TZERO(15)=-";TZERO(15)-273
160 IF FHE=0 THEN 280
170 Z-Z0+1300000i/TIVAZ/ROAL/AR*1
180 IF 1=(TIOTAL GOTO 90
190 CLOSE (1)
200 END
210 REM
subrotina - DADOS DE ENTRADA
220 REM
REM TEMPERATURAS FINAIS DO TRANSPORTE DA PANELA VAZIA EM GRAUS CENTIGRADOS
230 FOR I = 1 TO 5
240 PRINT "TZERO(";PRINT I";PRINT ") = ";INPUT TZERO(I)
250 NEXT I
260 REM TZERO(1)=644.49;TZERO(2)=846.81;TZERO(3)=895.79;TZERO(4)=294.18;
TZERO(5)=290.62
270 TZERO(7)=TZERO(1)
280 TZERO(8)=TZERO(2)
290 TZERO(9)=TZERO(3)
300 TZERO(10)=TZERO(4)
310 TZERO(11)=TZERO(5)
320 FOR I=1 TO 5
330 TZERO(1)+273;1(1)=TZERO(1);TZERO(1)+6)=TZERO(1)+273;1(1+6)=TZERO(1)
340 ET(1)=TZERO(1);ET(1+6)=TZERO(1+6)
350 NEXT I
360 DI=2.976
370 ERPI=100.5/1000
380 INPUT "ESPESURA DA CAMADA DE ESCORRIMENTO" = ";XES;XES=XES/1000
390 DI=30
400 TIVAZ=5.5*60
410 T121=70*60
420 IMET=1*60
430 IFMET=3*60
440 I18A=7.5*60
450 I18A=38.5*60
460 IEP=1660+273
470 CADIS=19675033.65#
480 CADIS2=1389886.43#
490 REM
500 DATA 0.114,0.028,0.9
(PARTE)-----

```

```

90 REM -----(ESCORIA)-----
640 DATA 10.4,5E-05,5.3500,840,6,1723,1.715,195,28.35
50 READ KEL,REL,VDEL,KOEL,CPEL,EMES,ILE,KES,DH,HESA
30 REM -----(ACO LIQUIDO)-----
470 DATA 7200,6.750,6E-03,17,1E-04
580 READ ROAL,EMAL,CPAL,VDAL,KAL,BETAL
90 REM -----(OUTROS DADOS)-----
790 DATA 303,3.445,9.81,11,08,100,5.669E-08,3.1415927
810 READ TA,HP,GV,N,EPS,11MAX,SGM,P1
720 TOTAL=TTVAZ+TT2T
80 DZ=2*XES/4
740 AB=3.1416*DI^2/4
750 TZERO(6)=TEP-8:T(6)=TZKO(6):ET(6)=T(6)
80 PRINT "TIPO DE REVESTIMENTO = SILICO-ALUMINOSO - (SA)"
720 PRINT " ALTA-ALUMINA"
80 PRINT " BASTCO"
780 PRINT " - (B)"
80 CS="AA"
90 DS="SA" : ES="AA" : FS="B"
810 DR1=ERP1/2:DRF=EKPF/2:DRB=ECF/2
920 PR=CPAL*VDAL/KAL
80 RETURN
940 REM subrotina - CHUTE-AKMAZENA
950 REM
960 FOR J=1 TO N
970 T(1)=2*(1)-ET(1)
980 NEXT
990 RETURN
80 REM
810 subrotina - COEFICIENTES
820 REM
830 REM CALCULO DAS PROPRIEDADES VARIAVEIS
840 GOSUB 3410
850 A1=K(1)/DRT*AM
860 A2=A1:A1C0=KORT*CP(1)/2/D1*DRT*AM:A1C=A2C+A1C0:HCV=HCONV*AM
870 A3=K(2)/DRT*AM:A20=RORT*(CP(1)+CP(2))/2*DRT/D1*AM:A2=A1+A3+A20
880 N1=K(2)*AM/DRT:N2=RORT*CP(2)*DRI*AM/2/D1:N3=K(6)/DRF/2*AM:N4=RORT*CP(6)*DRF*AM/D1
890 N8=K(6)*AM/DRF/2:N9=RORT*CP(6)*DRF*AM/D1:N5=K(1)*AM/DKA/2:N13=R0A*CPA(1)*DAM/D1
900 A2CLIN=KA(1)/DRA/2*AM:A3C0=K0A*CPA(1)*DRA/D1*AM:A3C=A2CLIN+A3C0:HSP=.95*AM:B
910 LA=SGM*EMAP*AM*TA^4:B3=AM*SGM*EMAP
920 CXE=CPAL*300001/TTVAZ:EX2=ROAL*CPAL/D1:B6=SGM*EMAL*AB*F6H
930 A1L=KL(1)/ORT*AM
940 A2L=A1L:A1C0L=ROKT*CP(1)/2/D1*DRT*AML:A3C=A2CL+A1C0L:B713=SGM*AML*F6*EM
950 A2L=K(2)/DRT*AML:A20L=KOKI*(CP(1)+CP(2))/2*DRT/D1*AML:A2L=A1L+A3L+A20L
960 N1L=KL(2)*AML/DRT:N2L=RORT*CP(2)*DRT*AML/2/D1:N3L=KL(6)/DRF/2*AML:N4L=RORT*CP(6)*DRF*AML/D1
970 A2CLINL=KAL(1)/DRA/2*AML:A3C0L=K0A*CPAL(1)*DRA/D1*AML:A3CL=A2CLINL+A3C0L:HS
980 A2CLINL=B3AL=SGM*EMAP*AML*TA^4:B3L=AML*SGM*EMAP
990 RETURN
80 REM
810 subrotina - FATORES DE FORMA
820 REM
830 REM
840 REM
850 AM=AB+3.1416*DI*Z
860 VALI00=VALI01
870 VALI01=3.1416*DI^2/4*Z
880 IF 1>TTVAZ THEN AML=3.1416*DI*(HP-2*XES-Z):G010 3980
890 AML=3.1416*DI*(HP-Z)
900 R=DI/2*(HP-Z)
910 FM=1+(1/(2*R))*(1/R-S0K(4+1/R^2))
920 F67=1-F6H
930 F7M=AB/AML*(1-F6H)
940 F76=1-F7M
950 K7=(1-EMAF)/(EMAF*AML)

```



```

1220 R76=1/(AHL*F76)
1230 R7A=1/(AHL*F7H)
140 R6A=1/(AB*F6H)
150 AH1=1/R7+1/R/6+1/R/A
160 AH2=1/R/6
170 AH3=SGM*(T(7)^4/R/7+T(A^4/R/7A)
180 BH1=1/R/6
190 BH2=1/R6+1/R76+1/R6A
200 BH3=SGM*(T(6)^4/R6+T(A^4/R6A)=BBH3=SGM*(T(15)^4/R6+T(A^4/R6A)
210 J6=-(AH1*BH3+AH3*BH1)/(AH2*BH1-AH1*BH2):J15=-(AH1*BBH3+AH3*BH1)/(AH2*BH1-AH1*BH2)
220 J7=(AH2*J6+AH3)/AH1:J17=(AH2*J15+AH3)/AH1
230 REM ** COMO AS EMISSIVIDADES DA ESCORIA SOLIDA E DO ACO LEUDDO SAO IGUAIS
240 REM ** AS RESISTENCIAS ACIMA NAO PRECISARAO SER RECALCULADAS...
250 RETURN
260 REM
270 subrotina - NEWTON KAPHSON
280 REM
290 JJ=1
300 REM
310 JJ=1
320 ERROR=0
330 PRINT JJ
340 REM
350 GOSUB 1610
360 REM
370 MATEO
380 GOSUB 2490
390 FOR J=1 TO N
400 ERROR=ERROR+ABS(Q(J))
410 NEXT
420 IF ABS(ERROR)>EPS GOTO 1550
430 IND=1/DT
440 FOR J=1 TO N
450 ET(J)=TZERO(J)
460 TZERO(J)=1(J)
470 NEXT
480 GOTO 180
490 PAS=1/2:GOTO 1560
500 FOR J=1 TO N
510 T(J)=T(J)+DQ(J,N+1)*PAS
520 NEXT
530 IF JJ<JTMX THEN JJ=JJ+1:GOTO 1390
540 PRINT "NAO CONVERGIU - ERROR=";ERROR;"T1=";T1;"T2=";T2;"T3=";T3;"T4=";T4;"T5=";T5;"T6=";T6;"T7=";T7;"T8=";T8;"T9=";T9;"T10=";T10;"T11=";T11
550 =;T11);"T12=";T12);"T13=";T13);"T14=";T14);"T15=";T15);"T16=";T16);"T17=";T17);"T18=";T18);"T19=";T19);"T20=";T20);"T21=";T21);"T22=";T22);"T23=";T23);"T24=";T24);"T25=";T25);"T26=";T26);"T27=";T27);"T28=";T28);"T29=";T29);"T30=";T30);"T31=";T31);"T32=";T32);"T33=";T33);"T34=";T34);"T35=";T35);"T36=";T36);"T37=";T37);"T38=";T38);"T39=";T39);"T40=";T40);"T41=";T41);"T42=";T42);"T43=";T43);"T44=";T44);"T45=";T45);"T46=";T46);"T47=";T47);"T48=";T48);"T49=";T49);"T50=";T50);"T51=";T51);"T52=";T52);"T53=";T53);"T54=";T54);"T55=";T55);"T56=";T56);"T57=";T57);"T58=";T58);"T59=";T59);"T60=";T60);"T61=";T61);"T62=";T62);"T63=";T63);"T64=";T64);"T65=";T65);"T66=";T66);"T67=";T67);"T68=";T68);"T69=";T69);"T70=";T70);"T71=";T71);"T72=";T72);"T73=";T73);"T74=";T74);"T75=";T75);"T76=";T76);"T77=";T77);"T78=";T78);"T79=";T79);"T80=";T80);"T81=";T81);"T82=";T82);"T83=";T83);"T84=";T84);"T85=";T85);"T86=";T86);"T87=";T87);"T88=";T88);"T89=";T89);"T90=";T90);"T91=";T91);"T92=";T92);"T93=";T93);"T94=";T94);"T95=";T95);"T96=";T96);"T97=";T97);"T98=";T98);"T99=";T99);"T100=";T100);"T101=";T101);"T102=";T102);"T103=";T103);"T104=";T104);"T105=";T105);"T106=";T106);"T107=";T107);"T108=";T108);"T109=";T109);"T110=";T110);"T111=";T111);"T112=";T112);"T113=";T113);"T114=";T114);"T115=";T115);"T116=";T116);"T117=";T117);"T118=";T118);"T119=";T119);"T120=";T120);"T121=";T121);"T122=";T122);"T123=";T123);"T124=";T124);"T125=";T125);"T126=";T126);"T127=";T127);"T128=";T128);"T129=";T129);"T130=";T130);"T131=";T131);"T132=";T132);"T133=";T133);"T134=";T134);"T135=";T135);"T136=";T136);"T137=";T137);"T138=";T138);"T139=";T139);"T140=";T140);"T141=";T141);"T142=";T142);"T143=";T143);"T144=";T144);"T145=";T145);"T146=";T146);"T147=";T147);"T148=";T148);"T149=";T149);"T150=";T150);"T151=";T151);"T152=";T152);"T153=";T153);"T154=";T154);"T155=";T155);"T156=";T156);"T157=";T157);"T158=";T158);"T159=";T159);"T160=";T160);"T161=";T161);"T162=";T162);"T163=";T163);"T164=";T164);"T165=";T165);"T166=";T166);"T167=";T167);"T168=";T168);"T169=";T169);"T170=";T170);"T171=";T171);"T172=";T172);"T173=";T173);"T174=";T174);"T175=";T175);"T176=";T176);"T177=";T177);"T178=";T178);"T179=";T179);"T180=";T180);"T181=";T181);"T182=";T182);"T183=";T183);"T184=";T184);"T185=";T185);"T186=";T186);"T187=";T187);"T188=";T188);"T189=";T189);"T190=";T190);"T191=";T191);"T192=";T192);"T193=";T193);"T194=";T194);"T195=";T195);"T196=";T196);"T197=";T197);"T198=";T198);"T199=";T199);"T200=";T200);"T201=";T201);"T202=";T202);"T203=";T203);"T204=";T204);"T205=";T205);"T206=";T206);"T207=";T207);"T208=";T208);"T209=";T209);"T210=";T210);"T211=";T211);"T212=";T212);"T213=";T213);"T214=";T214);"T215=";T215);"T216=";T216);"T217=";T217);"T218=";T218);"T219=";T219);"T220=";T220);"T221=";T221);"T222=";T222);"T223=";T223);"T224=";T224);"T225=";T225);"T226=";T226);"T227=";T227);"T228=";T228);"T229=";T229);"T230=";T230);"T231=";T231);"T232=";T232);"T233=";T233);"T234=";T234);"T235=";T235);"T236=";T236);"T237=";T237);"T238=";T238);"T239=";T239);"T240=";T240);"T241=";T241);"T242=";T242);"T243=";T243);"T244=";T244);"T245=";T245);"T246=";T246);"T247=";T247);"T248=";T248);"T249=";T249);"T250=";T250);"T251=";T251);"T252=";T252);"T253=";T253);"T254=";T254);"T255=";T255);"T256=";T256);"T257=";T257);"T258=";T258);"T259=";T259);"T260=";T260);"T261=";T261);"T262=";T262);"T263=";T263);"T264=";T264);"T265=";T265);"T266=";T266);"T267=";T267);"T268=";T268);"T269=";T269);"T270=";T270);"T271=";T271);"T272=";T272);"T273=";T273);"T274=";T274);"T275=";T275);"T276=";T276);"T277=";T277);"T278=";T278);"T279=";T279);"T280=";T280);"T281=";T281);"T282=";T282);"T283=";T283);"T284=";T284);"T285=";T285);"T286=";T286);"T287=";T287);"T288=";T288);"T289=";T289);"T290=";T290);"T291=";T291);"T292=";T292);"T293=";T293);"T294=";T294);"T295=";T295);"T296=";T296);"T297=";T297);"T298=";T298);"T299=";T299);"T300=";T300);"T301=";T301);"T302=";T302);"T303=";T303);"T304=";T304);"T305=";T305);"T306=";T306);"T307=";T307);"T308=";T308);"T309=";T309);"T310=";T310);"T311=";T311);"T312=";T312);"T313=";T313);"T314=";T314);"T315=";T315);"T316=";T316);"T317=";T317);"T318=";T318);"T319=";T319);"T320=";T320);"T321=";T321);"T322=";T322);"T323=";T323);"T324=";T324);"T325=";T325);"T326=";T326);"T327=";T327);"T328=";T328);"T329=";T329);"T330=";T330);"T331=";T331);"T332=";T332);"T333=";T333);"T334=";T334);"T335=";T335);"T336=";T336);"T337=";T337);"T338=";T338);"T339=";T339);"T340=";T340);"T341=";T341);"T342=";T342);"T343=";T343);"T344=";T344);"T345=";T345);"T346=";T346);"T347=";T347);"T348=";T348);"T349=";T349);"T350=";T350);"T351=";T351);"T352=";T352);"T353=";T353);"T354=";T354);"T355=";T355);"T356=";T356);"T357=";T357);"T358=";T358);"T359=";T359);"T360=";T360);"T361=";T361);"T362=";T362);"T363=";T363);"T364=";T364);"T365=";T365);"T366=";T366);"T367=";T367);"T368=";T368);"T369=";T369);"T370=";T370);"T371=";T371);"T372=";T372);"T373=";T373);"T374=";T374);"T375=";T375);"T376=";T376);"T377=";T377);"T378=";T378);"T379=";T379);"T380=";T380);"T381=";T381);"T382=";T382);"T383=";T383);"T384=";T384);"T385=";T385);"T386=";T386);"T387=";T387);"T388=";T388);"T389=";T389);"T390=";T390);"T391=";T391);"T392=";T392);"T393=";T393);"T394=";T394);"T395=";T395);"T396=";T396);"T397=";T397);"T398=";T398);"T399=";T399);"T400=";T400);"T401=";T401);"T402=";T402);"T403=";T403);"T404=";T404);"T405=";T405);"T406=";T406);"T407=";T407);"T408=";T408);"T409=";T409);"T410=";T410);"T411=";T411);"T412=";T412);"T413=";T413);"T414=";T414);"T415=";T415);"T416=";T416);"T417=";T417);"T418=";T418);"T419=";T419);"T420=";T420);"T421=";T421);"T422=";T422);"T423=";T423);"T424=";T424);"T425=";T425);"T426=";T426);"T427=";T427);"T428=";T428);"T429=";T429);"T430=";T430);"T431=";T431);"T432=";T432);"T433=";T433);"T434=";T434);"T435=";T435);"T436=";T436);"T437=";T437);"T438=";T438);"T439=";T439);"T440=";T440);"T441=";T441);"T442=";T442);"T443=";T443);"T444=";T444);"T445=";T445);"T446=";T446);"T447=";T447);"T448=";T448);"T449=";T449);"T450=";T450);"T451=";T451);"T452=";T452);"T453=";T453);"T454=";T454);"T455=";T455);"T456=";T456);"T457=";T457);"T458=";T458);"T459=";T459);"T460=";T460);"T461=";T461);"T462=";T462);"T463=";T463);"T464=";T464);"T465=";T465);"T466=";T466);"T467=";T467);"T468=";T468);"T469=";T469);"T470=";T470);"T471=";T471);"T472=";T472);"T473=";T473);"T474=";T474);"T475=";T475);"T476=";T476);"T477=";T477);"T478=";T478);"T479=";T479);"T480=";T480);"T481=";T481);"T482=";T482);"T483=";T483);"T484=";T484);"T485=";T485);"T486=";T486);"T487=";T487);"T488=";T488);"T489=";T489);"T490=";T490);"T491=";T491);"T492=";T492);"T493=";T493);"T494=";T494);"T495=";T495);"T496=";T496);"T497=";T497);"T498=";T498);"T499=";T499);"T500=";T500);"T501=";T501);"T502=";T502);"T503=";T503);"T504=";T504);"T505=";T505);"T506=";T506);"T507=";T507);"T508=";T508);"T509=";T509);"T510=";T510);"T511=";T511);"T512=";T512);"T513=";T513);"T514=";T514);"T515=";T515);"T516=";T516);"T517=";T517);"T518=";T518);"T519=";T519);"T520=";T520);"T521=";T521);"T522=";T522);"T523=";T523);"T524=";T524);"T525=";T525);"T526=";T526);"T527=";T527);"T528=";T528);"T529=";T529);"T530=";T530);"T531=";T531);"T532=";T532);"T533=";T533);"T534=";T534);"T535=";T535);"T536=";T536);"T537=";T537);"T538=";T538);"T539=";T539);"T540=";T540);"T541=";T541);"T542=";T542);"T543=";T543);"T544=";T544);"T545=";T545);"T546=";T546);"T547=";T547);"T548=";T548);"T549=";T549);"T550=";T550);"T551=";T551);"T552=";T552);"T553=";T553);"T554=";T554);"T555=";T555);"T556=";T556);"T557=";T557);"T558=";T558);"T559=";T559);"T560=";T560);"T561=";T561);"T562=";T562);"T563=";T563);"T564=";T564);"T565=";T565);"T566=";T566);"T567=";T567);"T568=";T568);"T569=";T569);"T570=";T570);"T571=";T571);"T572=";T572);"T573=";T573);"T574=";T574);"T575=";T575);"T576=";T576);"T577=";T577);"T578=";T578);"T579=";T579);"T580=";T580);"T581=";T581);"T582=";T582);"T583=";T583);"T584=";T584);"T585=";T585);"T586=";T586);"T587=";T587);"T588=";T588);"T589=";T589);"T590=";T590);"T591=";T591);"T592=";T592);"T593=";T593);"T594=";T594);"T595=";T595);"T596=";T596);"T597=";T597);"T598=";T598);"T599=";T599);"T600=";T600);"T601=";T601);"T602=";T602);"T603=";T603);"T604=";T604);"T605=";T605);"T606=";T606);"T607=";T607);"T608=";T608);"T609=";T609);"T610=";T610);"T611=";T611);"T612=";T612);"T613=";T613);"T614=";T614);"T615=";T615);"T616=";T616);"T617=";T617);"T618=";T618);"T619=";T619);"T620=";T620);"T621=";T621);"T622=";T622);"T623=";T623);"T624=";T624);"T625=";T625);"T626=";T626);"T627=";T627);"T628=";T628);"T629=";T629);"T630=";T630);"T631=";T631);"T632=";T632);"T633=";T633);"T634=";T634);"T635=";T635);"T636=";T636);"T637=";T637);"T638=";T638);"T639=";T639);"T640=";T640);"T641=";T641);"T642=";T642);"T643=";T643);"T644=";T644);"T645=";T645);"T646=";T646);"T647=";T647);"T648=";T648);"T649=";T649);"T650=";T650);"T651=";T651);"T652=";T652);"T653=";T653);"T654=";T654);"T655=";T655);"T656=";T656);"T657=";T657);"T658=";T658);"T659=";T659);"T660=";T660);"T661=";T661);"T662=";T662);"T663=";T663);"T664=";T664);"T665=";T665);"T666=";T666);"T667=";T667);"T668=";T668);"T669=";T669);"T670=";T670);"T671=";T671);"T672=";T672);"T673=";T673);"T674=";T674);"T675=";T675);"T676=";T676);"T677=";T677);"T678=";T678);"T679=";T679);"T680=";T680);"T681=";T681);"T682=";T682);"T683=";T683);"T684=";T684);"T685=";T685);"T686=";T686);"T687=";T687);"T688=";T688);"T689=";T689);"T690=";T690);"T691=";T691);"T692=";T692);"T693=";T693);"T694=";T694);"T695=";T695);"T696=";T696);"T697=";T697);"T698=";T698);"T699=";T699);"T700=";T700);"T701=";T701);"T702=";T702);"T703=";T703);"T704=";T704);"T705=";T705);"T706=";T706);"T707=";T707);"T708=";T708);"T709=";T709);"T710=";T710);"T711=";T711);"T712=";T712);"T713=";T713);"T714=";T714);"T715=";T715);"T716=";T716);"T717=";T717);"T718=";T718);"T719=";T719);"T720=";T720);"T721=";T721);"T722=";T722);"T723=";T723);"T724=";T724);"T725=";T725);"T726=";T726);"T727=";T727);"T728=";T728);"T729=";T729);"T730=";T730);"T731=";T731);"T732=";T732);"T733=";T733);"T734=";T734);"T735=";T735);"T736=";T736);"T737=";T737);"T738=";T738);"T739=";T739);"T740=";T740);"T741=";T741);"T742=";T742);"T743=";T743);"T744=";T744);"T745=";T745);"T746=";T746);"T747=";T747);"T748=";T748);"T749=";T749);"T750=";T750);"T751=";T751);"T752=";T752);"T753=";T753);"T754=";T754);"T755=";T755);"T756=";T756);"T757=";T757);"T758=";T758);"T759=";T759);"T760=";T760);"T761=";T761);"T762=";T762);"T763=";T763);"T764=";T764);"T765=";T765);"T766=";T766);"T767=";T767);"T768=";T768);"T769=";T769);"T770=";T770);"T771=";T771);"T772=";T772);"T773=";T773);"T774=";T774);"T775=";T775);"T776=";T776);"T777=";T777);"T778=";T778);"T779=";T779);"T780=";T780);"T781=";T781);"T782=";T782);"T783=";T783);"T784=";T784);"T785=";T785);"T786=";T786);"T787=";T787);"T788=";T788);"T789=";T789);"T790=";T790);"T791=";T791);"T792=";T792);"T793=";T793);"T794=";T794);"T795=";T795);"T796=";T796);"T797=";T797);"T798=";T798);"T799=";T799);"T800=";T800);"T801=";T801);"T802=";T802);"T803=";T803);"T804=";T804);"T805=";T805);"T806=";T806);"T807=";T807);"T808=";T808);"T809=";T809);"T810=";T810);"T811=";T811);"T812=";T812);"T813=";T813);"T814=";T814);"T815=";T815);"T816=";T816);"T817=";T817);"T818=";T818);"T819=";T819);"T820=";T820);"T821=";T821);"T822=";T822);"T823=";T823);"T824=";T824);"T825=";T825);"T826=";T826);"T827=";T827);"T828=";T828);"T829=";T829);"T830=";T830);"T831=";T831);"T832=";T832);"T833=";T833);"T834=";T834);"T835=";T835);"T836=";T836);"T837=";T837);"T838=";T838);"T839=";T839);"T840=";T840);"T841=";T841);"T842=";T842);"T843=";T843);"T844=";T844);"T845=";T845);"T846=";T846);"T847=";T847);"T848=";T848);"T849=";T849);"T850=";T850);"T851=";T851);"T852=";T852);"T853=";T853);"T854=";T854);"T855=";T855);"T856=";T856);"T857=";T857);"T858=";T858);"T859=";T859);"T860=";T860);"T861=";T861);"T862=";T862);"T863=";T863);"T864=";T864);"T865=";T865);"T866=";T866);"T867=";T867);"T868=";T868);"T869=";T869);"T870=";T870);"T871=";T871);"T872=";T872);"T873=";T873);"T874=";T874);"T875=";T875);"T876=";T876);"T877=";T877);"T878=";T878);"T879=";T879);"T880=";T880);"T881=";T881);"T882=";T882);"T883=";T883);"T884=";T884);"T885=";T885);"T886=";T886);"T887=";T887);"T888=";T888);"T889=";T889);"T890=";T890);"T891=";T891);"T892=";T892);"T893=";T893);"T894=";T894);"T895=";T895);"T896=";T896);"T897=";T897);"T898=";T898);"T899=";T899);"T900=";T900);"T901=";T901);"T902=";T902);"T903=";T903);"T904=";T904);"T905=";T905);"T906=";T906);"T907=";T907);"T908=";T908);"T909=";T909);"T910=";T910);"T911=";T911);"T912=";T912);"T913=";T913);"T914=";T914);"T915=";T915);"T916=";T916);"T917=";T917);"T918=";T918);"T919=";T919);"T920=";T920);"T921=";T921);"T922=";T922);"T923=";T923);"T924=";T924);"T925=";T925);"T926=";T926);"T927=";T927);"T928=";T928);"T929=";T929);"T930=";T930);"T931=";T931);"T932=";T932);"T933=";T933);"T934=";T934);"T935=";T935);"T936=";T936);"T937=";T937);"T938=";T938);"T939=";T939);"T940=";T940);"T941=";T941);"T942=";T942);"T943=";T943);"T944=";T944);"T945=";T945);"T946=";T946);"T947=";T947);"T948=";T948);"T949=";T949);"T950=";T950);"T951=";T951);"T952=";T952);"T953=";T953);"T954=";T954);"T955=";T955);"T956=";T956);"T957=";T957);"T958=";T958);"T959=";T959);"T960=";T960);"T961=";T961);"T962=";T962);"T963=";T963);"T964=";T964);"T965=";T965);"T966=";T966);"T967=";T967);"T968=";T968);"T969=";T969);"T970=";T970);"T971=";T971);"T972=";T972);"T973=";T973);"T974=";T974);"T975=";T975);"T976=";T976);"T977=";T977);"T978=";T978);"T979=";T979);"T980=";T980);"T981=";T981);"T982=";T982);"T983=";T983);"T984=";T984);"T985=";T985);"T986=";T986);"T987=";T987);"T988=";T988);"T989=";T989);"T990=";T990);"T991=";T991);"T992=";T992);"T993=";T993);"T994=";T994);"
```

```

1700 DO(I,J)=0
1710 NEXT
1720 NEXT
1730 DO(1,1)=- (A1C+HCV)
1740 DO(1,2)=A2C
1750 DO(1,6)=HCV
1760 REM
1770 DO(2,1)=A1
1780 DO(2,2)=-A2
1790 DO(2,3)=A3
1800 REM
1810 DO(3,2)=N1
1820 DO(3,3)=- (N1+N2+N3+N4)
1830 DO(3,4)=N3
1840 REM
1850 DO(4,3)=N8
1860 DO(4,4)=- (N8+N9+N10+N11)
1870 DO(4,5)=N10
1880 REM
1890 DO(5,4)=A2CLIN
1900 DO(5,5)=-A3C-4*B3*(5)^3-(4/3)*HSP*(T(5)-TA)^(1/3)
1910 REM
1920 DO(6,1)=HCV
1930 DO(6,6)=- (HCV+CX2*VALI01+HHE*SGM*4*(6)^3/R6+FEV*KEL*AB/DZ)
1940 DO(6,12)=-FEV*KEL*AB/DZ
1950 REM
1960 DO(7,7)=- (A1CL+4*SGM*FHE*(7)^3/R7)
1970 DO(7,8)=A2CL
1980 DO(7,13)=-4*SGM*FEV*(1/3)^3/K7
1990 REM
2000 DO(8,7)=A1L
2010 DO(8,8)=-A2L
2020 DO(8,9)=A3L
2030 REM
2040 DO(9,8)=N1L
2050 DO(9,9)=- (N1L+N2L+N3L+N4L)
2060 DO(9,10)=N3L
2070 REM
2080 DO(10,9)=N8L
2090 DO(10,10)=- (N8L+N9L+N10L+N11L)
2100 DO(10,11)=N10L
2110 REM
2120 DO(11,10)=A2CLINL
2130 DO(11,11)=- (A3CL+4*B3L*(1/3)^3+(4/3)*HSP*(T(11)-TA)^(1/3))
2140 REM
2150 DO(12,6)=D(12)
2160 DO(12,12)=D(12)
2170 REM
2180 DO(13,12)=D(13)
2190 DO(13,13)=D(13)
2200 DO(13,14)=D(13)
2210 REM
2220 DO(14,13)=D(14)
2230 DO(14,14)=D(14)
2240 DO(14,15)=D(14)
2250 REM
2260 DO(15,14)=D(15)
2270 DO(15,15)=D(15)
2280 DO(15,16)=D(15)
2290 REM
2300 DO(16,15)=D(16)
2310 DO(16,16)=D(16)
2320 DO(16,17)=D(16)
2330 REM
2340 DO(17,16)=D(17)
2350 DO(17,17)=D(17)
2360 DO(17,18)=D(17)
2370 REM
2380 DO(18,17)=D(18)
2390 DO(18,18)=D(18)
2400 DO(18,19)=D(18)
2410 REM
2420 DO(19,18)=D(19)
2430 DO(19,19)=D(19)
2440 DO(19,20)=D(19)
2450 REM
2460 DO(20,19)=D(20)
2470 DO(20,20)=D(20)
2480 DO(20,21)=D(20)
2490 REM
2500 DO(21,20)=D(21)
2510 DO(21,21)=D(21)
2520 DO(21,22)=D(21)
2530 REM
2540 DO(22,21)=D(22)
2550 DO(22,22)=D(22)
2560 DO(22,23)=D(22)
2570 REM
2580 DO(23,22)=D(23)
2590 DO(23,23)=D(23)
2600 DO(23,24)=D(23)
2610 REM
2620 DO(24,23)=D(24)
2630 DO(24,24)=D(24)
2640 DO(24,25)=D(24)
2650 REM
2660 DO(25,24)=D(25)
2670 DO(25,25)=D(25)
2680 DO(25,26)=D(25)
2690 REM
2700 DO(26,25)=D(26)
2710 DO(26,26)=D(26)
2720 DO(26,27)=D(26)
2730 REM
2740 DO(27,26)=D(27)
2750 DO(27,27)=D(27)
2760 DO(27,28)=D(27)
2770 REM
2780 DO(28,27)=D(28)
2790 DO(28,28)=D(28)
2800 DO(28,29)=D(28)
2810 REM
2820 DO(29,28)=D(29)
2830 DO(29,29)=D(29)
2840 DO(29,30)=D(29)
2850 REM
2860 DO(30,29)=D(30)
2870 DO(30,30)=D(30)
2880 DO(30,31)=D(30)
2890 REM
2900 DO(31,30)=D(31)
2910 DO(31,31)=D(31)
2920 DO(31,32)=D(31)
2930 REM
2940 DO(32,31)=D(32)
2950 DO(32,32)=D(32)
2960 DO(32,33)=D(32)
2970 REM
2980 DO(33,32)=D(33)
2990 DO(33,33)=D(33)
3000 DO(33,34)=D(33)
3010 REM
3020 DO(34,33)=D(34)
3030 DO(34,34)=D(34)
3040 DO(34,35)=D(34)
3050 REM
3060 DO(35,34)=D(35)
3070 DO(35,35)=D(35)
3080 DO(35,36)=D(35)
3090 REM
3100 DO(36,35)=D(36)
3110 DO(36,36)=D(36)
3120 DO(36,37)=D(36)
3130 REM
3140 DO(37,36)=D(37)
3150 DO(37,37)=D(37)
3160 DO(37,38)=D(37)
3170 REM
3180 DO(38,37)=D(38)
3190 DO(38,38)=D(38)
3200 DO(38,39)=D(38)
3210 REM
3220 DO(39,38)=D(39)
3230 DO(39,39)=D(39)
3240 DO(39,40)=D(39)
3250 REM
3260 DO(40,39)=D(40)
3270 DO(40,40)=D(40)
3280 DO(40,41)=D(40)
3290 REM
3300 DO(41,40)=D(41)
3310 DO(41,41)=D(41)
3320 DO(41,42)=D(41)
3330 REM
3340 DO(42,41)=D(42)
3350 DO(42,42)=D(42)
3360 DO(42,43)=D(42)
3370 REM
3380 DO(43,42)=D(43)
3390 DO(43,43)=D(43)
3400 DO(43,44)=D(43)
3410 REM
3420 DO(44,43)=D(44)
3430 DO(44,44)=D(44)
3440 DO(44,45)=D(44)
3450 REM
3460 DO(45,44)=D(45)
3470 DO(45,45)=D(45)
3480 DO(45,46)=D(45)
3490 REM
3500 DO(46,45)=D(46)
3510 DO(46,46)=D(46)
3520 DO(46,47)=D(46)
3530 REM
3540 DO(47,46)=D(47)
3550 DO(47,47)=D(47)
3560 DO(47,48)=D(47)
3570 REM
3580 DO(48,47)=D(48)
3590 DO(48,48)=D(48)
3600 DO(48,49)=D(48)
3610 REM
3620 DO(49,48)=D(49)
3630 DO(49,49)=D(49)
3640 DO(49,50)=D(49)
3650 REM
3660 DO(50,49)=D(50)
3670 DO(50,50)=D(50)
3680 DO(50,51)=D(50)
3690 REM
3700 DO(51,50)=D(51)
3710 DO(51,51)=D(51)
3720 DO(51,52)=D(51)
3730 REM
3740 DO(52,51)=D(52)
3750 DO(52,52)=D(52)
3760 DO(52,53)=D(52)
3770 REM
3780 DO(53,52)=D(53)
3790 DO(53,53)=D(53)
3800 DO(53,54)=D(53)
3810 REM
3820 DO(54,53)=D(54)
3830 DO(54,54)=D(54)
3840 DO(54,55)=D(54)
3850 REM
3860 DO(55,54)=D(55)
3870 DO(55,55)=D(55)
3880 DO(55,56)=D(55)
3890 REM
3900 DO(56,55)=D(56)
3910 DO(56,56)=D(56)
3920 DO(56,57)=D(56)
3930 REM
3940 DO(57,56)=D(57)
3950 DO(57,57)=D(57)
3960 DO(57,58)=D(57)
3970 REM
3980 DO(58,57)=D(58)
3990 DO(58,58)=D(58)
4000 DO(58,59)=D(58)
4010 REM
4020 DO(59,58)=D(59)
4030 DO(59,59)=D(59)
4040 DO(59,60)=D(59)
4050 REM
4060 DO(60,59)=D(60)
4070 DO(60,60)=D(60)
4080 DO(60,61)=D(60)
4090 REM
4100 DO(61,60)=D(61)
4110 DO(61,61)=D(61)
4120 DO(61,62)=D(61)
4130 REM
4140 DO(62,61)=D(62)
4150 DO(62,62)=D(62)
4160 DO(62,63)=D(62)
4170 REM
4180 DO(63,62)=D(63)
4190 DO(63,63)=D(63)
4200 DO(63,64)=D(63)
4210 REM
4220 DO(64,63)=D(64)
4230 DO(64,64)=D(64)
4240 DO(64,65)=D(64)
4250 REM
4260 DO(65,64)=D(65)
4270 DO(65,65)=D(65)
4280 DO(65,66)=D(65)
4290 REM
4300 DO(66,65)=D(66)
4310 DO(66,66)=D(66)
4320 DO(66,67)=D(66)
4330 REM
4340 DO(67,66)=D(67)
4350 DO(67,67)=D(67)
4360 DO(67,68)=D(67)
4370 REM
4380 DO(68,67)=D(68)
4390 DO(68,68)=D(68)
4400 DO(68,69)=D(68)
4410 REM
4420 DO(69,68)=D(69)
4430 DO(69,69)=D(69)
4440 DO(69,70)=D(69)
4450 REM
4460 DO(70,69)=D(70)
4470 DO(70,70)=D(70)
4480 DO(70,71)=D(70)
4490 REM
4500 DO(71,70)=D(71)
4510 DO(71,71)=D(71)
4520 DO(71,72)=D(71)
4530 REM
4540 DO(72,71)=D(72)
4550 DO(72,72)=D(72)
4560 DO(72,73)=D(72)
4570 REM
4580 DO(73,72)=D(73)
4590 DO(73,73)=D(73)
4600 DO(73,74)=D(73)
4610 REM
4620 DO(74,73)=D(74)
4630 DO(74,74)=D(74)
4640 DO(74,75)=D(74)
4650 REM
4660 DO(75,74)=D(75)
4670 DO(75,75)=D(75)
4680 DO(75,76)=D(75)
4690 REM
4700 DO(76,75)=D(76)
4710 DO(76,76)=D(76)
4720 DO(76,77)=D(76)
4730 REM
4740 DO(77,76)=D(77)
4750 DO(77,77)=D(77)
4760 DO(77,78)=D(77)
4770 REM
4780 DO(78,77)=D(78)
4790 DO(78,78)=D(78)
4800 DO(78,79)=D(78)
4810 REM
4820 DO(79,78)=D(79)
4830 DO(79,79)=D(79)
4840 DO(79,80)=D(79)
4850 REM
4860 DO(80,79)=D(80)
4870 DO(80,80)=D(80)
4880 DO(80,81)=D(80)
4890 REM
4900 DO(81,80)=D(81)
4910 DO(81,81)=D(81)
4920 DO(81,82)=D(81)
4930 REM
4940 DO(82,81)=D(82)
4950 DO(82,82)=D(82)
4960 DO(82,83)=D(82)
4970 REM
4980 DO(83,82)=D(83)
4990 DO(83,83)=D(83)
5000 DO(83,84)=D(83)
5010 REM
5020 DO(84,83)=D(84)
5030 DO(84,84)=D(84)
5040 DO(84,85)=D(84)
5050 REM
5060 DO(85,84)=D(85)
5070 DO(85,85)=D(85)
5080 DO(85,86)=D(85)
5090 REM
5100 DO(86,85)=D(86)
5110 DO(86,86)=D(86)
5120 DO(86,87)=D(86)
5130 REM
5140 DO(87,86)=D(87)
5150 DO(87,87)=D(87)
5160 DO(87,88)=D(87)
5170 REM
5180 DO(88,87)=D(88)
5190 DO(88,88)=D(88)
5200 DO(88,89)=D(88)
5210 REM
5220 DO(89,88)=D(89)
5230 DO(89,89)=D(89)
5240 DO(89,90)=D(89)
5250 REM
5260 DO(90,89)=D(90)
5270 DO(90,90)=D(90)
5280 DO(90,91)=D(90)
5290 REM
5300 DO(91,90)=D(91)
5310 DO(91,91)=D(91)
5320 DO(91,92)=D(91)
5330 REM
5340 DO(92,91)=D(92)
5350 DO(92,92)=D(92)
5360 DO(92,93)=D(92)
5370 REM
5380 DO(93,92)=D(93)
5390 DO(93,93)=D(93)
5400 DO(93,94)=D(93)
5410 REM
5420 DO(94,93)=D(94)
5430 DO(94,94)=D(94)
5440 DO(94,95)=D(94)
5450 REM
5460 DO(95,94)=D(95)
5470 DO(95,95)=D(95)
5480 DO(95,96)=D(95)
5490 REM
5500 DO(96,95)=D(96)
5510 DO(96,96)=D(96)
5520 DO(96,97)=D(96)
5530 REM
5540 DO(97,96)=D(97)
5550 DO(97,97)=D(97)
5560 DO(97,98)=D(97)
5570 REM
5580 DO(98,97)=D(98)
5590 DO(98,98)=D(98)
5600 DO(98,99)=D(98)
5610 REM
5620 DO(99,98)=D(99)
5630 DO(99,99)=D(99)
5640 DO(99,100)=D(99)
5650 REM
5660 DO(100,99)=D(100)
5670 DO(100,100)=D(100)
5680 DO(100,101)=D(100)
5690 REM
5700 DO(101,100)=D(101)
5710 DO(101,101)=D(101)
5720 DO(101,102)=D(101)
5730 REM
5740 DO(102,101)=D(102)
5750 DO(102,102)=D(102)
5760 DO(102,103)=D(102)
5770 REM
5780 DO(103,102)=D(103)
5790 DO(103,103)=D(103)
5800 DO(103,104)=D(103)
5810 REM
5820 DO(104,103)=D(104)
5830 DO(104,104)=D(104)
5840 DO(104,105)=D(104)
5850 REM
5860 DO(105,104)=D(105)
5870 DO(105,105)=D(105)
5880 DO(105,106)=D(105)
5890 REM
5900 DO(106,105)=D(106)
5910 DO(106,106)=D(106)
5920 DO(106,107)=D(106)
5930 REM
5940 DO(107,106)=D(107)
5950 DO(107,107)=D(107)
5960 DO(107,108)=D(107)
5970 REM
5980 DO(108,107)=D(108)
5990 DO(108,108)=D(108)
6000 DO(108,109)=D(108)
6010 REM
6020 DO(109,108)=D(109)
6030 DO(109,109)=D(109)
6040 DO(109,110)=D(109)
6050 REM
6060 DO(110,109)=D(110)
6070 DO(110,110)=D(110)
6080 DO(110,111)=D(110)
6090 REM
6100 DO(111,110)=D(111)
6110 DO(111,111)=D(111)
6120 DO(111,112)=D(111)
6130 REM
6140 DO(112,111)=D(112)
6150 DO(112,112)=D(112)
6160 DO(112,113)=D(112)
6170 REM
6180 DO(113,112)=D(113)
6190 DO(113,113)=D(113)
6200 DO(113,114)=D(113)
6210 REM
6220 DO(114,113)=D(114)
6230 DO(114,114)=D(114)
6240 DO(114,115)=D(114)
6250 REM
6260 DO(115,114)=D(115)
6270 DO(115,115)=D(115)
6280 DO(115,116)=D(115)
6290 REM
6300 DO(116,115)=D(116)
6310 DO(116,116)=D(116)
6320 DO(116,117)=D(116)
6330 REM
6340 DO(117,116)=D(117)
6350 DO(117,117)=D(117)
6360 DO(117,118)=D(117)
6370 REM
6380 DO(118,117)=D(118)
6390 DO(118,118)=D(118)
6400 DO(118,119)=D(118)
6410 REM
6420 DO(119,118)=D(119)
6430 DO(119,119)=D(119)
6440 DO(119,120)=D(119)
6450 REM
6460 DO(120,119)=D(120)
6470 DO(120,120)=D(120)
6480 DO(120,121)=D(120)
6490 REM
6500 DO(121,120)=D(121)
6510 DO(121,121)=D(121)
6520 DO(121,122)=D(121)
6530 REM
6540 DO(122,121)=D(122)
6550 DO(122,122)=D(122)
6560 DO(122,123)=D(122)
6570 REM
6580 DO(123,122)=D(123)
6590 DO(123,123)=D(123)
6600 DO(123,124)=D(123)
6610 REM
6620 DO(124,123)=D(124)
6630 DO(124,124)=D(124)
6640 DO(124,125)=D(124)
6650 REM
6660 DO(125,124)=D(125)
6670 DO(125,125)=D(125)
6680 DO(125,126)=D(125)
6690 REM
6700 DO(126,125)=D(126)
6710 DO(126,126)=D(126)
6720 DO(126,127)=D(126)
6730 REM
6740 DO(127,126)=D(127)
6750 DO(127,127)=D(127)
6760 DO(127,128)=D(127)
6770 REM
6780 DO(128,127)=D(128)
6790 DO(128,128)=D(128)
6800 DO(128,129)=D(128)
6810 REM
6820 DO(129,128)=D(129)
6830 DO(129,129)=D(129)
6840 DO(129,130)=D(129)
6850 REM
6860 DO(130,129)=D(130)
6870 DO(130,130)=D(130)
6880 DO(130,131)=D(130)
6890 REM
6900 DO(131,130)=D(131)
6910 DO(131,131)=D(131)
6920 DO(131,132)=D(131)
6930 REM
6940 DO(132,131)=D(132)
6950 DO(132,132)=D(132)
6960 DO(132,133)=D(132)
6970 REM
6980 DO(133,132)=D(133)
6990 DO(133,133)=D(133)
7000 DO(133,134)=D(133)
7010 REM
7020 DO(134,133)=D(134)
7030 DO(134,134)=D(134)
7040 DO(134,135)=D(134)
7050 REM
7060 DO(135,134)=D(135)
7070 DO(135,135)=D(135)
7080 DO(135,136)=D(135)
7090 REM
7100 DO(136,135)=D(136)
7110 DO(136,136)=D(136)
7120 DO(136,137)=D(136)
7130 REM
7140 DO(137,136)=D(137)
7150 DO(137,137)=D(137)
7160 DO(137,138)=D(137)
7170 REM
7180 DO(138,137)=D(138)
7190 DO(138,138)=D(138)
7200 DO(138,139)=D(138)
7210 REM
7220 DO(139,138)=D(139)
7230 DO(139,139)=D(139)
7240 DO(139,140)=D(139)
7250 REM
7260 DO(140,139)=D(140)
7270 DO(140,140)=D(140)
7280 DO(140,141)=D(140)
7290 REM
7300 DO(141,140)=D(141)
7310 DO(141,141)=D(141)
7320 DO(141,142)=D(141)
7330 REM
7340 DO(142,141)=D(142)
7350 DO(142,142)=D(142)
7360 DO(142,143)=D(142)
7370 REM
7380 DO(143,142)=D(143)
7390 DO(143,143)=D(143)
7400 DO(143,144)=D(143)
7410 REM
7420 DO(144,143)=D(144)
7430 DO(144,144)=D(144)
7440 DO(144,145)=D(144)
7450 REM
7460 DO(145,144)=D(145)
7470 DO(145,145)=D(145)
7480 DO(145,146)=D(145)
7490 REM
7500 DO(146,145)=D(146)
7510 DO(146,146)=D(146)
7520 DO(146,147)=D(146)
7530 REM
7540 DO(147,146)=D(147)
7550 DO(147,147)=D(147)
7560 DO(147,148)=D(147)
7570 REM
7580 DO(148,147)=D(148)
7590 DO(148,148)=D(148)
7600 DO(148,149)=D(148)
7610 REM
7620 DO(149,148)=D(149)
7630 DO(149,149)=D(149)
7640 DO(149,150)=D(149)
7650 REM
7660 DO(150,149)=D(150)
7670 DO(150,150)=D(150)
7680 DO(150,151)=D(150)
7690 REM
7700 DO(151,150)=D(151)
7710 DO(151,151)=D(151)
7720 DO(151,152)=D(151)
7730 REM
7740 DO(152,151)=D(152)
7750 DO(152,152)=D(152)
7760 DO(152,153)=D(152)
7770 REM
7780 DO(153,152)=D(153)
7790 DO(153,153)=D(153)
7800 DO(153,154)=D(153)
7810 REM
7820 DO(154,153)=D(154)
7830 DO(154,154)=D(154)
7840 DO(154,155)=D(154)
7850 REM
7860 DO(155,154)=D(155)
7870 DO(155,155)=D(155)
7880 DO(155,156)=D(155)
7890 REM
7900 DO(156,155)=D(156)
7910 DO(156,156)=D(156)
7920 DO(156,157)=D(156)
7930 REM
7940 DO(157,156)=D(157)
7950 DO(157,157)=D(157)
7960 DO(157,158)=D(157)
7970 REM
7980 DO(158,157)=D(158)
7990 DO(158,158)=D(158)
8000 DO(158,159)=D(158)
8010 REM
8020 DO(159,158)=D(159)
8030 DO(159,159)=D(159)
8040 DO(159,160)=D(159)
8050 REM
8060 DO(160,159)=D(160)
8070 DO(160,160)=D(160)
8080 DO(160,161)=D(160)
8090 REM
8100 DO(161,160)=D(161)
8110 DO(161,161)=D(161)
8120 DO(161,162)=D(161)
8130 REM
8140 DO(162,161)=D(162)
8150 DO(162,162)=D(162)
8160 DO(162,163)=D(162)
8170 REM
8180 DO(163,162)=D(163)
8190 DO(163,163)=D(163)
8200 DO(163,164)=D(163)
8210 REM
8220 DO(164,163)=D(164)
8230 DO(164,164)=D(164)
8240 DO(164,165)=D(164)
8250 REM
8260 DO(165,164)=D(165)
8270 DO(165,165)=D(165)
8280 DO(165,166)=D(165)
8290 REM
8300 DO(166,165)=D(166)
8310 DO(166,166)=D(166)
8320 DO(166,167)=D(166)
8330 REM
8340 DO(167,166)=D(167)
8350 DO(167,167)=D(167)
8360 DO(167,168)=D(167)
8370 REM
8380 DO(168,167)=D(168)
8390 DO(168,168)=D(168)
8400 DO(168,169)=D(168)
8410 REM
8420 DO(169,168)=D(169)
8430 DO(169,169)=D(169)
8440 DO(169,170)=D(169)
8450 REM
8460 DO(170,169)=D(170)
8470 DO(170,170)=D(170)
8480 DO(170,171)=D(170)
8490 REM
8500 DO(171,170)=D(171)
8510 DO(171,171)=D(171)
8520 DO(171,172)=D(171)
8530 REM
8540 DO(172,171)=D(172)
8550 DO(172,172)=D(172)
8560 DO(172,173)=D(172)
8570 REM
8580 DO(173,172)=D(173)
8590 DO(173,173)=D(173)
8600 DO(173,174)=D(173)
8610 REM
8620 DO(174,173)=D(174)
8630 DO(174,174)=D(174)
8640 DO(174,175)=D(174)
8650 REM
8660 DO(175,174)=D(175)
8670 DO(175,175)=D(175)
8680 DO(175,176)=D(175)
8690 REM
8700 DO(176,175)=D(176)
8710 DO(176,176)=D(176)
8720 DO(176,177)=D(176)
8730 REM
8740 DO(177,176)=D(177)
8750 DO(177,177)=D(177)
8760 DO(177,178)=D(177)
8770 REM
8780 DO(178,177)=D(178)
8790 DO(178,178)=D(178)
8800 DO(178,179)=D(178)
8810 REM
8820 DO(179,178)=D(179)
8830 DO(179,179)=D(179)
8840 DO(179,180)=D(179)
8850 REM
8860 DO(180,179)=D(180)
8870 DO(180,180)=D(180)
8880 DO(180,181)=D(180)
8890 REM
8900 DO(181,180)=D(181)
8910 DO(181,181)=D(181)
8920 DO(181,182)=D(181)
8930 REM
8940 DO(182,181)=D(182)
8950 DO(182,182)=D(182)
8960 DO(182,183)=D(182)
8970 REM
8980 DO(183,182)=D(183)
8990 DO(183,183)=D(183)
9000 DO(183,184)=D(183)
9010 REM
9020 DO(184,183)=D(184)
9030 DO(184,184)=D(184)
9040 DO(184,185)=D(184)
9050 REM
9060 DO(185,184)=D(185)
9070 DO(185,185)=D(185)
9080 DO(185,186)=D(185)
9090 REM
9100 DO(186,185)=D(186)
9110 DO(186,186)=D(186)
9120 DO(186,187)=D(186)
9130 REM
9140 DO(187,186)=D(187)
9150 DO(187,187)=D(187)
9160 DO(187,188)=D(187)
9170 REM
9180 DO(188,187)=D(188)
9190 DO(188,188)=D(188)
9200 DO(188,189)=D(188)
9210 REM
9220 DO(189,188)=D(189)
9230 DO(189,189)=D(189)
9240 DO(189,190)=D(189)
9250 REM
9260 DO(190,189)=D(190)
9270 DO(190,190)=D(190)
9280 DO(190,191)=D(190)
9290 REM
9300 DO(191,190)=D(191)
9310 DO(191,191)=D(191)
9320 DO(191,192)=D(191)
9330 REM
9340 DO(192,191)=D(192)
9350 DO(192
```

```

2490 REM
2480 RETURN
2470 REM
2460 REM
2450 REM
2440 REM
2430 NEXT JX
2420 NEXT I
2410 REM
2400 REM
2390 REM
2380 REM
2370 REM
2360 REM
2350 REM
2340 REM
2330 REM
2320 REM
2310 REM
2300 REM
2290 REM
2280 REM
2270 REM
2260 REM
2250 REM
2240 REM
2230 REM
2220 REM
2210 REM
2200 REM
2190 REM
2180 REM
2170 REM
2160 REM
2150 REM
2140 REM
2130 REM
2120 REM
2110 REM
2100 REM
2090 REM
2080 REM
2070 REM
2060 REM
2050 REM
2040 REM
2030 REM
2020 REM
2010 REM
2000 REM
1990 REM
1980 REM
1970 REM
1960 REM
1950 REM
1940 REM
1930 REM
1920 REM
1910 REM
1900 REM
1890 REM
1880 REM
1870 REM
1860 REM
1850 REM
1840 REM
1830 REM
1820 REM
1810 REM
1800 REM
1790 REM
1780 REM
1770 REM
1760 REM
1750 REM
1740 REM
1730 REM
1720 REM
1710 REM
1700 REM
1690 REM
1680 REM
1670 REM
1660 REM
1650 REM
1640 REM
1630 REM
1620 REM
1610 REM
1600 REM
1590 REM
1580 REM
1570 REM
1560 REM
1550 REM
1540 REM
1530 REM
1520 NY=N+1
1510 NX=N-1
1500 FOR L=1 TO N-1
1490 LX=L+1
1480 FOR I=LX TO N
1470 G=ABS(D(L,L))-ABS(D(L,I))
1460 IF G=>0 THEN 2640
1450 FOR JX=1 TO NY
1440 TEM=D(L,JX)
1430 D(L,JX)=D(L,I)
1420 D(L,I)=TEM
1410 D(I,JX)=TEM
1400 NEXT JX
1390 NEXT I
1380 REM
1370 REM
1360 REM
1350 REM
1340 REM
1330 REM
1320 REM
1310 REM
1300 REM
1290 REM
1280 REM
1270 REM
1260 REM
1250 REM
1240 REM
1230 REM
1220 REM
1210 REM
1200 REM
1190 REM
1180 REM
1170 REM
1160 REM
1150 REM
1140 REM
1130 REM
1120 REM
1110 REM
1100 REM
1090 REM
1080 REM
1070 REM
1060 REM
1050 REM
1040 REM
1030 REM
1020 REM
1010 REM
1000 REM
990 REM
980 REM
970 REM
960 REM
950 REM
940 REM
930 REM
920 REM
910 REM
900 REM
890 REM
880 REM
870 REM
860 REM
850 REM
840 REM
830 REM
820 REM
810 REM
800 REM
790 REM
780 REM
770 REM
760 REM
750 REM
740 D(I,J)=D(I,J)-DIVA*D(L,J)
730 NEXT J
720 D(I,J)=D(I,J)-DIVA*D(L,J)
710 FOR J=L TO NY
700 DIVA=D(I,L)
690 FOR I=LX TO N
680 DIVA=D(I,L)
670 FOR J=L TO NY
660 D(I,J)=D(I,J)-DIVA*D(L,J)
650 NEXT J
640 D(I,J)=D(I,J)-DIVA*D(L,J)
630 FOR K=IX TO N
620 DIU=D(I,K)
610 FOR J=K TO NY
600 D(I,J)=D(I,J)-DIU*DK(J)
590 NEXT J
580 NEXT K
570 NEXT I
560 NEXT J
550 NEXT I
540 RETURN
530 REM
520 REM
510 REM
500 REM
490 REM
480 REM
470 REM
460 REM
450 REM
440 REM
430 REM
420 REM
410 REM
400 REM
390 REM
380 REM
370 REM
360 REM
350 REM
340 REM
330 REM
320 REM
310 REM
300 REM
290 REM
280 REM
270 REM
260 REM
250 REM
240 REM
230 REM
220 REM
210 REM
200 REM
190 REM
180 REM
170 REM
160 REM
150 REM
140 REM
130 REM
120 REM
110 REM
100 REM
90 REM
80 REM
70 REM
60 REM
50 REM
40 REM
30 REM
20 REM
10 REM
00 REM

```

COMPARACAO DE PIVOS COM TROCA DE LINHAS

subrotina - MATRIZ


```

270 REM (REVEST. TRABALHO BASICO)
290 FOR J=1 TO 5
300 CP(J)=837.8224+.07471*TM(J):CPL(J)=837.8224+.07471*TM(J)
310 IF TM(J)=923 THEN K(J)=5.0398-.0026*TM(J)
320 IF TM(J)=923 THEN K(J)=4.03585-.00145*TM(J)
330 IF TM(J)=923 THEN K(J)=4.03585-.00145*TM(J)
340 NEXT J
350 GOTO 3810
370 REM (REVEST. TRABALHO ALTA-ALUMINA)
380 RORT=2570
390 FOR J=1 TO 5
400 IF TM(J)=473 THEN K(J)=1.36*1.1628
410 IF TM(J)=473 THEN K(J)=1.36*1.1628
420 IF TM(J)=473 AND TM(J)=973 THEN K(J)=1.36*1.1628
430 IF TM(J)=973 AND TM(J)=1173 THEN K(J)=1.36*1.1628
440 IF TM(J)=973 AND TM(J)=1173 THEN K(J)=1.36*1.1628
450 IF TM(J)=1173 THEN K(J)=1.36*1.1628
460 IF TM(J)=1173 THEN K(J)=1.36*1.1628
470 IF TM(J)=1173 THEN K(J)=1.36*1.1628
480 CPL(J)=793.696+7.15001E-02*TM(J)
490 CPL(J)=793.696+7.15001E-02*TM(J)
500 NEXT J
510 REM (CHAPA DE ACO)
520 TM(6)=(TM(4)+TM(5))/2:TM(6)=(TM(4)+TM(5))/2
530 ROA=7803
540 FOR J=1 TO 5
550 CPA(J)=473:KA(J)=47.2867-.014536*TM(J)+5:CPAL(J)=47.2867-.014536
560 TML(J)=5)
570 NEXT J
580 IF T=0 THEN 3920
590 REM COEFICIENTE DE CONVECCAO ENTRE O ACO LIQUIDO E A PAREDE - (W/M^2/K)
60 GR=Z*3*BETAL*GV*ABS(TM(6)-1(1))*(ROAL/VDAL)^2
61 NU=.0295*GV^(2/5)*PR^(7/15)*(1+.5*PR^(2/3))^(2/5)
62 HCONV=NU*KAL/Z
63 RETURN
64 ZER0(12)=1(6):1(12)=ZER0(12):ET(12)=ZER0(12)
65 ZER0(13)=1(6):1(13)=ZER0(13):ET(13)=ZER0(13)
66 ZER0(14)=1(6):1(14)=ZER0(14):ET(14)=ZER0(14)
67 ZER0(15)=1(6):1(15)=ZER0(15):ET(15)=ZER0(15)
68 RETURN
690 REM CPS(1) [ BTU/lb.m.of = kcal/kg.oc ]
700 FOR I=12 TO 15
710 IF 1(1)<4673 OR 1(1)<4773 THEN 4050
720 CPS(1)=(DH/(2732-2552))*(COS(2*PI*((1(1)-273)/1.8+32)-2732)/(2732-2552)-PI
730 CPS(1)+2
740 GOTO 4060
750 CPS(1)=.2
760 NEXT I
770 PRINT CPS(12),CPS(13),CPS(14),CPS(15)
780 REM
790 REM BETAL(1) [M.C/W]
800 FOR I=12 TO 15
810 BETA(I)=DT/(ROEL*CPS(I))*4184*DZ^2)
820 NEXT I
830 REM
840 REM COEFICIENTES TI
850 REM
860 B(15)=1+2*BETA(15)*(KEL+HESA*DZ)
870 D(15)=-2*BETA(15)*KEL

```

EXHIBIT TO REPORT OF INVESTIGATION
NO. 100-100000-100000

100 FOR 1-12 10 14
4210 A(I)=-BETA(I)*KEL
4220 B(I)=1+2*BETA(I)*KEL
130 D(I)=-BETA(I)*KEL
4240 H(I)=1ZER0(I)
4250 NEXT I
260 GO TO 1150

070 DATA 303,3.445,9.81,20,08,100,5.669E-08

060 REM -----(OUTROS DADOS)-----

080 READ TA,HP,GV,N,EPS,ITMAX,SGM

090 TTOTAL=TTLIN+TPVAZ

000 DZ=Z*YES/4

010 AB=3.1416*DI^2/4

020 CS="AA"

030 DS="SA"ES="AA"FS="8"

040 DRT=ERPT/2:DRF=EKPF/2:DKA=ECP/2

050 PR=CPAL*VDAL/KAL

060 RETURN

070 REM subrotina - CHUTE-ARMAZENA

080 REM

090 FOR I=1 TO N

100 T(I)=2*(I)-ET(I)

110 NEXT

120 RETURN

130 REM subrotina - COEFICIENTES

140 REM

150 REM CALCULO DAS PROPRIEDADES VARIAVEIS

160 GOSUB 3360

170 GOSUB 4040

180 A1=K(1)/DRT*AM

190 A2C=A1+A1C=RORT*CP(1)/2/DRT*AM:A1C=A2C+A1C:HCU=HCONV*AM

200 A3=K(2)/DRT*AM:A2=RORT*CP(1)+CP(2)/2*DRT/DRT*AM:A2=A1+A3+A20

210 N1=K(2)*AM/DK1:N2=KOR1*CP(2)*DKT*AM/2/DRT:N3=K(6)/DRF/2*AM:N4=RORF*CP(6)*DRF*

AM/DI

220 NB=K(6)*AM/DRF/2:N9=RORT*CP(6)*DKF*AM/DI:N10=KA(1)*AM/DRF/2:N11=KOA*CPA(1)*D

KA*AM/DI

230 AZCLIN=KA(1)/DKA/2*AM:A3C=A3C*AM:A3C=A2CLIN+A3C0:HSP=.95*AM:R

A=SGM*EMAP*AM*TA^4=B3=AM*SGM*EMAP

240 CXS=CPAL*MPONTO:CXZ=R0AL*CPAL/DI

250 A1L=K(1)/DRT*AML

260 AZCL=A1L:A1C0L=RORT*CP(1)/2/DRT*AML:A1C=A2CL+A1C0L:CRZM=AML*F7M*SGM:CKZ

B=AML*F713*SGM:CR147=A14*F147*SGM:CR137=AB*F137*SGM

270 A3L=K(2)/DRT*AML:A20L=RORT*(CP(1)+CP(2))/2*DRT/DI*AML:A2L=A1L+A3L+A20L

280 N1L=K(2)*AML/DR1:N2L=RORT*CP(2)*DRT*AML/2/DI:N3L=K(6)/DRF/2*AML:N4L=RORF*

PL(6)*DRF*AML/DI

290 N8L=K(6)*AML/DRF/2:N9L=RORF*CP(6)*DRF*AML/DI:N10L=KAL(1)*AML/DRF/2:N11L=K0

A*CPAL(1)*DR*AML/DI

300 AZCLINL=KAL(1)/DKA/2*AML:A3C0L=R0A*CPAL(1)*DKA/DI*AM:A3C=A2CLINL+A3C0L:HS

L=.95*AML=B*CAL=SGM*EMAP*AML*TA^4=B3L=AML*SGM*EMAP

310 VCEL=VDEL/ROEL:ALFA=KEL/ROEL/CP:EL=CXEL:ZBR,59:CXES=KES*AB/XES:CK13M=AB*F13M

*SGM:CR1473=A14*F1473*SGM

320 A1LL=K(1)/DRT*A14

330 AZCLL=A1LL:A1C0LL=RORT*CP(1)/2/DI*A14:A1CLL=A2CLL+A1C0LL:CR14M=A14*F1

AM*SGM

340 A3LL=K(2)/DRT*A14:A20LL=RORT*(CP(1)+CP(2))/2*DRT/DI*A14+A3L

A20LL

350 N1LL=K(2)*A14/DR1:N2LL=RORT*CP(2)*DRT*A14/2/DI:N3LL=K(6)/DRF/2*A14:N4

L=RORF*CP(6)*DRF*A14/DI

360 N8LL=K(6)*A14/DRF/2:N9LL=RORF*CP(6)*DRF*A14/DRF/2:N10LL=KALL(1)*A14/DRF/2:

A1LL=R0A*CPAL(1)*DR*AML/DI

370 AZCLINLL=KALL(1)/DKA/2*A14:A3C0LL=R0A*CPALL(1)*DKA/DI*A14:A3CCLL=A2CLINLL+A3

C0LL=HSPLL=.95*A14:B*CALL=SGM*EMAP*A14*TA^4=B3LL=A14*SGM*EMAP

380 RETURN

390 REM

400 REM subrotina - FATORES DE FORMA

410 AM=AB+3.1416*DI*Z

420 VALI00=VALI01

430 VALI01=3.1416*DI^2/4*Z

440 AML=3.1416*DI*(HP-ZREF)

450 A14=3.1416*DI*(ZKEF-Z-2)

460 FXM=2*((HP-ZKEF)/DI)^2+1-50K4*((HP-ZKEF)/DI)^4+4*((HP-ZREF)/DI)^2:FXM=FXM

470 FM=1-FMX:F7M=AB*FMZ/AML:F7Z=1-FXM


```

190 F13=2*((ZREF-Z-2)/D1)^2+1-SQ(4*((ZREF-Z-2)/D1)^4+4*((ZREF-Z-2)/D1)^2)
200 F1314=1-F13X
210 F1413=AB*F1314/A14
220 F13=1-F13X:F14=1-F13X:F14X=AB*F1413/A14:F14M=AB*(FMX-FH13)/A14
230 F147=AB*(1-F13X+FM13-FMX)/A14
240 F174=A14*F147/AML
250 F137=1-F13M-F1314
260 F173=AB*F137/AML
270 RETURN
280 REM
280 REM      subroutine - NEWTON - RAPHSON
290 REM
300 JJ=1
310 ERROR=0
320 REM      FUNCDES - DERIVADAS
330 GOSUB 1520
340 REM      WATER
350 GOSUB 2630
360 FOR J=1 TO N
370 ERROR=ERROR+ABS(Q(J))
380 NEXT
390 PRINT "ERROR = ";ERROR
400 IF ABS(ERROR)>EPS GOTO 1460
410 FOR J=1 TO N
420 E1(J)=TZERO(J)
430 TZERO(J)=1(J)
440 NEXT
450 GOTO 200
460 PAS=1/2:GOTO 1470
470 FOR J=1 TO N
480 T(J)=1(J)+D0(J,N+1)*PAS
490 NEXT
500 IF JJ<ITMAX THEN JJ=JJ+1:GOTO 1310
510 REM LPRINT "NAO CONVERGIU"
520 REM      subrotina - FUNCDES
530 REM
540 Q(1)=-A1C*(1)+A2C*(2)+HCV*(T(6)-1(1))+A1C0*TZERO(1)
550 Q(2)=A1*(1)-A2*(2)+A3*(3)+A20*TZERO(2)
560 Q(3)=N1*(2)-(N1+N2+N3+N4)*(T(3)+N3*(4)+(N2+N4)*TZERO(3)
570 Q(4)=N8*(3)-(N8+N9+N10+N11)*(T(4)+N10*(5)+(N9+N11)*TZERO(4)
580 Q(5)=A2CLN*(1(4)-A3C*(1(5)-B3*(1(5)-HSP*(1(5)-1A)^4/3)+A3C0*TZERO(5)+BCA
590 Q(6)=-FHS*CX*(1(6)-HCV*(1(6)-1(1))-CX2*VALI01*(1(6)-1(1))-CX2*VALI00*TZERO(6)-KEL
600 Q(7)=-A1C*(1(7)+A2C*(1(7)+A1C0L*TZERO(7)-CK/M*(1(7)^4-1A^4)+CR137*(1(15)^4
610 Q(8)=A1L*(1(7)-A2L*(1(8)+A3L*(1(9)+A20L*TZERO(8)
620 Q(9)=N1L*(1(8)-(N1L+N2L+N3L+N4L)*(T(9)+N3L*(1(10)+(N2L+N4L)*TZERO(9)
630 Q(10)=N8L*(1(9)-(N8L+N9L+N10L+N11L)*(1(10)+N10L*(1(11)+(N9L+N11L)*TZERO(10)
640 Q(11)=A2CLNL*(1(10)-A3CL*(1(11)-B3L*(1(11)-HSP*(1(11)-1A)^4/3)+A3C0L*TZE
650 Q(12)=A(12)*T(13)+B(12)*D(12)*T(12)-TZERO(12)
660 Q(13)=A(13)*T(14)+B(13)*D(13)*T(13)-TZERO(13)
670 Q(14)=A(14)*T(15)+B(14)*D(14)*T(14)-TZERO(14)
680 Q(15)=B(15)*T(15)+D(15)*T(14)+2*BETA(15)*SGM*EMES*DZ*(1(15)^4-H(15)
690 Q(16)=-A1CL*(1(16)+A2CL*(1(17)+A3LL*(1(18)+A20LL*TZERO(17)
700 Q(17)=A1LL*(1(16)-A2LL*(1(17)+A3LL*(1(18)+A20LL*TZERO(17)
710 Q(18)=N1LL*(1(17)-(N1LL+N2LL+N3LL+N4LL)*(1(19)+(N2LL+N4LL)*TZERO
720 Q(19)=N8LL*(1(18)-(N8LL+N9LL+N10LL+N11LL)*(1(19)+N10LL*(1(20)+(N9LL+N11LL)*TZE
730 Q(20)=A2CLNL*(1(19)-A3CL*(1(20)-B3LL*(1(20)-HSP*(1(20)-1A)^4/3)+A3C0L
740 REM
750 FOR I=1 TO N
760 REM      DERIVADAS

```

770 DQ(1,J)=0
 780 NEXT
 790 NEXT
 800 DQ(1,1)=-(A1C+HCV)
 810 DQ(1,2)=A2C
 820 DQ(1,6)=HCV
 830 REM
 840 DQ(2,1)=A1
 850 DQ(2,2)=A2
 860 DQ(2,3)=A3
 870 REM
 880 DQ(3,2)=N1
 890 DQ(3,3)=-(N1+N2+N3+N4)
 900 DQ(3,4)=N3
 910 REM
 920 DQ(4,3)=N8
 930 DQ(4,4)=-(N8+N9+N10+N11)
 940 DQ(4,5)=N10
 950 REM
 960 DQ(5,4)=A2CLIN
 970 DQ(5,5)=-A3C-4*B3*(5)^3-(4/3)*HSP*(T(5)-T4)^(1/3)
 980 REM
 990 DQ(6,1)=HCV
 1000 DQ(6,6)=-((FHS*(X5+HCV+CX2*VAL)01+KEL*AB/DZ
 1010 DQ(6,12)=KEL*AB/DZ
 1020 REM
 1030 DQ(7,7)=-((A1CL+4*CR7*N*(7)^3+4*CR137*(7)^3+4*CR147*(7)^3)
 1040 DQ(7,8)=A2CL
 1050 DQ(7,15)=4*CR137*(15)^3
 1060 DQ(7,16)=4*CR714*(16)^3
 1070 REM
 1080 DQ(8,7)=A1L
 1090 DQ(8,8)=-A2L
 1100 DQ(8,9)=A3L
 1110 REM
 1120 DQ(9,8)=N1L
 1130 DQ(9,9)=-((N1L+N2L+N3L+N4L)
 1140 DQ(9,10)=N3L
 1150 REM
 1160 DQ(10,9)=N8L
 1170 DQ(10,10)=-((N8L+N9L+N10L+N11L)
 1180 DQ(10,11)=N10L
 1190 REM
 1200 DQ(11,10)=A2CLINL
 1210 DQ(11,11)=-((A3CL+4*B3L*(11)^3+(4/3)*HSP*(T(11)-T4)^(1/3))
 1220 REM
 1230 DQ(12,6)=D(12)
 1240 DQ(12,12)=B(12)
 1250 DQ(12,13)=A(12)
 1260 REM
 1270 DQ(13,12)=D(13)
 1280 DQ(13,13)=B(13)
 1290 DQ(13,14)=A(13)
 1300 REM
 1310 DQ(14,13)=D(14)
 1320 DQ(14,14)=B(14)
 1330 DQ(14,15)=A(14)
 1340 REM
 1350 DQ(15,14)=D(15)
 1360 DQ(15,15)=B(15)+4*B7+BETA(15)*SGM*EMES*DZ*(15)^3
 1370 REM
 1380 DQ(16,7)=4*CR147*(7)^3
 1390 DQ(16,15)=4*CR1413*(15)^3
 1400 DQ(16,16)=-A1CLL-4*CR147*(16)^3-4*CR144M*(16)^3-4*CR1413*(16)^3
 1410 DQ(16,17)=A2CLL

```

130 DQ(17,16)=A1LL
2440 DQ(17,17)=-A2LL
2450 DQ(17,18)=A3LL
2460 REM
2470 DQ(18,17)=N1LL
2480 DQ(18,18)=-((N1LL+N2LL+N3LL+N4LL)
2490 DQ(18,19)=N3LL
2500 REM
2510 DQ(19,18)=N8LL
2520 DQ(19,19)=-((N8LL+N9LL+N10LL+N11LL)
2530 DQ(19,20)=N10LL
2540 REM
2550 DQ(20,19)=A2CLINLL
2560 DQ(20,20)=-((A3CLL+4*B3LL*(1/20)^3+(4/3)*H5PLL*(1/20)-(1A)^(1/3))
2570 REM
2580 FOR J=1 TO N
2590 DQ(J,N+1)=-Q(J)
2600 NEXT J
2610 REM
2620 RETURN
2630 REM
2630 REM subrotina - KATEQ
2640 REM
2650 REM COMPARAÇÃO DE PIVOS COM TROCA DE LINHAS
2660 NY=N+1
2670 NX=N-1
2680 FOR L=1 TO N-1
2690 LX=L+1
2700 FOR I=LX TO N
2710 G=ABS(DQ(L,L))-ABS(DQ(1,L))
2720 IF G=-0 THEN 2780
2730 FOR JX=1 TO NY
2740 TEM=DQ(L,JX)
2750 DQ(L,JX)=DQ(1,JX)
2760 DQ(1,JX)=TEM
2770 NEXT JX
2780 NEXT I
2790 REM DIVIDIR LINHA POR PIVOT
2800 PIVOT=DQ(L,L)
2810 FOR JX=1 TO NY
2820 DQ(L,JX)=DQ(L,JX)/PIVOT
2830 NEXT JX
2840 REM TRIANGULARIZAÇÃO DA MATRIZ - METODO DE GAUSS
2850 FOR I=LX TO N
2860 DIV=DQ(1,I)
2870 FOR J=L TO NY
2880 DQ(1,J)=DQ(1,J)-DIV*DQ(L,J)
2890 NEXT J
2900 NEXT I
2910 NEXT L
2920 DQ(N,NY)=DQ(N,NY)/DQ(N,N)
2930 DQ(N,N)=1
2940 REM DIAGONALIZAÇÃO DA MATRIZ - METODO DE JORDAN
2950 FOR I=1 TO N-1
2960 IX=I+1
2970 FOR K=IX TO N
2980 DIAU=DQ(1,K)
2990 FOR J=K TO NY
3000 DQ(1,J)=DQ(1,J)-DIAU*DQ(K,J)
3010 NEXT J
3020 NEXT K
3030 NEXT I
3040 RETURN
3050 REM
3060 REM subrotina - IMPRESSAO
3070 REM
3070 PRINT BY USING "###,###,###";1/20;Z+1000

```



```

-273; ZER0(2)=-273; ZER0(3)=-273; ZER0(4)=-273; ZER0(5)=-273; ZER0(6)=-273;
9090 PRINT #1,USING "###.## ###.## ###.## ###.## ###.## ###.## ###.##"; ZER0(7)=-273;
ZER0(8)=-273; ZER0(9)=-273; ZER0(10)=-273; ZER0(11)=-273
100 PRINT #1,USING "###.## ###.## ###.## ###.## ###.## ###.## ###.##"; ZER0(12)=-273; ZER0(13)
-273; ZER0(14)=-273; ZER0(15)=-273
310 PRINT #1,USING "###.## ###.## ###.## ###.## ###.## ###.## ###.##"; ZER0(16)=-273
ZER0(17)=-273; ZER0(18)=-273; ZER0(19)=-273; ZER0(20)=-273
120 REM LPRINT " (m)"; LPRINT
160; LPRINT " (m)"; LPRINT
320 REM LPRINT " (1) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(1)=-273
330 REM LPRINT " (2) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(2)=-273
340 REM LPRINT " (3) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(3)=-273
350 REM LPRINT " (4) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(4)=-273
360 REM LPRINT " (5) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(5)=-273
370 REM LPRINT " (6) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(6)=-273
380 REM LPRINT " (7) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(7)=-273
390 REM LPRINT " (8) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(8)=-273
400 REM LPRINT " (9) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(9)=-273
410 REM LPRINT " (10) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(10)=-273
420 REM LPRINT " (11) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(11)=-273
430 REM LPRINT " (12) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(12)=-273
440 REM LPRINT " (13) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(13)=-273
450 REM LPRINT " (14) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(14)=-273
460 REM LPRINT " (15) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(15)=-273
470 REM LPRINT " (16) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(16)=-273
480 REM LPRINT " (17) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(17)=-273
490 REM LPRINT " (18) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(18)=-273
500 REM LPRINT " (19) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(19)=-273
510 REM LPRINT " (20) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(20)=-273
520 REM LPRINT " (21) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(21)=-273
530 REM LPRINT " (22) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(22)=-273
540 REM LPRINT " (23) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(23)=-273
550 REM LPRINT " (24) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(24)=-273
560 REM LPRINT " (25) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(25)=-273
570 REM LPRINT " (26) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(26)=-273
580 REM LPRINT " (27) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(27)=-273
590 REM LPRINT " (28) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(28)=-273
600 REM LPRINT " (29) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(29)=-273
610 REM LPRINT " (30) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(30)=-273
620 REM LPRINT " (31) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(31)=-273
630 REM LPRINT " (32) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(32)=-273
640 REM LPRINT " (33) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(33)=-273
650 REM LPRINT " (34) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(34)=-273
660 REM LPRINT " (35) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(35)=-273
670 REM LPRINT " (36) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(36)=-273
680 REM LPRINT " (37) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(37)=-273
690 REM LPRINT " (38) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(38)=-273
700 REM LPRINT " (39) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(39)=-273
710 REM LPRINT " (40) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(40)=-273
720 REM LPRINT " (41) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(41)=-273
730 REM LPRINT " (42) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(42)=-273
740 REM LPRINT " (43) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(43)=-273
750 REM LPRINT " (44) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(44)=-273
760 REM LPRINT " (45) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(45)=-273
770 REM LPRINT " (46) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(46)=-273
780 REM LPRINT " (47) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(47)=-273
790 REM LPRINT " (48) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(48)=-273
800 REM LPRINT " (49) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(49)=-273
810 REM LPRINT " (50) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(50)=-273
820 REM LPRINT " (51) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(51)=-273
830 REM LPRINT " (52) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(52)=-273
840 REM LPRINT " (53) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(53)=-273
850 REM LPRINT " (54) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(54)=-273
860 REM LPRINT " (55) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(55)=-273
870 REM LPRINT " (56) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(56)=-273
880 REM LPRINT " (57) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(57)=-273
890 REM LPRINT " (58) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(58)=-273
900 REM LPRINT " (59) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(59)=-273
910 REM LPRINT " (60) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(60)=-273
920 REM LPRINT " (61) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(61)=-273
930 REM LPRINT " (62) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(62)=-273
940 REM LPRINT " (63) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(63)=-273
950 REM LPRINT " (64) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(64)=-273
960 REM LPRINT " (65) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(65)=-273
970 REM LPRINT " (66) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(66)=-273
980 REM LPRINT " (67) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(67)=-273
990 REM LPRINT " (68) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(68)=-273
1000 REM LPRINT " (69) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(69)=-273
1010 REM LPRINT " (70) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(70)=-273
1020 REM LPRINT " (71) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(71)=-273
1030 REM LPRINT " (72) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(72)=-273
1040 REM LPRINT " (73) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(73)=-273
1050 REM LPRINT " (74) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(74)=-273
1060 REM LPRINT " (75) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(75)=-273
1070 REM LPRINT " (76) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(76)=-273
1080 REM LPRINT " (77) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(77)=-273
1090 REM LPRINT " (78) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(78)=-273
1100 REM LPRINT " (79) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(79)=-273
1110 REM LPRINT " (80) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(80)=-273
1120 REM LPRINT " (81) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(81)=-273
1130 REM LPRINT " (82) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(82)=-273
1140 REM LPRINT " (83) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(83)=-273
1150 REM LPRINT " (84) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(84)=-273
1160 REM LPRINT " (85) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(85)=-273
1170 REM LPRINT " (86) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(86)=-273
1180 REM LPRINT " (87) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(87)=-273
1190 REM LPRINT " (88) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(88)=-273
1200 REM LPRINT " (89) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(89)=-273
1210 REM LPRINT " (90) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(90)=-273
1220 REM LPRINT " (91) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(91)=-273
1230 REM LPRINT " (92) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(92)=-273
1240 REM LPRINT " (93) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(93)=-273
1250 REM LPRINT " (94) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(94)=-273
1260 REM LPRINT " (95) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(95)=-273
1270 REM LPRINT " (96) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(96)=-273
1280 REM LPRINT " (97) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(97)=-273
1290 REM LPRINT " (98) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(98)=-273
1300 REM LPRINT " (99) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(99)=-273
1310 REM LPRINT " (100) = "; LPRINT USING "###.##"; ZER0(100)=-273
1320 REM ***** (PANELA VAZIA) *****
1330 IF 1)=-TLIN THEN FHS=0
1340 REM
1350 GOTO 220
1360 REM CALCULO DAS PROXIMADAS VARIÁVEIS
1370 REM
1380 REM (REVESTIMENTO FIXO)
1390 KORF=2130; TM(1)=(1(3)+1(4))/2; TML(1)=(1(9)+1(10))/2
1400 TML(1)=(1(18)+1(19))/2
1410 K(6)=-.97381+1.73626E-04*TML(1); K(6)=-.97381+1.73626E-04*TML(1)
1420 KLL(6)=-.97381+1.73626E-04*TML(1)
1430 CP(6)=-793.696+7.15001E-02*TML(1); CPL(6)=-793.696+7.15001E-02*TML(1)
1440 CPLL(6)=-793.696+7.15001E-02*TML(1)
1450 IF C=F% THEN 3080
1460 IF C=ES THEN 310
1470 REM (REVEST. TRABALHO SILLIC/ALUMINOSO)
1480 TM(1)=(1(1)+1(2))/2; TM(2)=(1(2)+1(3))/2; TML(1)=(1(7)+1(8))/2; TML(2)=(1(8)+1
(9))/2
1490 TML(1)=(1(16)+1(17))/2; TML(2)=(1(17)+1(18))/2
1500 KORF=2130
1510 FOR J=1 TO 5
1520 CP(J)=-793.696+7.15001E-02*TML(J); CPL(J)=-793.696+7.15001E-02*TML(J)
1530 CPLL(J)=-793.696+7.15001E-02*TML(J)
1540 K(J)=-.97381+1.73626E-04*TML(J); KLL(J)=-.97381+1.73626E-04*TML(J)
1550 KLL(J)=-.97381+1.73626E-04*TML(J)
1560 NEXT J
1570 GOTO 3900
1580 REM (REVEST. TRABALHO BASICO)
1590 KORF=3050
1600 FOR J=1 TO 5

```


020 CPLL(J)=837.8224+.07471*TMLL(J)

030 IF TM(J)=923 THEN K(J)=5.0398-.0026*TM(J)

040 IF TMLL(J)=923 THEN K(J)=5.0398-.0026*TMLL(J)

050 IF TMLL(J)=923 THEN K(J)=5.0398-.0026*TMLL(J)

060 IF TM(J)=923 THEN K(J)=4.03585-.00145*TM(J)

070 IF TMLL(J)=923 THEN K(J)=4.03585-.00145*TMLL(J)

080 IF TMLL(J)=923 THEN K(J)=4.03585-.00145*TMLL(J)

090 NEXT J

100 GOTO 3900

0710 REM (REVEST. TRABALHO ALTA-ALUMINA)

0720 RORT=25/0

0730 FOR J=1 TO 5

0740 IF TM(J)=473 THEN K(J)=1.36*1.1628

0750 IF TMLL(J)=473 THEN K(J)=1.36*1.1628

0760 IF TMLL(J)=473 THEN K(J)=1.36*1.1628

0770 IF TM(J)=473 AND TM(J)=973 THEN K(J)=1.5489-.000375*(TM(J)-2/3)*1.1628

0780 IF TMLL(J)=473 AND TMLL(J)=973 THEN K(J)=1.5489-.000375*(TMLL(J)-2/3)*1.1628

0790 IF TMLL(J)=473 AND TMLL(J)=973 THEN K(J)=1.5489-.000375*(TMLL(J)-2/3)

*1.1628

0800 IF TM(J)=973 AND TM(J)=1173 THEN K(J)=1.3*1.1628

0810 IF TMLL(J)=973 AND TMLL(J)=1173 THEN K(J)=1.3*1.1628

0820 IF TM(J)=1173 THEN K(J)=(.981428+3.1428E-04*(TM(J)-2/3))*1.1628

0830 IF TMLL(J)=1173 THEN K(J)=(.981428+3.1428E-04*(TMLL(J)-2/3))*1.1628

0840 IF TMLL(J)=1173 THEN K(J)=(.981428+3.1428E-04*(TMLL(J)-2/3))*1.1628

0850 IF TMLL(J)=1173 THEN K(J)=(.981428+3.1428E-04*(TMLL(J)-2/3))*1.1628

0860 R0A=7803

0870 FOR J=1 TO 5

0880 CPA(J)=473:KAL(J)=47.2867-.014536*TM(J)+5:CPAL(J)=47.2867-.014536

*TML(J)+5)

0890 CPALL(J)=473:KALL(J)=47.2867-.014536*TMLL(J)+5)

070 NEXT J

0800 IF J=0 THEN 4030

0810 REM COEFICIENTE DE CONVECCAO ENTRE O ACO LIQUIDO E A PAREDE - (W/m^2/K)

0820 GR=Z*3*BETA*GV*ABS(T(6)-T(1))*(ROAL/YDAL)^2

0830 NU=.0295*GR^(2/3)*PR^(7/3)*(1+.5*PR^(2/3))^(.7/3)

0840 HCONV=NU*KAL/Z

0850 RETURN

040 REM

030 REM

040 REM BETA(I) (W/M^2/K)

030 REM

040 REM

040 REM BETA(I) (W/M^2/K)

030 REM

040 REM

030 REM

030 REM COEFICIENTES (I)

040 REM

030 B(15)=1+2*BETA(15)*(KEL+HESA*0)

040 H(15)=1ZERO(15)+2*BETA(15)*DZ*(HESA*TA+SGM*EMES*TA^4)
4350 FOR I=12 TO 14
4260 A(I)=-BETA(I)*KEL
4270 B(I)=1+2*BETA(I)*KEL
4280 D(I)=-BETA(I)*KEL
4290 H(I)=1ZERO(I)
4300 NEXT I
4310 RETURN


```

00 REM
01 subrotina - CHUTE-ARRAZENA
02 FOR I=1 TO N
03 1(1)=2*(1)-ET(1)
04 NEXT
05 RETURN
06 subrotina - COEFICIENTES
07 REM
08 REM CALCULO DAS PROPRIEDADES VARIAVEIS
09 GOSUB 240
10 A1L=KL(1)/DR1*AML
11 A2L=A1L+A1C0L=KOR1*CPL(1)/2/DT*DR1*AML:A1C1L=A2L+A1C0L=B/13=SGM*AML*F16*EMH
12 CX4=SGM*AML*F1M*EMAP=B6=SGM*AB*F6M*EMAP
13 A3L=KL(2)/DR1*AML:A26L=KOR1*(CPL(1)+CPL(2))/2*DR1/DT*AML:A2L=A1L+A3L+A26L
14 N1L=KL(2)*AML/DR1=N2L=KOR1*CPL(2)*DR1*AML/2/DT=N3L=KL(6)/DRF/2*AML=N4L=RORF*
15 7L(6)*DRF*AML/DT
16 NBL=KL(6)*AML/DRF/2=N9L=RORF*CPL(6)*DRF*AML/DT:N10L=KAL(1)*AML/DRF/2:N11L=R0
17 CPL(1)*DRA*AML/DT
18 A2CLINL=KAL(1)/DKA/2*AML:A3C0L=R0K*CPL(1)*DKA/DT*AML:A3C1L=A2CLINL+A3C0L:HSR
19 A3*AML=B0CAL=SGM*EMAP*AML*TA^4=B3L=AML*SGM*EMAP
20 REM
21 subrotina - FATORES DE FORMA
22 REM
23 AML=3.1416*DI*HP
24 R=DI/2/HP
25 FM=1+(1/(2*R))*(1/R-S&K(4+1/R^2))
26 F41=1-F6M
27 F1M=AB/AML*(1-F6M)
28 F16=1-F1M
29 RETURN
30 REM
31 subrotina - NEWTON RAPHSON
32 REM
33 RETURN
34 F16=1-F1M
35 F1M=AB/AML*(1-F6M)
36 F41=1-F6M
37 FM=1+(1/(2*R))*(1/R-S&K(4+1/R^2))
38 R=DI/2/HP
39 AML=3.1416*DI*HP
40 REM
41 FUNCOES - DERIVADAS
42 GOSUB 1310
43 REM FOR I=1 TO N
44 REM PRINT "Q";I;"=";"&(I)
45 REM NEXT
46 GOSUB 1800
47 FOR J=1 TO N
48 ERROR=ERROR+ABS(Q(J))
49 NEXT
50 PRINT "ERROR =" ;ERROR
51 IF ABS(ERROR) > EPS GOTO 1250
52 IND=1/DT
53 FOR J=1 TO N
54 ET(J)=TZERO(J)
55 TZERO(J)=T(J)
56 NEXT
57 REM RDZ=CX4*(1/7)^4-16^4:CD/8=A2CL*(1/7)-1(8):DZ=A2CL*(1/7)-1(8):KJ=
58 RDZ/8:CDZ8/8:PRINT "DZ";DZ;PRINT "RDZ/8";RDZ/8
59 CDZ8/8:PRINT "DZ";DZ;PRINT "RDZ/8";RDZ/8
60 REM IF 1=480 OK 1=520 THEN PRINT "RDZ7";RDZ7;PRINT "RDZM";RDZM;PRINT "
61 CDZ8/8:PRINT "DZ";DZ;PRINT "RDZ/8";RDZ/8
62 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD/8";CD/8;PRINT "CD8";CD8;PRINT "DUB";DUB
63 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD/8";CD/8;PRINT "CD8";CD8;PRINT "DUB";DUB
64 REM CD9=NBL*(1(9)-1(8))+DUB=(N2L+N4L)*(1(9)-1(8))
65 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD9";CD9;PRINT "CD910";CD910;PRINT "DU9";DU9
66 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
67 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
68 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
69 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
70 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
71 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
72 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
73 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
74 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
75 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
76 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
77 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
78 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
79 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
80 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
81 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
82 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
83 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
84 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
85 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
86 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
87 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
88 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
89 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
90 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
91 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
92 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
93 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
94 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
95 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
96 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
97 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
98 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
99 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
100 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
101 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
102 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
103 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
104 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
105 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
106 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
107 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
108 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
109 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
110 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
111 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
112 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
113 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
114 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
115 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
116 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
117 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
118 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
119 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
120 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
121 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
122 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
123 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
124 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
125 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
126 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
127 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
128 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
129 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
130 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
131 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
132 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
133 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
134 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
135 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
136 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
137 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
138 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
139 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
140 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
141 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
142 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
143 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
144 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
145 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
146 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
147 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
148 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
149 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
150 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
151 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
152 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
153 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
154 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
155 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
156 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
157 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
158 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
159 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
160 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
161 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
162 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
163 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
164 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
165 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
166 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
167 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
168 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
169 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
170 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
171 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
172 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
173 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
174 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
175 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
176 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
177 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
178 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
179 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
180 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
181 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
182 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
183 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
184 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
185 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
186 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
187 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
188 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
189 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
190 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
191 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
192 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
193 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
194 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
195 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
196 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
197 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
198 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))
199 REM IF 1)=390 THEN PRINT "CD7";CD7;PRINT "CD9";CD9;PRINT "DU9";DU9
200 REM CD7=N10L*(1(10)-1(9))+DUB=(N2L+N4L)*(1(10)-1(9))

```



```

190 REM IF T)=390 THEN LPRINT "CD1011";LPRINT "01AM";01AM,LPRINT "DU11
1200 REM CD1213=CXFS*(112)-1(13))*FLX
1210 REM IF T=480 OR T=510 THEN LPRINT "CV612";CV612;LPRINT "CD1213";CD1213
1220 REM KD13M=B6*(113)*4-16^4)*FLX
1230 REM IF T=480 OR T=510 THEN LPRINT "KD13M";KD13M;LPRINT "KD713";KD713;LPRINT
CD1213";CD1213
1240 GOTO 180
1250 PAS=1/2:GOTO 1260
1260 FOR J=1 TO N
1270 I(J)=I(J)+D0(J,N+1)*PAS
1280 NEXT
1290 IF JJ(1)MAX THEN JJ=JJ+1:GOTO 910
1300 LPRINT "NO CONVERGII - ERROR=";ERROR;"11=";1(1);"12=";1(2);"13=";1(3);"11
";1(4);"15=";1(5);"16=";1(6);"17=";1(7);"18=";1(8);"19=";1(9);"10=";1(10);"11
";1(11);"112=";1(12);"113=";1(13):STOP
1310 REM
1320 REM
1330 REM
1340 Q(2)=A1L*(1)-A2L*(2)+A3L*(3)+A20L*TZERO(2)
1350 Q(3)=N1L*(12)-(N1L+N2L+N3L+N4L)*T(3)+N3L*T(4)+(N2L+N4L)*TZERO(3)
1360 Q(4)=N8L*(13)-(N8L+N9L+N10L+N11L)*T(4)+N10L*T(5)+(N9L+N11L)*TZERO(4)
1370 Q(5)=A2CLM*L*(4)-A3CL*(15)-B3L*(15)-4-HSPL*(15)-1A)^(4/3)+A3C0L*TZERO(5)
1380 Q(6)=-B6*(1(6)^4-16^4)+B7/13*(1(1)^4-1(6)^4)
1390 REM
1400 FOR I=1 TO N
1410 FOR J=1 TO N
1420 D0(I,J)=0
1430 NEXT
1440 NEXT
1450 REM
1460 D0(1,1)=-1(A1CL+4*(X4*T(1))^3+4*B7/13*(1(1))^3)
1470 D0(1,2)=A2CL
1480 D0(1,6)=-4*B7/13*(1(6))^3
1490 REM
1500 D0(2,1)=A1L
1510 D0(2,2)=-A2L
1520 D0(2,3)=A3L
1530 REM
1540 D0(3,2)=N1L
1550 D0(3,3)=-1(N1L+N2L+N3L+N4L)
1560 D0(3,4)=N3L
1570 REM
1580 D0(4,3)=N8L
1590 D0(4,4)=-1(N8L+N9L+N10L+N11L)
1600 D0(4,5)=N10L
1610 REM
1620 D0(5,4)=A2CLM
1630 D0(5,5)=-1(A3CL+4*B3L*(1(5))^3+4*(4/3)*HSPL*(1(5))-1A)^(11/3))
1640 REM
1650 REM
1660 D0(6,1)=-4*B7/13*(1(1))^3
1670 D0(6,6)=-4*B6*(1(6))^3-4*B7/13*(1(6))^3
1680 REM
1690 REM FOR I=1 TO N
1700 REM FOR J=1 TO N
1710 REM LPRINT "D0(";LPRINT I";LPRINT J";LPRINT ";";LPRINT "0(";LPRINT J";LPRINT "
";0(J)
1730 REM NEXT
1740 REM NEXT
1750 FOR J=1 TO N
1760 D0(J,N+1)=0
1770 FOR I=1 TO N
1780 D0(I,J)=0
1790 NEXT
1800 GOTO 180
1810 REM
1820 REM
1830 REM
1840 REM
1850 REM
1860 REM
1870 REM
1880 REM
1890 REM
1900 REM
1910 REM
1920 REM
1930 REM
1940 REM
1950 REM
1960 REM
1970 REM
1980 REM
1990 REM
2000 REM

```