

FACULDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECANICA
DETF - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA TERMICA E DE FLUIDOS

TESE DE: MESTRADO

TITULO DA TESE: ESTUDO DA FLUIDODINAMICA E DA TROCA
TERMICA GAS-SOLIDOS NO TRANSPORTE
PNEUMATICO VERTICAL ASCENDENTE DE
MISTURAS DE PARTICULAS SOLIDAS.

AUTOR: LUIZ CARLOS CASAVECHIA ²⁶⁵

ORIENTADOR: LEONARDO GOLDSTEIN JR. ²⁶⁵

APROVADO POR:

Leonardo Goldstein Jr
PROF. DR. LEONARDO GOLDSTEIN JR. , Presidente

Silvia Azucena Nebra de Perez
PROF. DR. SILVIA AZUCENA NEBRA DE PEREZ

Satoshi Tobinaga
PROF. DR. SATOSHI TOBINAGA

CAMPINAS - SP - BRASIL
1993

Ao bom Deus por tudo!

À minha mulher Vera Lúcia e filho
Lucas pela compreensão e estímulo
durante todas as etapas do trabalho.

Aos meus pais que sempre me incenti-
varam e apoiaram nos estudos.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Leonardo Goldstein Júnior, pela confiança, paciência, dedicada orientação e muito incentivo na realização do presente trabalho;

Ao Professor Cesar Costapinto Santana, pelo apoio e orientação durante a fase inicial do trabalho;

A PETROBRÁS, através da Superintendência da Industrialização do Xisto - SIX, onde foram realizados os testes experimentais;

Ao Superintendente da SIX, Kuniyuki Terabe pela oportunidade de desenvolvimento deste trabalho;

Ao Coordenador de Tecnologia da SIX, Rubens Eduardo Medeiros Novicki pela amizade, estímulo e encorajamento;

Ao Superintendente da Refinaria Alberto Pasqualini - REFAP, César Tadeu da Silva Barlem pelo grande incentivo à Área de Pesquisa & Desenvolvimento da SIX;

A Sirlei de Fátima Wenglarek pelo paciente e excelente serviço de datilografia;

Ao Edson J. J. de Souza e José Tokuno pelo Projeto detalhado da Unidade;

Ao Derbi Nepomuceno e Rui L. Effeko Júnior pela manutenção dos equipamentos;

A José Carlos da Silva, Célio R. C. Pendiuk, Pedro V. Pszedimirski, Roberto Ruva e Bernaldo de Jesus Soares pela ajuda na realização dos testes experimentais;

A Sônia Suzuki e Paulo Cesar Markovicz pelo apoio na organização e ordenação dos dados experimentais;

Ao Raul E. Koerbel e Joaquim Marques Filho pela elaboração dos gráficos em computador;

Ao Angelo Gugelmin pelos desenhos que compõem o trabalho;

Ao Mirion Francisco Langaro pelo trabalho fotográfico dos equipamentos da unidade;

Ao Aureo M. S. Andrade e Clézio Kowalski pelo ótimo serviço de xerox;

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho;

Muito Obrigado!

RESUMO

O objetivo do presente trabalho é o estudo do efeito da distribuição granulométrica das partículas sólidas na fluidodinâmica e transferência de calor gás-sólido no transporte pneumático vertical ascendente.

Para tanto foi construído um dispositivo experimental constituído basicamente por um tubo de transporte com diâmetro de 52,5 mm e 4,0 m de altura, onde foram determinados os perfis longitudinais de pressão e temperatura do gás, bem como as temperaturas de entrada e saída das partículas sólidas, para diferentes descargas de gás e de partículas sólidas. Completam a unidade, os sistemas para movimentação e aquecimento do fluido, e armazenamento, alimentação e separação das partículas sólidas.

Inicialmente foram realizados testes com esferas de vidro de diâmetro uniforme: 135, 346 e 750 μm , para os quais se determinou o coeficiente de transferência de calor gás-sólido. Em seguida foram realizados testes com misturas binárias de partículas: 135 e 346 μm , 135 e 750 μm e 346 e 750 μm .

Para simulação dos fenômenos físicos envolvidos no processo de troca térmica gás-sólido, foram propostos três modelos a partir das equações fundamentais, levando em conta a região de aceleração do escoamento. O primeiro modelo foi desenvolvido para suspensões contendo partículas de diâmetro uniforme, e os outros dois para misturas binárias de partículas, considerando ou não o efeito da colisão de partículas de diâmetros diferentes.

Os perfis experimentais de temperatura e pressão do gás ao longo do tubo de transporte, bem como a temperatura de saída das partículas sólidas foram comparadas com os valores gerados pelos modelos, que mostraram representar adequadamente os dados experimentais.

ABSTRACT

The objective of this work was to study the effect of the particle size distribution on the fluid dynamic and fluid-to-particle heat transfer in ascendent vertical pneumatic transport.

An experimental apparatus was built, made up of a 52.5 mm diameter transport tube, 4.0 m high, in which the gas temperature and pressure longitudinal profiles were obtained, for different values of the solid and gas mass flow rates.

The plant included an air mover and a heating system, as well as solid particle storage, feeding and collecting systems.

Initial tests were performed with spherical glass particles of uniform size: 135, 346 and 750 μm diameters, to determine the gas-to-particle heat transfer coefficients. Tests were also done with binary mixture of particles: 135 and 346 μm , 135 and 750 μm , and 346 and 750 μm diameters.

To simulate the pneumatic transport process, three models were proposed, worked out from the fundamental equations, taking into consideration the acceleration region. The first model was developed to simulate an uniformly sized solid particle suspension. The other two models simulate the binary solid particle mixtures, taking into account or not the effect of particle collisions.

The experimental gas temperature and pressure profiles along the transport tube, as well as the solid particles exit temperature, were compared with results from the simulation models, with good agreement.

INDICE

VOLUME I

Página

DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
RESUMO	iv
ABSTRACT	vi
INDICE	vii
NOMENCLATURA	xi
LISTA DAS FIGURAS	xxiii
LISTA DAS TABELAS	xxx
 CAPITULO 1 - INTRODUÇÃO	 1
1.1. Motivação à Pesquisa	1
1.2. Estado da Arte	4
1.2.1. Fluidodinâmica	4
1.2.2. Transferência de Calor Gás-Sólido ...	26
1.3. Objetivo	37
 CAPITULO 2 - DESCRIÇÃO DO DISPOSITIVO DE TESTES E DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	 39
2.1. Descrição do Dispositivo de Testes	39
2.1.1. Sistema de Alimentação de Fluido	42
a. Medida da Descarga de Fluido, FI-01	42
b. Aquecedor Vapor, AQ-01	42
c. Ejetor, EJ-01	44
2.1.2. Sistema de Alimentação de Sólidos ...	47
a. Silo de Carga, SI-01	47
b. Controle da Descarga de Sólidos ..	51
2.1.3. Sistema do Tubo de Transporte	51
a. Tubo de Transporte, TT-01	52
b. Medida de Temperatura	54
c. Medida de Pressões	57
d. Medida dos Diferenciais de Pressão	57
2.1.4. Sistema de Coleta e Recirculação de Sólidos	60
a. Separador Gravitacional, SG-01 ...	60
b. Ciclone, CI-01	62
c. Silo de Coleta, SI-02	62
d. Silo de Coleta, SI-03	67

INDICE (CONT.)

	Página
2.1.5. Isolamento	67
2.2. Procedimento dos Testes	69
2.2.1. Características das Partículas Sólidas	69
2.2.2. Procedimento Operacional	74
2.2.3. Determinação das Temperaturas Inicial e Final das Correntes Fluida e Sólida	76
a. Temperatura Inicial do Fluido	76
b. Temperatura Inicial do Sólido	76
c. Temperaturas Intermediárias e Final do Fluido	77
d. Temperatura Final do Sólido	77
2.2.4. Dificuldades Enfrentadas na Alimentação de Sólidos e na Medida das Temperaturas do Fluido ao Longo do Tubo de Transporte	77
a) Sistema de Alimentação de Sólidos	77
b) Medida de Temperatura do Fluido ..	82
2.2.5. Programa de Testes Realizados	93
a) Suspensões com Partículas de Diâmetro Uniformes	93
b) Suspensões com Misturas de Partículas Sólidas	93
2.3. Redução dos Dados Experimentais	103
2.3.1. Suspensões com Partículas de Diâmetro Uniforme	103
a. Fluidodinâmica	104
b. Transferência de Calor	107
2.3.2. Suspensões com Misturas de Partículas Sólidas	110
2.3.3. Consideração sobre a Medida do Perfil de Pressão ao Longo do Tubo de Transporte	110
2.3.4. Propriedades do Ar	111

INDICE (CONT.)

Página

CAPITULO 3 - MODELAGEM DA FLUIDODINAMICA E DA TRANSFERENCIA DE CALOR GAS-SÓLIDOS DE MISTURAS DE PARTICULAS	112
3.1. Modelo III	113
3.1.1. Fluidodinâmica	114
a. Equação da Continuidade para a Fase Fluida	114
b. Equação da Continuidade para a Fase Sólida	114
c. Equação da Quantidade de Movimento para a Mistura	114
d. Equação da Quantidade de Movimento, para uma Partícula Sólida i ..	116
3.1.2. Troca Térmica Fluido-Partículas Sólidas	119
a. Fase Fluida	119
b. Fase Sólida	119
3.1.3. Condições de Contorno	120
3.1.4. Temperatura Média da Mistura de Partículas Sólidas	121
3.1.5. Resolução do Sistema de Equações Diferenciais	121
3.1.6. Arranjo das Equações Diferenciais para Resolução pelo Método de Runge-Kutta Gill	122
a. Velocidade das Partículas Sólidas i , v_{si}	122
b. Concentração Volumétrica das Partículas Sólidas i , v_i	122
c. Temperatura das Partículas Sólidas i , t_{si}	123
d. Temperatura do Fluido, t_f	123
e. Velocidade do Fluido, v_f	123
f. Pressão do Fluido, p_f	124
3.1.7. Programa para Correlacionamento dos Dados e Simulação Matemática do Processo	124

INDICE (CONT.)

	Página
3.2. Modelo II	124
3.3. Modelo III	124
CAPITULO 4 - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	125
4.1. Suspensões com Partículas de Diâmetro Uniforme	125
4.1.1. Coeficiente de Transferência de Calor Gás-Sólidos	125
4.1.2. Discussão dos Resultados Experimentais	136
4.1.3. Simulação da Fluidodinâmica e da Transferência de Calor para Suspensões com Partículas de Diâmetros Uniformes	137
4.2. Suspensões com Misturas Binárias de Partículas Sólidas	145
4.2.1. Discussão dos Resultados Experimentais	145
a. Testes 19 e 21	148
b. Testes 25 e 26	148
c. Testes 29 e 30	148
d. Testes 20 e 25, 33 e 38	152
e. Testes 25 e 36	152
f. Testes 36 e 38	153
4.2.2. Simulação da Fluidodinâmica e da Transferência de Calor Gás-Sólidos para Misturas Binárias	153
a. Modelo III	154
b. Comparação dos Modelos I, II e III	161
CAPITULO 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	175
5.1. Conclusões	175
5.2. Recomendações	177
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	179
VOLUME II - ANEXOS DA TESE	

NOMENCLATURA

a	Parâmetro, Equação (3.18)	
a'	Parâmetro, Equação (1.88)	
A	Área da Seção Transversal do Tubo de Transporte	[m ²]
A'	Definido pela Equação (2.11)	[°C]
A _p	Área da Superfície Externa de uma Partícula Sólida	[m ²]
b	Parâmetro, Equação (3.18)	
b'	Parâmetro, Equação (1.88)	
B	Definido pela Equação (1.18)	[m/s]
B'	Definido pela Equação (2.14)	
B _{mis}	Definido pela Equação (1.31)	[m/s]
c	Parâmetro, Equação (3.18)	
C	Parâmetro, Equação (1.20)	[m/s]
C _{DS}	Coefficiente de Arraste da Partícula Sólida Isolada	
C _{pa}	Calor Específico da Água à Pressão Constante	[J/kg °C]
C _{pf}	Calor Específico do Fluido à Pressão Constante	[J/kg °C]
C _{ps}	Calor Específico do Sólido à Pressão Constante	[J/kg °C]
C _{vf}	Calor Específico do Fluido à Volume Constante	[J/kg °C]

C'	Definido pela Equação (2.11)	[$^{\circ}\text{C}$]
d_j	Média Aritmética das Aberturas das Malhas nas Peneiras (j-1) e j	[μm]
d_{of}	Diâmetro do Orifício da Placa de Orifício do Fluido	[mm]
d_{os}	Diâmetro do Orifício da Placa de Orifício dos Sólidos	[mm]
d_s	Diâmetro das Partículas Sólidas	[μm]
D	Diâmetro Interno do Tubo de Transporte ou Diâmetro do Tubo onde está instalada a Placa de Orifício do Fluido	[m]
E	Parâmetro, Equação (1.79)	
f_{em}	Força Eletromotriz	[mV]
f_f	Fator de Atrito de Darcy Fluido-Parede do Tubo de Transporte	
f_s	Fator de Atrito Partículas Sólidas-Parede do Tubo de Transporte	
$\bar{f}_s$	Fator de Atrito Médio Partículas Sólidas - Parede do Tubo de Transporte	
F	Parâmetro, Equação (1.81)	
F_c	Fator de Expansão	

F_{12}	Força que as Partículas Menores Exercem sobre as Maiores Durante o Choque	[N]
g	Aceleração da Gravidade	[m/s ²]
G_f	Fluxo de Massa do Fluido	[kg/s m ²]
G_s	Fluxo de Massa das Partículas Sólidas	[kg/s m ²]
h	Coeficiente de Transferência de Calor Gás-Sólidos	[w/m ² °C]
I_i	Força Resultante, por Unidade de Volume do Tubo de Transporte, que atua sobre as Partículas Sólidas i , durante o choque	[N/m ³]
I_{12}	Força, por Unidade de Volume do Tubo de Transporte, que as Partículas Sólidas Menores exercem sobre as Maiores	[N/m ³]
K_f	Condutividade Térmica do Fluido,	[w/m °C]
K_s	Condutividade Térmica da Partícula Sólida	[w/m °C]
L	Altura do Tubo de Transporte	[m]
m_a	Massa de Água	[kg]
m_{P2}	Massa de uma Partícula Sólida de Maior Diâmetro	[kg]
m_s	Massa das Partículas Sólidas	[kg]
$\dot{m}_f$	Descarga de Fluido	[kg/s]
$\dot{m}_f^*$	Descarga de Fluido	[kg/h]

$\dot{m}_s$	Descarga das Partículas Sólidas	[kg/s]
$\dot{m}'_s$	Descarga das Partículas Sólidas	[kg/h]
M	Definido pela Equação (1.99)	
M_f	Peso Molecular do Fluido	
M_{mis}	Definido pela Equação (1.32)	
n	Número de Partículas Sólidas de Diferentes Diâmetros Presentes na Mistura	
N_p	Número de Partículas Sólidas	
p	Pressão Manométrica do Fluido	[Pa]
P	Pressão absoluta do Fluido	[Pa]
PDI	Pressão Diferencial entre Duas Cotas de Tubo de Transporte	[mm H ₂ O]
P_p	Pressão à montante da Placa de Orifício do Fluido	[Pa]
r_{s1}	Raio das Partículas Sólidas de Menor Diâmetro	[m]
r_{s2}	Raio das Partículas Sólidas de Maior Diâmetro	[m]
R	Constante Universal dos Gases Ideais	[Pa m ³ /kgmol K]
s	Área da Superfície das Partículas Sólidas, por Unidade de Volume do Tubo de Transporte	[m ² /m ³]

t_{eq}	Temperatura Assintótica de Equilíbrio da Mistura Fluido-Sólidos Definida pela Equação (1.89)	[°C]
t_f	Temperatura do Fluido	[°C]
$t_f(x)$	Temperatura do Fluido na Cota x do Tubo de Transporte	[°C]
$t_f(x+\Delta x)$	Temperatura do Fluido na Cota $(x+\Delta x)$ do Tubo de Transporte	[°C]
$t_f(I)$	Temperatura do Fluido Calculada pelo Modelo I	[°C]
$t_f(II)$	Temperatura do Fluido Calculada pelo Modelo II	[°C]
$t_f(III)$	Temperatura do Fluido Calculada pelo Modelo III	[°C]
T_f	Temperatura Absoluta do Fluido	[K]
t_s	Temperatura das Partículas Sólidas	[°C]
t_{sl}	Temperatura das Partículas Sólidas na Saída do Tubo de Transporte	[°C]
t_{sm}	Temperatura Média da Mistura de Partículas Sólidas Definida pela Equação (3.19)	[°C]
$t_s(x)$	Temperatura das Partículas Sólidas na Cota x do Tubo de Transporte	[°C]
$t_s(x+\Delta x)$	Temperatura das Partículas Sólidas na Cota $(x+\Delta x)$ do Tubo de Transporte	[°C]

$t_s(I)$	Temperatura das Partículas Sólidas Calculada pelo Modelo I	[°C]
$t_s(II)$	Temperatura das Partículas Sólidas Calculada pelo Modelo II	[°C]
$t_s(III)$	Temperatura das Partículas Sólidas Calculada pelo Modelo III	[°C]
T_s	Temperatura Absoluta das Partículas Sólidas	[K]
u_f	Velocidade Superficial do Fluido	[m/s]
u_s	Velocidade Superficial das Partículas Sólidas	[m/s]
v_f	Velocidade do Fluido	[m/s]
$v_f(I)$	Velocidade do Fluido Calculada pelo Modelo I	[m/s]
$v_f(II)$	Velocidade do Fluido Calculada pelo Modelo II	[m/s]
$v_f(III)$	Velocidade do Fluido Calculada pelo Modelo III	[m/s]
v_s	Velocidade das Partículas Sólidas	[m/s]
$\bar{v}_s$	Velocidade Média das Partículas Sólidas Definida pela Equação (1.58)	[m/s]
$v_s(I)$	Velocidade das Partículas Sólidas Calculada pelo Modelo I	[m/s]
$v_s(II)$	Velocidade das Partículas Sólidas Calculada pelo Modelo II	[m/s]

v_s (III)	Velocidade das Partículas Sólidas Calculada pelo Modelo III	[m/s]
v_t^o	Velocidade Terminal de uma Partícula Sólida em Meio Infinito	[m/s]
v_{ti}	Velocidade Terminal Modificada das Partículas Sólidas i Definida pela Equação (1.52)	[m/s]
v_f	Volume do Fluido no Tubo de Transporte	[m ³]
v_p	Volume de uma Partícula Sólida	[m ³]
v_s	Volume das Partículas Sólidas	[m ³]
v_T	Volume da Suspensão Fluido-Sólido no Tubo de Transporte ou Volume do Tubo de Transporte	[m ³]
x	Coordenada na Direção do Escoamento	[m]
x_j	Fração Mássica das Partículas Sólidas Retida na Peneira j	
X_i	Fração Mássica das Partículas Sólidas i	
Y_i	Fração Volumétrica das Partículas Sólidas i	
Z_i	Fração do Número de Partículas Sólidas i Definida pela Equação (1.57)	

SIMBOLOS GREGOS

α	Angulo do Chanfro da Placa de Orifício do Fluido	[Graus]
β	Razão entre o Diâmetro do Orifício (da placa de Orifício do Fluido) pelo Diâmetro Interno do Tubo onde está instalada a Placa = d_{of}/D	
β_v	Concentração Volumétrica das Partículas Sólidas na Suspensão Gás-Sólidos	
γ	Definido pela Equação (1.38)	[kg/m ⁴]
δ	$(t_f - t_{fo})/(t_{so} - t_{fo})$	
ΔA_s	Área da Superfície das Partículas Sólidas	[m ²]
Δm_{s2}	Massa das Partículas Sólidas de Maior Diâmetro, numa Secção do Tubo de Transporte	[kg]
Δp	Perda de Pressão	[Pa]
ΔP_p	Diferencial de Pressão na Placa de Orifício do Fluido	[mm H ₂ O]
ΔQ_f	Calor Trocado pelo Fluido num Elemento de Volume do Tubo de Transporte	[J/s]
ΔQ_s	Calor Trocado pelas Partículas Sólidas num Elemento de Volume do Tubo de Transporte	[J/s]
Δt_m	Diferença Média Logarítima de Temperatura	[°C]
Δx	Elemento de Comprimento do Tubo de Transporte	[m]

ΔV_T	Elemento de Volume do Tubo de Transporte	[m ³]
ϵ	Porosidade da Suspensão Gás-Sólidos	
ϵ_c	Porosidade da Suspensão Gás-Sólidos em "Choking"	
ζ	Rugosidade da Parede do Tubo de Transporte	[mm]
η_1	Definido pela Equação (1.2)	
η_2	Definido pela Equação (1.3)	
η	Definido pela Equação (1.5)	
ϕ	Parâmetro, Equação (1.38)	
λ	Definido pela Equação (2.15)	[1/m]
μ_f	Viscosidade Dinâmica do Fluido,	[kg/m s]
ν_i	Concentração Volumétrica das Partículas Sólidas i Definida pela Equação (1.46)	
ξ	Coeficiente de Frenagem	
ρ_f	Massa Específica do Fluido	[kg/m ³]
ρ_{fp}	Massa Específica do Fluido à Montante da Placa de Orifício do Fluido	[kg/m ³]
ρ_s	Massa Específica das Partículas Sólidas	[kg/m ³]

$\bar{\rho}_s$	Massa Específica Média das Partículas Sólidas Definida pela Equação (1.45)	[kg/m ³]
γ_f	Tensão de Cisalhamento Fluido-Parede do Tubo de Transporte	[Pa]
γ_s	Tensão de Cisalhamento Partículas Sólido-Parede do Tubo de Transporte	[Pa]
v	Coefficiente de Restituição ou Choque	
ϕ	Esfericidade	
χ	$(h_s \times) / (C_{ps} G_s)$	
ψ	Definido pela Equação (2.13)	
ω	$(t_s - t_{fo}) / (t_{so} - t_{fo})$	

SUBSCRITOS

- f Fluido
- i Componente de uma Mistura de Partículas Sólidas
- j Abertura da Malha de Peneira
- l Avaliado na Saída do Tubo de Transporte
- s Sólido
- o Avaliado no Ponto de Alimentação de Sólidos
- 1 Partículas Sólidas de Menor Diâmetro de uma Mistura Binária
- 2 Partículas Sólidas de Maior Diâmetro de uma Mistura Binária

GRUPOS ADIMENSIONAIS

$$Bi \quad \text{Número de Biot,} \quad \frac{h \, d_s}{2 \, K_s}$$

$$Nu \quad \text{Número de Nusselt,} \quad \frac{h \, d_s}{K_f}$$

$$Nu_i \quad \text{Número de Nusselt,} \quad \frac{h_i \, d_{si}}{K_f}$$

$$Pr \quad \text{Número de Prandtl,} \quad \frac{\mu_f \, C_{pf}}{K_f}$$

$$Re_f \quad \text{Número de Reynolds,} \quad \frac{\rho_f \, v_f \, D}{\mu_f}$$

$$Re_s \quad \text{Número de Reynolds,} \quad \frac{\rho_f (v_f - v_s) d_s}{\mu_f}$$

$$Re_{si} \quad \text{Número de Reynolds,} \quad \frac{\rho_f (v_f - v_{si}) d_{si}}{\mu_f}$$

LISTA DAS FIGURAS

Número	Título	Página
2.1	Unidade de Testes de Troca Térmica Gás-Sólidos no Transporte Pneumático Vertical Ascendente	40
2.2	Fluxograma Simplificado do Dispositivo de Testes, U-103	41
2.3a	Desenho Dimensional da Placa de Orifício, FE-01, para Medida da Descarga de Ar	43
2.3b	Desenho de Montagem da Placa de Orifício para Medida da Descarga de Ar	43
2.4	Aquecedor a Vapor, AQ-01	44
2.5	Desenho Dimensional do Aquecedor a Vapor, AQ-01 ..	45
2.6	Ejetor, EJ-01	47
2.7	Desenho Dimensional do Ejetor, EJ-01	48
2.8	Desenho Esquemático do Sistema de Alimentação de Sólidos por Gravidade	49
2.9	Desenho Dimensional do Silo de Carga, SI-01	50
2.10	Detalhe Dimensional das Placas de Orifício para Controle da Descarga de Sólidos	51
2.11	Tubo de Transporte, TT-01	52
2.12	Desenho Dimensional das Tomadas de Temperaturas, Pressões e Diferenciais de Pressão ao Longo do Tubo de Transporte	53
2.13	Termopar, Poço de Proteção e Termopar com Poço de Proteção para Medida da Temperatura do Gás na Suspensão Gás-Sólidos	55
2.14	Desgaste causado pelas Partículas Sólidas no Poço de Proteção, e Termopar para Medida da Temperatura da Suspensão Gás-Sólidos	55
2.15	Painel de Medida de Temperaturas	56
2.16	Multimanômetro, PDI-05, para Medida dos Diferenciais de Pressão ao Longo do Tubo de Transporte ..	58
2.17	Desenho Dimensional do Multimanômetro, PDI-05 ...	59

LISTA DAS FIGURAS (CONT.)

Número	Título	Página
2.18	Desenho Dimensional do Separador Gravitacional, SG-01	61
2.19	Amostrador de Sólidos para Medida da Temperatura dos Sólidos na Saída do Separador Gravitacional .	62
2.20	Ciclone, CI-01	63
2.21	Desenho Dimensional do Ciclone, CI-01	64
2.22	Silo de Coleta, SI-02 e Tubo de Transporte, TT-01	65
2.23	Desenho Dimensional do Silo de Coleta, SI-02	66
2.24	Desenho Dimensional do Silo de Coleta, SI-03	68
2.25a	Esferas de Vidro de Faixa Granulométrica $-0,5 + 0,364$ mm, Ampliada em Cem Vezes, Após a Separação do Material em Faixas Estreitas e Antes dos Testes Preliminares	72
2.25b	Esferas de Vidro de Faixa Granulométrica $-0,5 + 0,364$ mm, Ampliadas em Cem Vezes, Após a Realização dos Testes Preliminares	72
2.26	Desenho Esquemático do Sistema de Alimentação de Sólidos Utilizando Rosca Sem Fim	78
2.27a	Desenho Esquemático da Rosca Sem Fim	80
2.27b	Desenho Dimensional do Helicóide com Passo de 74 mm	80
2.27c	Desenho Dimensional do Helicóide com Passo de 18 mm	80
2.28	Desenho Simplificado de Três Concepções de Ejetores	81
2.29a	Vistas da Agulha	83
2.29b	Esquema de Montagem da Agulha no Tubo de Transporte	83
2.29c	Detalhe de Fixação e Vedação da Agulha	83
2.30	Detalhes da Agulha com Tela de Proteção Externa e do Termopar Confeccionado com Fios de Ferro e Constantan	84

LISTA DAS FIGURAS (CONT.)

Número	Título	Página
2.31	Detalhes de Montagem do Termopar na Agulha com Tela de Proteção Externa. (A Foto Mostra Também Peças de Vedação e Fixação do Termopar ao Tubo de Transporte).....	85
2.32	Fotografia de uma Agulha Sem Uso e de Duas com Desgaste, Correspondentes aos TE-05 e TE-06, Respectivamente	86
2.33	Detalhes da Agulha com Tela de Proteção Interna .	87
2.34	Detalhes de Montagem do Termopar na Agulha com Tela de Proteção Interna	88
2.35	Efeito da Abrasão das Partículas Sólidas na Tela de Proteção Interna	89
2.36	Efeito da Abrasão das Partículas Sólidas nas Agulhas de Proteção dos Termopares	89
2.37	Agulha de Proteção Sem Furos e Sem Tela de Proteção	90
2.38	Curva Típica do Perfil de Temperatura do Ar ao Longo do Tubo de Transporte Numa Operação em Batelada	91
3.1	Esquema para o Transporte Pneumático Vertical Ascendente de Mistura de Partículas Sólidas	113
4.1	Dados Experimentais e Curva de Ajuste para toda Faixa de Valores Disponíveis de β_v	131
4.2	Dados Experimentais para Valores de β_v , Utilizada Neste Trabalho	132
4.3	Comparação dos Dados Experimentais e Curva Geral de Ajuste para toda a Faixa de Valores Disponíveis de β_v	134
4.4	Comparação dos Dados Experimentais e Curva Geral de Ajuste para a Faixa de β_v , Utilizado Neste Trabalho	135
4.5	Temp. Fluido x Comprimento Comparativo. No. Teste: 8	139

LISTA DAS FIGURAS (CONT.)

Número	Título	Página
4.6	Temp. Sólidos x Comprimento Comparativo. No. Teste: 8	139
4.7	Pressão Man. Fluido x Comprimento Comparativo. No. Teste: 8	139
4.8	Temp. Fluido x Comprimento Comparativo. No. Teste: 10	140
4.9	Temp. Sólidos x Comprimento Comparativo. No. Teste: 10	140
4.10	Pressão Man. Fluido x Comprimento Comparativo. No. Teste: 10	140
4.11	Temp. Fluido x Comprimento Comparativo. No. Teste: 15	141
4.12	Temp. Sólidos x Comprimento Comparativo. No. Teste: 15	141
4.13	Pressão Man. Fluido x Comprimento Comparativo. No. Teste: 15	141
4.14	Temp. Fluido x Comprimento Comparativo. No. Teste: 8	142
4.15	Temp. Sólidos x Comprimento Comparativo. No. Teste: 8	142
4.16	Pressão Man. Fluido x Comprimento Comparativo. No. Teste: 8	142
4.17	Temp. Fluido x Comprimento Comparativo. No. Teste: 10	143
4.18	Temp. Sólidos x Comprimento Comparativo. No. Teste: 10	143
4.19	Pressão Man. Fluido x Comprimento Comparativo. No. Teste: 10	144
4.20	Temp. Fluido x Comprimento Comparativo. No. Teste: 15	144
4.21	Temp. Sólidos x Comprimento Comparativo. No. Teste: 15	144

LISTA DAS FIGURAS (CONT.)

Número	Título	Página
4.22	Pressão Man. Fluido x Comprimento Comparativo. No. Teste: 15	144
4.23	Temp. Fluido e Comprimento Comparativo. No. Teste: 23	155
4.24	Temp. Sólidos x Comprimento Comparativo. No. Teste: 23	155
4.25	Pressão Man. Fluido x Comprimento Comparativo. No. Teste: 23	156
4.26	Vel. Fluido x Comprimento No. Teste: 23	156
4.27	Vel. Sólidos x Comprimento No. Teste: 23	158
4.28	Vel. x Comprimento No. Teste: 23	158
4.29	Razão Y_1/Y_{o1} x Comprimento No. Teste: 23	159
4.30	Temp. Fluido x Comprimento No. Teste: 23	159
4.31	Temp. x Comprimento No. Teste: 23	160
4.32	Temp. Sólidos x Comprimento No. Teste: 23	160
4.33	Temp. Fluido x Comprimento Comparativo-Val. Exp. e Mod. I, II e III. No. Teste: 25	162
4.34	Temp. Sólidos x Comprimento Comparativo-Val. Exp. e Mod. I, II e III. No. Teste: 25	162
4.35	Pressão Man. Fluido x Comprimento Comparativo-Val. Exp. e Mod. I, II e III. No. Teste: 25	162

LISTA DAS FIGURAS (CONT.)

Número	Título	Página
4.36	Temp. Fluido x Comprimento Comparativo-Val. Exp. e Mod. I, II e III. No. Teste: 33	163
4.37	Temp. Sólidos x Comprimento Comparativo-Val. Exp. e Mod. I, II e III. No. Teste: 33	163
4.38	Pressão Man. Fluido x Comprimento Comparativo-Val. Exp. e Mod. I, II e III. No. Teste: 33	163
4.39	Temp. Fluido x Comprimento Comparativo-Val. Exp. e Mod. I, II e III. No. Teste: 36	164
4.40	Temp. Sólidos x Comprimento Comparativo-Val. Exp. e Mod. I, II e III. No. Teste: 36	164
4.41	Pressão Man. Fluido x Comprimento Comparativo-Val. Exp. e Mod. I, II e III. No. Teste: 36	164
4.42	Temp. Fluido x Comprimento Comparativo-Val. Exp. e Mod. I, II e III. No. Teste: 38	165
4.43	Temp. Sólidos x Comprimento Comparativo-Val. Exp. e Mod. I, II e III. No. Teste: 38	165
4.44	Pressão Man. Fluido x Comprimento Comparativo-Val. Exp. e Mod. I, II e III. No. Teste: 38	165
4.45	Vel. Sólidos x Comprimento Comparativo entre Modelos I, II e III. No. Teste: 25	167
4.46	Vel. Sólidos x Comprimento Comparativo entre Modelos I, II e III. No. Teste: 36	167
4.47	Vel. Sólidos x Comprimento Comparativo entre Modelos I, II e III. No. Teste: 38	168

LISTA DAS FIGURAS (CONT.)

Número	Título	Página
4.48	Vel. Sólidos x Comprimento Comparativo entre Modelos I, II e III. No. Teste: 33	168
4.49	Razão Y_1/Y_{o1} x Comprimento Comparativo entre Modelos I, II e III. No. Teste: 25	170
4.50	Razão Y_1/Y_{o1} x Comprimento Comparativo entre Modelos I, II e III. No. Teste: 33	170
4.51	Razão Y_1/Y_{o1} x Comprimento Comparativo entre Modelos I, II e III. No. Teste: 36	171
4.52	Razão Y_1/Y_{o1} x Comprimento Comparativo entre Modelos I, II e III. No. Teste: 38	171
4.53	Temp. Sólidos x Comprimento Comparativo entre Modelos I, II e III. No. Teste: 25	172
4.54	Temp. Sólidos x Comprimento Comparativo entre Modelos I, II e III. No. Teste: 33	172
4.55	Temp. Sólidos x Comprimento Comparativo entre Modelos I, II e III. No. Teste: 36	174
4.56	Temp. Sólidos x Comprimento Comparativo entre Modelos I, II e III. No. Teste: 38	174

LISTA DE TABELAS

Número	Título	Página
2.1	Dados de Projeto do Aquecedor a Vapor, AQ-01	46
2.2	Análises Granulométricas e Diâmetros Médios de Sauter das Esferas de Vidro Peneiradas, Após a Realização dos Testes Preliminares ..	70
2.3	Propriedade das Partículas Sólidos	73
2.4	Diâmetro Médio de Sauter das Misturas Binárias	73
2.5	Valores Experimentais das Variáveis Específicas para Cálculo da Descarga de Fluido em Testes com Partículas Sólidas de Diâmetro Uniforme	94
2.6	Medidas Experimentais de Pressões e Diferenciais de Pressão (em mm H ₂ O) para Testes com Partículas Sólidas de Diâmetro Uniforme	95
2.7	Valores Experimentais de Temperaturas do Fluido e Sólido (em Graus Centígrados) para Testes com Partículas Sólidas de Diâmetro Uniforme	96
2.8	Valores Experimentais das variáveis Específicas para Cálculo da Descarga de Fluido em Testes com Misturas Binárias	97
2.9	Medidas Experimentais de Pressões e Diferenciais de Pressão (em mm H ₂ O) para Testes com Misturas Binárias	99
2.10	Valores Experimentais de Temperaturas do Fluido e Sólido (em Graus Centígrados) para Testes com Misturas Binárias	101
4.1	Valores de Diâmetros das Partículas Sólidos e de Descargas do Fluido e Sólidos para Testes com Partículas de Diâmetro Uniforme	126
4.2	Medidas Experimentais do Perfil de Pressão Manométrica (em Pascal) ao Longo do Tubo de Transporte para Testes com Partículas Sólidas de Diâmetro Uniforme	127
4.3	Valores das Variáveis Fluidodinâmicas e Térmicas Obtidas Através do Modelo de Simulação para Testes com Partículas Sólidas de Diâmetro Uniforme	128

LISTA DE TABELAS

Número	Título	Página
4.4	Parâmetros para o Cálculo do Coeficiente de Transferência de Calor Gás-Sólidos	130
4.5.	Resultados Experimentais para Partículas Sólidas de Diâmetro Uniforme. A Porosidade foi Obtida por Simulação	136
4.6	Valores dos Diâmetros, das Frações Mássicas das Partículas Sólidas e das Descargas de Fluido e Sólidos, para os Teste com Misturas Binárias	146
4.7	Medidas Experimentais do Perfil de Pressão Manométrica (em Pascal) ao Longo do Tubo de Transporte para Testes com Misturas Binárias	149
4.8	Resultados Experimentais para Suspensões de Misturas Binárias	151

CAPITULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. MOTIVAÇÃO A PESQUISA

Para recuperar o potencial energético, sob a forma de óleo e gás, contido no xisto da Formação Irati a PETROBRAS, através da Superintendência da Industrialização do Xisto - SIX, desenvolveu o Processo Petrosix, que utiliza xisto na faixa granulométrica de 1/4" a 3". As partículas abaixo de 1/4" são denominadas finos de xisto e representam 20% em energia do total do xisto minerado. Com a finalidade de aproveitar esse material e com isso aumentar o rendimento térmico do Processo Petrosix, a PETROBRAS desenvolveu um processo de pirólise para os finos de xisto, denominado PLASOL: Pirólise em Leito de Arraste de Sólidos. Nesse processo o xisto é arrastado por um gás num reator em transporte pneumático vertical ascendente, onde a energia para a pirólise é cedida através das paredes do reator. A carga do processo Plasol é composta de xisto com granulometria menor do que 1,7 mm.

Outro processo em transporte pneumático vertical é o craqueamento catalítico fluido, F.C.C. - "Fluid Catalytic Cracking". Este processo é muito importante dentro da indústria do petróleo, pois transforma frações residuais de petróleo, de baixo valor comercial, em derivados nobres de alto valor comercial, aumentando com isso os lucros de uma refinaria de petróleo, uma vez que o craqueamento catalítico tem alta rentabilidade. A PETROBRAS possui, atualmente, doze unidades de FCC.

O craqueamento catalítico é um processo de refino com a finalidade de aumentar a produção de gasolina e GLP, através da

conversão de cortes pesados, gasóleos e resíduos, provenientes da destilação do petróleo, em frações mais leves. Este processo consiste na quebra de moléculas pesadas presentes na carga, gasóleos ou resíduos, por ação de um catalisador à alta temperatura. Devido à seletividade do catalisador grande parte dos compostos gerados no craqueamento estão na faixa do GLP e gasolina, ou seja, compostos contendo de três a doze átomos de carbono.

As reações de craqueamento ocorrem num reator adiabático em leito de transporte pneumático vertical ascendente, denominado "riser", onde o catalisador, transportado por vapor de água, cede calor para aquecer e vaporizar a carga e promover as reações de craqueamento, que de uma forma global, são endotérmicas. O catalisador empregado é constituído de partículas sólidas, a base de sílica e alumina, com estrutura em rede cristalina e faixa granulométrica de 37 a 177 μm .

Para a simulação do processo de pirólise dos finos de xisto e do craqueamento catalítico são necessários os conhecimentos da fluidodinâmica e da transferência de calor gás-sólido no interior do reator. As correlações existentes para estes fenômenos são válidas para sólidos com diâmetro de partícula único. Para sólidos com vários diâmetros de partícula são utilizados diâmetros médios, que representam o conjunto. Esse critério é razoável quando se têm sólidos com uma faixa granulométrica estreita; em caso contrário, como é a carga do Processo PLASOL e do catalisador de craqueamento catalítico, o erro envolvido pode ser considerável.

Além dos dois exemplos acima citados, o escoamento de uma suspensão gás-sólido, mais conhecido como transporte pneumático, também tem sido largamente utilizado em uma grande variedade de processos tecnológicos tais como: secagem, reações químicas, carregamento e descarregamento de silos, etc.

Devido a isto, há muito interesse no estudo do transporte pneumático. Apesar do progresso nessa área nos últimos anos, o projeto de um sistema que opera com esta concepção, permanece essencialmente mais como uma arte experimental do que uma ciência bem fundamentada. A razão para tanto são os complexos mecanismos envolvidos nas interações partícula-partícula, partícula-gás e partícula-parede, as quais dificilmente se consegue isolar de modo experimental satisfatório, para efeito de estudo.

1.2. ESTADO DA ARTE

Para seu melhor entendimento, a revisão bibliográfica será subdividida em duas partes:

- . Fluidodinâmica,
- . Transferência de Calor Gás-sólidos.

1.2.2. FLUIDODINAMICA

A grande maioria dos trabalhos na área de transporte pneumático vertical ascendente são relativos a sólidos contendo partículas de tamanho uniforme. Os trabalhos relacionados com misturas enfatizam a necessidade de se considerar a segregação de partículas que ocorre no transporte pneumático. A segregação consiste na alteração da composição das partículas sólidas de uma mistura, ou seja, a composição das partículas sólidas no ponto de alimentação de sólidos é diferente da composição no tubo de transporte, fazendo com que, um produto perfeitamente misturado se torne segregado no tubo de transporte. A segregação acontece devido às diferentes velocidades das partículas de diâmetros diferentes. O grau de segregação depende da diferença de diâmetros das partículas, da massa específica e descarga das partículas e da velocidade do gás de transporte. Para avaliação da segregação das partículas sólidas de faixa granulométrica i numa determinada cota do tubo de transporte se utiliza a razão entre a fração volumétrica das partículas sólidas i na referida cota pela fração volumétrica, das mesmas partículas, no ponto de alimentação de sólidos.

Os estudos relacionados com a fluidodinâmica do transporte pneumático geralmente são realizados em regime permanente. Este regime significa que as condições em todo os pontos do tubo de transporte são constantes no tempo, embora elas possam ser diferentes em pontos distintos do tubo de transporte.

No escoamento em regime permanente pode-se considerar uma região de escoamento acelerado e uma de escoamento estabelecido. A região de escoamento acelerado é a região do tubo de transporte em que as partículas sólidas são aceleradas de uma velocidade próxima de zero até um ponto, a partir do qual o valor de velocidade é aproximadamente constante. A região de escoamento estabelecido é a região que as velocidades das partículas sólidas são aproximadamente constantes, isto é, a aceleração das partículas é em torno de zero.

MUSCHELKNAUTZ (1959) fez um estudo teórico, admitindo regime permanente e região de escoamento estabelecido, do transporte pneumático vertical ascendente de partículas sólidas contendo partículas de tamanho uniforme e misturas binárias, na qual levou em consideração o choque das partículas menores com as maiores, para cálculo da queda de pressão e velocidade de partícula. Para o cálculo da força de interação devido ao choque entre as partículas ele considerou dois parâmetros adicionais, um relacionado à elasticidade das partículas que se chocam, denominado coeficiente de choque ou coeficiente de restituição ou, ainda, coeficiente de repulsão, e, outro relacionado à velocidade relativa efetiva das partículas colidindo, denominado coeficiente de frenagem.

A equação que fornece a força que as partículas menores exercem sobre as maiores durante o choque, numa seção da linha de transporte, F_{12} foi obtida pelo autor através da aplicação da equação da Quantidade de Movimento a massa total de partículas sólidas presentes no tubo de transporte:

$$F_{12} = \frac{\Delta m_{s2}}{m_{p2}} \frac{\eta_1 \left(\frac{u_f}{v_{s1}} \right)}{\frac{\eta_1}{\eta_2} \frac{v_{s2}}{v_{s1}} + 1} \left(v_{s1} - v_{s2} \right)^2 \leq \frac{1+v}{1-v} \left(r_{s2} + r_{s1} \right)^2 \pi \rho_f \quad (1.1)$$

sendo:

$$\eta_1 = \dot{m}_{s1} / \dot{m}_f, \quad (1.2)$$

e

$$\eta_2 = \dot{m}_{s2} / \dot{m}_f. \quad (1.3)$$

onde:

Δm_{s2} = massa das partículas sólidas de maior diâmetro, numa seção do tubo de transporte;

m_{p2} = massa de uma partícula sólida de maior diâmetro;

u_f = velocidade superficial do fluido;

v_{s1} e v_{s2} = velocidades das partículas sólidas de menor e maior diâmetro, respectivamente;

v = coeficiente de restituição, também denominado coeficiente de choque, o qual leva em conta a elasticidade dos corpos que se chocam, $0 \leq v \leq 1$;

r_{s1} e r_{s2} = raios das partículas sólidas de menor e maior diâmetro, respectivamente;

ρ_f = massa específica do fluido;

$\dot{m}_{s1}$ e $\dot{m}_{s2}$ = descargas das partículas sólidas de menor e maior diâmetro, respectivamente;

$\dot{m}_f$ = descarga de fluido.

ξ = coeficiente de frenagem através do choque das partículas, também denominado de coeficiente relacionado à velocidade relativa efetiva de colisão, ou ainda, parâmetro relacionado à velocidade relativa entre partículas colidindo e as partículas alvo.

Para o choque totalmente plástico $v = 0$ e para o totalmente elástico $v = 1$.

O coeficiente de frenagem leva em conta o fato que as partículas geralmente não se chocam centralmente umas com as outras e sim nas bordas, sem trocar com isso o impulso total. Logo $\xi < 1$.

MUSCHELNAUTZ em seu trabalho sobre perda de pressão no transporte pneumático vertical considerou uma mistura de trigo e sêmola de trigo, com 50% em massa de cada material, para uma carga total de sólidos transportado η variando de 0 a 4,5, onde:

$$\eta = \frac{\dot{m}_s}{\dot{m}_f} \quad (1.4)$$

e $\dot{m}_s$ é a descarga total de sólidos, dada por

$$\dot{m}_s = \dot{m}_{s1} + \dot{m}_{s2} \quad (1.5)$$

assim, de (1.2) e (1.3), resulta

$$\eta = \eta_1 + \eta_2 \quad (1.6)$$

Para comparação dos dados experimentais com os teóricos ele considerou $v = 0,5$ e utilizou valores para ξ iguais a 0,33; 0,5 e 1,0. O melhor resultado foi obtido com $\xi = 0,5$.

ZENS e OTHMER (1960) em seus estudos de velocidades de "choking" no transporte pneumático vertical e de velocidades de salto no transporte pneumático horizontal, chegaram à conclusão de que, para sólidos contendo partículas de tamanho uniforme, as velocidades de "choking"⁽¹⁾ e salto⁽²⁾ são sempre iguais, enquanto para sólidos contendo partículas de vários tamanhos a velocidade de salto é três a seis vezes a de "choking". Os autores recomendam o uso do diâmetro médio geométrico para o cálculo da velocidade de "choking" e da queda de pressão no transporte pneumático vertical de uma mistura de partículas, quando a velocidade do fluido é maior do que a velocidade de queda livre da maior partícula presente na mistura.

LEUNG, WILES e NICKLIN (1971) desenvolveram uma equação para determinação da velocidade de "choking" de misturas de partículas em que assumiram:

- A porosidade média do início do "choking" é 0,97;
- A velocidade de escorregamento da partícula (velocidade do fluido menos a velocidade da partícula) é igual à velocidade terminal referida partícula.

(1) Velocidade de "choking": corresponde à velocidade superficial do fluido em que o transporte pneumático vertical passa da fase diluída para a fase empistonada.

(2) Velocidade de salto: corresponde a velocidade superficial do fluido em que as partículas sólidas começam a se depositar no fundo de um tubo de transporte horizontal.

Eles afirmaram que para o transporte de misturas de partículas é importante considerar que a distribuição de partículas no tubo de transporte é diferente da de alimentação e a diferença é devido ao fato de que as partículas menores são mais velozes do que as maiores, resultando no tubo de transporte uma fração maior das partículas maiores do que na alimentação de sólidos. Isto explicava a observação de que uma mistura de partículas se comportaria de maneira semelhante às partículas sólidas uniformes, com diâmetro maior que o diâmetro médio da mistura.

A equação da continuidade para cada fração das partículas sólidas da mistura foi dada por:

$$u_s Y_{oi} = (1 - \epsilon_c) Y_i \left(\frac{u_f}{\epsilon_c} - v_{ti}^o \right) \quad (1.7)$$

em que:

$$\epsilon_c = V_f / V_T; \quad (1.8)$$

$$V_T = V_f + V_s = A L; \quad (1.9)$$

$$A = \pi D^2 / 4; \quad (1.10)$$

$$Y_{oi} = V_{soi} / V_{so}; \quad (1.11)$$

$$Y_i = V_{si} / V_s; \quad (1.12)$$

$$V_{so} = \sum_{i=1}^n V_{soi}, \quad (1.13)$$

e

$$V_s = \sum_{i=1}^n V_{si}. \quad (1.14)$$

onde:

u_s = velocidade superficial da mistura de partículas sólidas;

ϵ_c = porosidade da suspensão gás-sólido em "choking";

V_f = volume do fluido, no tubo de transporte;

V_T = volume total da suspensão gás-sólidos ou volume total do tubo de transporte;

Y_{oi} e Y_i = frações volumétricas das partículas sólidas i no ponto de alimentação de sólidos e no tubo de transporte, respectivamente;

V_{soi} e V_{so} = volumes das partículas sólidas i no ponto de alimentação de sólidos e no tubo de transporte, respectivamente;

V_{so} e V_s = volumes totais das partículas sólidas no ponto de alimentação de sólidos e no tubo de transporte, respectivamente;

A = área da seção transversal do tubo de transporte;

L = altura do tubo de transporte;

D = diâmetro interno do tubo de transporte, e

n = número de partículas sólidas de diferentes diâmetros presentes na mistura.

A equação da continuidade para a mistura, por sua vez foi dada por:

$$u_s = (1 - \epsilon_c) \sum_{i=1}^n Y_i \left(\frac{u_f}{\epsilon_c} - v_{ti}^o \right) \quad (1.15)$$

HAIR e SMITH (1972) investigaram a queda de pressão de misturas de partículas no transporte pneumático vertical, utilizando as correlações existentes na literatura. Testes experimentais realizados por eles mostraram que a equação de VOGT e WHITE (1948), deduzida para partículas de tamanho uniforme, apresentava o menor erro, quando aplicada para o cálculo da queda de pressão de uma mistura de partículas, se o diâmetro médio geométrico ponderado da mistura era utilizado na equação, como sugerido por ZENS e OTHMER (1960).

CAVES e NAKAMURA (1973) e NAKAMURA e CAVES (1973a) estudaram teórica e experimentalmente o transporte pneumático de partículas uniformes em regime permanente na região de escoamento estabelecido, e chegaram à conclusão de que a velocidade de escorregamento no transporte pneumático pode ser maior do que a velocidade terminal das partículas sólidas em meio infinito devido ao atrito das partículas com a parede do tubo de transporte e/ou da recirculação das partículas sólidas do referido tubo. Para velocidade do fluido acima da velocidade terminal das partículas sólidas eles formularam um modelo, denominado modelo do escoamento uniforme e derivaram uma relação entre a velocidade do fluido e a velocidade das partículas sólidas a partir do balanço de quantidade de movimento aplicada às fases fluida e sólida:

$$u_f = B + M \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} u_s \quad (1.16)$$

sendo:

$$B = \left(1 - \frac{2 \tau_f}{\rho_s g D} \right) v_t^0; \quad (1.17)$$

$$M = 1 + \frac{C v_t^0}{g D}, \quad (1.18)$$

e

$$\tau_s = \left(\frac{C}{2} \right) \rho_s u_s. \quad (1.19)$$

onde:

τ_f = tensão de cisalhamento fluido-parede do tubo de transporte;

C = parâmetro da equação (1.20);

τ_s = tensão de cisalhamento partículas sólidas-parede do tubo de transporte;

ρ_s = massa específica das partículas sólidas, e

g = aceleração da gravidade.

NAKAMURA e CAPES (1973b) desenvolveram uma equação semelhante para o modelo de escoamento uniforme no transporte de misturas binárias em regime permanente e na região de escoamento estabelecido:

$$u_f = B_1 + M_1 \frac{\epsilon X_{o1} u_s}{X_1 (1 - \epsilon)} \quad (1.20)$$

ou, em termos de partícula de maior diâmetro:

$$u_f = B_2 + M_2 \frac{\epsilon X_{o2} u_s}{X_2 (1 - \epsilon)} \quad (1.21)$$

sendo:

$$\varepsilon = V_f/V_T; \quad (1.22)$$

$$X_{o1} = m_{so1}/m_{so}; \quad (1.23)$$

$$X_1 = m_{so1}/m_s; \quad (1.24)$$

$$X_{o2} = m_{so2}/m_{so}; \quad (1.25)$$

$$X_2 = m_{s2}/m_s; \quad (1.26)$$

$$m_{so} = m_{so1} + m_{so2}, \quad (1.27)$$

e

$$m_s = m_{s1} + m_{s2} \quad (1.28)$$

onde:

ε = porosidade da suspensão gás-sólido no tubo de transporte;

X_{o1} e X_{o2} = frações mássicas das partículas sólida 1 e 2, respectivamente, no ponto de alimentação de sólidos;

X_1 e X_2 = frações mássicas das partículas sólidas 1 e 2, respectivamente, no tubo de transporte;

m_{so1} e m_{so2} = massas das partículas sólidas 1 e 2, respectivamente, no ponto de alimentação de sólidos;

m_{s1} e m_{s2} = massas das partículas sólidas 1 e 2, respectivamente, no tubo de transporte, e

m_{so} e m_s = massas totais de partículas sólidas no ponto de alimentação de sólidos e no tubo de transporte, respectivamente.

Como:

$$X_1 + X_2 = 1 \quad (1.29)$$

tem-se:

$$u_f = B_{mis} + M_{mis} \frac{\epsilon}{1-\epsilon} u_s \quad (1.30)$$

B_{mis} e M_{mis} , são dados por uma combinação linear das constantes para os dois tipos de partículas, isto é:

$$B_{mis} = X_1 B_1 + X_2 B_2 \quad (1.31)$$

e

$$M_{mis} = X_{o1} M_1 + X_{o2} M_2 \quad (1.32)$$

O nível de segregação de partículas, na linha de transporte, previsto pelo modelo foi muito maior do que o obtido experimentalmente, uma vez que foi considerada na dedução das equações a hipótese de que não havia troca de quantidade de movimento entre partículas de tamanho diferentes.

LEUNG e WILES (1976), baseados em trabalho realizado por YANG (1975), que considerou o fator de atrito partículas sólidas-parede igual a 0,01 em "choking", obtiveram para o cálculo da porosidade e das velocidades do fluido e das partículas sólidas, numa mistura de partículas sólidas no transporte pneumático vertical, em regime permanente, na região de escoamento estabelecido, as equações abaixo:

Equação da continuidade para cada fração de partículas sólidas i

$$Y_{oi} u_s = Y_i (1 - \varepsilon_c) (u_f - v_{ti}^o) \quad (1.33)$$

Equação da continuidade para mistura de partículas:

$$\sum_{i=1}^n Y_i \left(u_f - v_{ti}^o \right)^2 = 200 \text{ g D } \left(\varepsilon_c^{-4,7} - 1 \right) \quad (1.34)$$

onde:

$$\sum_{i=1}^n Y_{oi} = 1, \quad (1.35)$$

e

$$\sum_{i=1}^n Y_i = 1. \quad (1.36)$$

As equações acima não levaram em consideração a interação entre partículas, ocasionando o efeito de segregação muito mais pronunciado.

NAKAMURA e CAPES (1976) em seus estudos derivaram uma equação de balanço de quantidade de movimento para uma mistura binária de partículas no transporte pneumático vertical em regime permanente, na região de escoamento estabelecido, incorporando a força de colisão entre as partículas de diâmetros diferentes. Eles realizaram também experimentos para medição do grau de segregação na linha de transporte.

A força I_{12} , por unidade do volume da linha, que as partículas menores e com maior velocidade exercem nas maiores, e com menor velocidade devido ao choque, foi obtida através da equação quantidade de movimento aplicada às partículas sólidas que se chocam:

$$I_{12} = \gamma Y_1 Y_2 (1 - \epsilon)^2 \left\{ \frac{u_{s1}}{Y_1(1-\epsilon)} - \frac{u_{s2}}{Y_2(1-\epsilon)} \right\}^2 \quad (1.37)$$

e

$$\gamma = \frac{3}{4} \theta (1 + \nu) \rho_{s1} \frac{1}{r_{s2}} \frac{\left(1 + \frac{r_{s1}}{r_{s2}} \right)^2}{1 + \left(\frac{\rho_{s1}}{\rho_{s2}} \right) \left(\frac{r_{s1}}{r_{s2}} \right)^3} \quad (1.38)$$

sendo:

$$Y_1 = V_{s1} / V_s ; \quad (1.39)$$

$$Y_2 = V_{s2} / V_s, \quad (1.40)$$

e

$$V_s = V_{s1} + V_{s2} . \quad (1.41)$$

onde:

Y_1 e Y_2 = frações volumétricas das partículas sólidas de menor e maior diâmetro, respectivamente, no tubo de transporte;

u_{s1} e u_{s2} = velocidades superficiais das partículas sólida de menor e maior diâmetro, respectivamente, no tubo de transporte;

θ = parâmetro da equação (1.38);

ρ_{s1} e ρ_{s2} = massas específicas das partículas sólida de menor e maior diâmetro, respectivamente, no tubo de transporte, e

V_{s1} e V_{s2} = volumes das partículas sólidas de menor e maior diâmetro, respectivamente, no tubo de transporte.

Na dedução da equação (1.37) foi admitido que uma dada partícula não retorna à mesma partícula alvo, ou seja, que partículas diferentes se chocam uma única vez.

Em seus estudos experimentais utilizaram três diferentes misturas binárias, duas empregando esferas de aço, de diâmetros 0,54 e 2,34 mm e de diâmetros 0,54 e 1,2 mm, e uma de esferas de vidro, de diâmetros 1,08 e 2,9 mm. O coeficiente $\theta(1+v)$ para cada mistura foi escolhido para dar o melhor ajuste com os pontos experimentais. A suposição de nenhuma interação entre as partículas, isto é, $\theta(1+v) = 0$, conduziu a uma predição de maior segregação das partículas do que aquela observada experimentalmente.

YANG, em 1978, formulou um modelo para cálculo, em regime permanente e na região de escoamento estabelecido, da queda de pressão, velocidade e segregação de partículas no transporte pneumático vertical de uma mistura. O modelo, semelhante ao proposto por LEUNG, WILES e NICKLIN (1971), admitiu que o transporte de uma mistura num tubo fosse semelhante ao transporte dos componentes individuais em tubos separados de mesmo diâmetro, portanto, denominado modelo de cilindros separados. As interações entre as partículas diferentes são levadas em conta modificando a velocidade terminal dos componentes individuais. A velocidade de escorregamento da partícula i foi dada pela equação abaixo (YANG (1973)):

$$v_f - v_{si} = v_{ti} \left[1 + \frac{\bar{f}_s v_{si}^2}{2g D} \right]^{1/2} e^{2,35} \quad (1.42)$$

O fator $\epsilon^{2,35}$ corrige o acréscimo do coeficiente de arraste devido à colisão de partículas e o fator $\left(1 + \frac{\bar{f}_s v_{si}^2}{2gD}\right)^{1/2}$ leva em conta a interação partículas sólidas-parede.

onde:

v_{ti} = velocidade terminal modificada, calculada conforme a equação (1.52), e

$\bar{f}_s$ = fator de atrito médio das partículas sólidas com a parede do tubo de transporte, calculado como:

$$\bar{f}_s = \left(\frac{A}{\dot{m}_s}\right)^2 \rho_s \left(1 - \epsilon\right) \sum_{i=1}^n \left(f_{si} \rho_{si} v_i v_{si}^2\right) \quad (1.43)$$

em que:

$$\bar{\rho}_s = \sum_{i=1}^n Y_i \rho_{si} ; \quad (1.44)$$

$$\epsilon = 1 - \sum_{i=1}^n v_i ; \quad (1.45)$$

$$v_i = \frac{V_{si}}{V_T} = (1 - \epsilon) Y_i ; \quad (1.46)$$

$$v_i = (1 - \epsilon) Y_i ; \quad (1.47)$$

$$\sum_{i=1}^n Y_i = 1, \quad (1.48)$$

e

$$f_{si} = \frac{0,0126 v_i}{(1 - v_i)^3} \left[v_i \frac{v_{ti}}{v_f - v_{si}} \right]^{-0,979} \quad (1.49)$$

onde:

$\bar{\rho}_s$ = massa específica média das partículas sólidas;

ν_i = fração volumétrica das partículas sólidas i em relação ao volume total da mistura fluido-sólido, no tubo de transporte, e

f_{si} = fator de atrito das partículas sólidas i com a parede do tubo de transporte.

Para levar em conta a interação entre partículas diferentes os autores admitiram a velocidade terminal v_{ti} nas equações (1.42) e (1.49) como desconhecida e sujeita a correções devido às interações entre as partículas. No caso de uma única partícula, v_{ti} seria a própria v_{ti}^0 , que é, a velocidade terminal da partícula isolada em meio infinito. Para uma mistura, v_{ti} não seria igual a v_{ti}^0 .

Além das equações acima foi considerada a equação da continuidade:

$$\dot{m}_s X_{oi} = v_{si} \rho_{si} \nu_i A \quad (1.50)$$

onde:

$$\sum_{i=1}^n X_{oi} = 1 \quad (1.51)$$

Quando v_{ti} é determinada experimentalmente, as equações (1.42)-(1.51) seriam empregadas para calcular o grau de segregação das partículas no tubo de transporte. Para comparar o modelo proposto, com os dados experimentais de NAKAMURA e CAPES (1976), YANG utilizou para a velocidade terminal a seguinte expressão:

$$v_{ti} = \frac{(v_{ti})_x + (v_{ti})_z}{2} \quad (1.52)$$

sendo:

$$(v_{ti})_x = x_{oi} v_{ti}^o + (1 - x_{oi}) \bar{v}_{tx}, \quad (1.53)$$

e

$$(v_{ti})_z = z_i v_{ti}^o + (1 - z_i) \bar{v}_{tz}. \quad (1.54)$$

onde:

$$\bar{v}_{tx} = \sum_{i=1}^n x_{oi} v_{ti}^o, \quad (1.55)$$

e

$$\bar{v}_{tz} = \sum_{i=1}^n z_i v_{ti}^o. \quad (1.56)$$

z_i é a fração do número de partículas sólidas i na alimentação, dada por:

$$z_i = \frac{N_{poi}}{\sum_{i=1}^n N_{poi}} = \frac{\frac{x_{oi}}{d_{si}^3 \rho_{si}}}{\sum_{i=1}^n \frac{x_{oi}}{d_{si}^3 \rho_{si}}} \quad (1.57)$$

onde N_{poi} é o número de partículas sólidas i na alimentação de sólidos.

A velocidade média das partículas sólidas $\bar{v}_s$ seria dada por:

$$\bar{v}_s = \frac{\sum_{i=1}^n v_{si} \rho_{si} v_i A}{\rho_s (1 - \epsilon) A} \quad (1.58)$$

e a queda de pressão, por unidade de comprimento do tubo de transporte, por:

$$\frac{\Delta p}{L} = \sum_{i=1}^n \rho_{si} Y_i (1 - \epsilon) g + \sum_{i=1}^n \frac{\bar{f}_s \rho_{si} Y_i (1 - \epsilon) v_{si}^2}{2 D} + \frac{\rho_f f_f u_f^2}{2 D} \quad (1.59)$$

onde o primeiro termo à direita da igualdade corresponde à componente gravitacional da fase sólida e o segundo e terceiro termos correspondem à força de atrito, por unidade de volume do tubo de transporte, das partículas sólidas-parede e fluido-parede, respectivamente.

KMIEC e LESCHONSKI (≈ 1984) realizaram estudos teóricos sobre perda de pressão, velocidade e segregação de partículas no transporte pneumático vertical de mistura binária, levando em consideração regime permanente, as regiões de escoamento acelerado e estabelecido e a colisão entre partículas de tamanhos diferentes. Para determinação da força de colisão foram utilizadas as equações de NAKAMURA e CAPES (1976) e MUSCHELKNAUTZ (1959). Os valores teóricos de perda de pressão, velocidade e segregação de partículas, na região de escoamento estabelecido, foram comparados com os dados experimentais de NAKAMURA e CAPES (1976), obtendo-se boa concordância, principalmente quando a força de colisão entre partículas foi calculada pela equação de MUSCHELKNAUTZ (1959), utilizando, para diferentes partículas e misturas, os mesmos valores dos coeficientes de choque e frenagem, a saber, $v = 0,5$ e $\xi = 0,5$, enquanto NAKAMURA e CAPES (1976) usaram diversos valores para o coeficiente $\phi(1+v)$.

As equações utilizadas por KMIEC e LESCHONSKI foram:

Equação da continuidade

- Fase fluida

$$\epsilon_o \rho_{fo} v_{fo} = \epsilon \rho_f v_f \quad (1.60)$$

onde:

$$\rho_f = \rho_{fo} \frac{P}{P_o} \quad (1.61)$$

- Fase sólida

. Partículas de Menor Diâmetro

$$v_{so1} (1 - \epsilon_o) Y_{o1} = v_{s1} (1 - \epsilon) Y_1 \quad (1.62)$$

. Partículas de Maior Diâmetro

$$v_{so2} (1 - \epsilon_o) Y_{o2} = v_{s2} (1 - \epsilon) Y_2 \quad (1.63)$$

onde:

$$Y_{o1} + Y_{o2} = 1, \quad (1.64)$$

e

$$Y_1 + Y_2 = 1. \quad (1.65)$$

Equação da quantidade de movimento para a mistura fluido-sólido, por unidade de volume do tubo de transporte.

$$\begin{aligned}
& \sum_{i=1}^2 Y_i (1 - \epsilon) \rho_{si} v_{si} \frac{dv_{si}}{dx} + \epsilon \rho_f v_f \frac{dv_f}{dx} + \sum_{i=1}^2 Y_i (1 - \epsilon) \rho_{si} g + g \epsilon \rho_f = \\
& - \frac{dp}{dx} - \frac{f_f \cdot \epsilon \rho_f v_f^2}{2 D} - \sum_{i=1}^2 \frac{f_{si} Y_i \rho_{si} v_{si}^2 (1 - \epsilon)}{2 D} \quad (1.66)
\end{aligned}$$

em que:

- . O primeiro e o segundo termos à esquerda da igualdade são as forças de aceleração das fases sólida e fluida, respectivamente;
- . O terceiro e o quarto termos à esquerda da igualdade correspondem às componentes gravitacionais das fases sólida e fluida, respectivamente;
- . O primeiro termo à direita da igualdade é o termo de variação de pressão, e
- . O segundo e o terceiro termos correspondem às forças de atrito, respectivamente, das fases fluida e sólida com a parede do tubo de transporte.

Tem-se ainda que:

x = coordenada na direção do escoamento gás-sólido;

p = pressão manométrica do fluido;

f_f = fator de atrito de MOODY do fluido com a parede do tubo de transporte, e

f_{si} = fator de atrito das partículas sólidas i com a parede do tubo de transporte.

Equação da quantidade de movimento para as partículas sólidas, por unidade de volume do tubo de transporte.

- Partícula 1 (menor diâmetro)

$$Y_1 (1 - \varepsilon) \rho_{s1} v_{s1} \frac{dv_{s1}}{dx} = \frac{3}{4} \frac{C_{Ds1} \rho_f (v_f - v_{s1})^2 \varepsilon^{-2.7} (1 - \varepsilon) Y_1}{2d_{s1}} +$$

$$- \rho_{s1} g Y_1 (1 - \varepsilon) - \frac{f_{s1} \rho_{s1} v_{s1}^2 (1 - \varepsilon) Y_1}{2D} - I_{12} \quad (1.67)$$

em que o primeiro termo à direita da equação é a força de arraste exercida pelo fluido sobre as partículas de menor diâmetro, e onde:

C_{Ds1} = coeficiente de arraste para as partículas sólidas de menor diâmetro, e

d_{s1} = diâmetro das partículas sólidas de menor diâmetro.

- Partícula 2 (maior diâmetro)

$$Y_2 (1 - \varepsilon) \rho_{s2} v_{s2} \frac{dv_{s2}}{dx} = \frac{3}{4} \frac{C_{Ds2} \rho_f (v_f - v_{s2})^2 \varepsilon^{-2.7} (1 - \varepsilon) Y_2}{2d_{s2}} +$$

$$- \rho_{s2} g Y_2 (1 - \varepsilon) - \frac{f_{s2} \rho_{s2} v_{s2}^2 (1 - \varepsilon) Y_2}{2D} + I_{12} \quad (1.68)$$

em que o primeiro termo à direita da equação é a força de arraste, exercida pelo fluido sobre as partículas de maior diâmetro, e onde:

C_{Ds2} = coeficiente de arraste para as partículas sólidas de maior diâmetro, e

d_{s2} = diâmetro das partículas sólidas de maior diâmetro.

A força I_{12} pode ser determinada pelas equações de NAKAMURA e CAPES (1976) e MUSCHELKNAUTZ (1959).

NAKAMURA e CAPES (1976)

$$I_{12} = \frac{3}{2} Y_1 Y_2 (1 - \epsilon)^2 (v_{s1} - v_{s2})^2 \left\{ \left[\theta(1 + \nu) \right] \frac{\rho_{s1} \left(1 + d_{s1}/d_{s2} \right)^2}{d_{s2} \left[1 + \frac{\rho_{s1}}{\rho_{s2}} \left(\frac{d_{s1}}{d_{s2}} \right)^3 \right]} \right\} \quad (1.69)$$

MUSCHELKNAUTZ (1959)

$$I_{12} = \frac{3}{2} Y_1 Y_2 (1 - \epsilon)^2 (v_{s1} - v_{s2})^2 \left\{ \left[2 \xi \frac{1 + \nu}{1 - \nu} \frac{\rho_{s1}}{d_{s2}} \frac{\left(1 + \frac{d_{s1}}{d_{s2}} \right)^2}{1 + \frac{\rho_{s1} Y_1}{\rho_{s2} Y_2}} \right] \right\} \quad (1.70)$$

1.2.2. TRANSFERÊNCIA DE CALOR GÁS-SÓLIDOS

As correlações existentes na literatura para avaliação da troca térmica gás-sólido no transporte pneumático vertical são para partículas de tamanho uniforme ou com distribuição granulométrica estreita. Para materiais com ampla distribuição granulométrica estas correlações costumam ser utilizadas admitindo-se que a distribuição pode ser representada por um diâmetro médio.

Os trabalhos existentes sobre transferência de calor gás-sólido têm como objetivo a determinação de uma correlação para o número de Nussel (Nu), em função do número de Reynolds das partículas sólidas (Re_s) e da concentração volumétrica da suspensão gasosa β_v , isto é:

$$Nu = \frac{h d_s}{K_f}, \quad (1.71)$$

e

$$Nu = f(Re_s, \beta_v). \quad (1.72)$$

sendo que:

$$Re_s = \frac{\rho_f d_s (v_f - v_s)}{\mu_f}, \quad (1.73)$$

e

$$\beta_v = \frac{\text{volume de sólidos}}{\text{volume de fluido}}. \quad (1.74)$$

β_v pode ser expresso em termos da porosidade ϵ da suspensão gasosa através da equação:

$$\beta_v = \frac{1 - \epsilon}{\epsilon} \quad (1.75)$$

onde:

h = coeficiente de transferência de calor gás-sólidos;

d_s = diâmetro das partículas sólidas;

K_f = condutividade térmica do fluido, e

μ_f = viscosidade dinâmica do fluido.

Uma das variáveis importantes na modelagem matemática da troca térmica gás-sólido no transporte pneumático é a área de transferência de calor gás-sólidos. Esta área é função da concentração volumétrica das partículas sólidas na suspensão β_v que pode ser determinada através do conhecimento da porosidade da suspensão, pela equação (1.75).

Devido às dificuldades de ordem experimental, não se dispõe, até o momento, de um método preciso para medida direta da porosidade. Logo, na grande maioria dos trabalhos em transporte pneumático envolvendo a transferência de calor gás-sólidos, a porosidade é determinada por métodos indiretos, através do emprego de modelos fluidodinâmicos onde ela aparece como variável a ser calculada.

O resultado clássico para uma partícula esférica estacionária em meio infinito trocando calor por convecção com o fluido parado foi determinada através de solução analítica, através da equação:

$$Nu = 2,0 \quad (1.76)$$

Esta equação tem sido utilizada para escoamentos de fluido com números de Reynolds não excedendo a 1.

Para número de Reynolds na faixa $3,5 < Re_s < 7,6 \cdot 10^4$ WHITAKER (1972) recomenda a equação:

$$Nu = 2 + \left[0,4 Re_s^{1/2} + 0,06 Re_s^{2/3} \right] Pr^{0,4} \left(\frac{\mu_f}{\mu_{fs}} \right)^{1/4} \quad (1.77)$$

para:

$$0,71 < Pr < 380,$$

e

$$1,0 < \frac{\mu_f}{\mu_{fs}} < 3,2$$

sendo:

$$Pr = \frac{\mu_f C_{pf}}{K_f} \quad (1.78)$$

onde:

Pr = é o número de PRANDTL, e

C_{pf} = calor específico do fluido à pressão constante.

As propriedades são avaliadas na temperatura do fluido, exceto μ_{fs} , a viscosidade dinâmica do fluido, que é avaliada na temperatura da superfície da esfera.

CHUKHANOV (1970), estudando a transferência de calor entre um fluido e um sólido estacionário, propôs a equação:

$$Nu \approx E Re_s^{0,5} + F Re_s^{0,82} \quad (1.79)$$

Esta equação é válida para esferas, cilindros, cubos e outros corpos de forma regular e irregular. O primeiro e o segundo termos representam a transferência de calor na camadas limites laminar e turbulenta da partícula sólida, respectivamente.

CHUKHANOV, em 1971 estudou o processo de transferência de calor gás-sólidos no transporte pneumático vertical e considerou a influência dos seguintes fatores: concentração das partículas sólidas na suspensão, efeito da turbulência do escoamento e da rotação, e a forma e rugosidade das partículas. No caso da concentração, ele verificou uma influência significativa para valores de β_v superiores a 10^{-3} e elaborou uma correlação empírica onde o número de Nusselt é função do número de Reynolds de partícula e da concentração volumétrica da suspensão gasosa, tal que:

$$Nu = 0,006 \beta_v^{-0,43} Re_s^{0,8} \quad (1.80)$$

O autor não delimitou a faixa de aplicação da equação em termos de número de Reynolds e concentração das partículas sólidas.

BANDROWSKI e KACZMARZYK (1978) e KACZMARZYK e BANDROWSKI (1980) realizaram estudos teórico e experimental do transporte pneumático vertical, utilizando partículas esféricas de cerâmica com diâmetros d_s : 0,7; 1,33; 1,56; 1,83; 2,09 e 2,56 mm.

Para simulação dos fenômenos da fluidodinâmica os autores empregaram o modelo anular de NAKAMURA e CAPES (1973).

Para determinação das equações do modelo térmico os autores fizeram as suposições:

- . Regime permanente;
- . Escoamento unidimensional concorrente e na direção vertical ascendente;
- . Não há perda de calor pelas paredes do tubo de transporte, e
- . A resistência térmica interna das partículas é desprezível, isto é, o número de Biot, $Bi < 0,1$.

Para um elemento de comprimento $\Delta x = 10\text{cm}$, no tubo de transporte, tem-se:

a) Balanço de Energia

$$-\Delta Q_f = \Delta Q_s \quad (1.81)$$

sendo:

$$\Delta Q_f = \dot{m}_f C_{pf} \left[t_f(x) - t_f(x + \Delta x) \right], \quad (1.82)$$

e

$$\Delta Q_s = \dot{m}_s C_{ps} \left[t_s(x) - t_s(x + \Delta x) \right]. \quad (1.83)$$

Assim:

$$t_s(x) = t_s(x + \Delta x) + \frac{\Delta Q_f}{\dot{m}_s C_{ps}} \quad (1.84)$$

onde:

ΔQ_f = calor cedido pelo fluido;

ΔQ_s = calor recebido pelo sólido;

$t_f(x)$ e $t_s(x)$ = temperaturas de entrada, no elemento Δx , do fluido e do sólido, respectivamente, e

$t_f(x+\Delta x)$ e $t_s(x+\Delta x)$ = temperaturas de saída, do elemento Δx , do fluido e sólido, respectivamente.

b) Definição do Coeficiente de Transferência de Calor Gás-Sólidos, h

$$h = \frac{\Delta Q_f}{\Delta A_s \Delta t_m} \quad (1.85)$$

sendo:

$$\Delta A_s = \frac{6(1-\epsilon)}{d_s} \frac{\pi D^2}{4} \Delta x \quad (1.86)$$

$$\Delta t_m = \frac{\left[t_f(x) - t_s(x) \right] - \left[t_f(x + \Delta x) - t_s(x + \Delta x) \right]}{\ln \frac{t_f(x) - t_s(x)}{t_f(x + \Delta x) - t_s(x + \Delta x)}} \quad (1.87)$$

onde:

ΔA_s = área de transferência de calor entre o fluido e as partículas sólidas no elemento de volume $\Delta V_T = A \Delta x$, e

Δt_m = diferença média logarítmica de temperatura entre as fases fluida e sólida em Δx .

O coeficiente de transferência de calor foi calculado em cada elemento Δx do tubo de transporte, iniciando na parte superior do tubo de transporte e terminando na altura do tubo em que tinha início a região de escoamento estabelecido.

Devido às diferenças nos perfis de temperatura experimental do fluido em vários níveis do tubo de transporte, os autores decidiram utilizar como temperatura do fluido na saída do elemento Δx o valor obtido através de uma equação que ajusta os dados experimentais:

$$\frac{t_{fo} - t_f(x)}{t_f(x) - t_{eq}} = a' x^{b'} \quad (1.88)$$

em que:

$$t_{eq} = \frac{\dot{m}_f C_{pf} t_{fo} + \dot{m}_s C_{ps} t_{so}}{\dot{m}_f C_{pf} + \dot{m}_s C_{ps}} \quad (1.89)$$

onde:

t_{fo} e t_{so} = temperaturas do fluido e sólido, respectivamente, na entrada do tubo de transporte;

$t_f(x)$ = temperatura do fluido na cota x do tubo de transporte;

C_{ps} = calor específico do sólido à pressão constante, e

t_{eq} = temperatura assintótica de equilíbrio da mistura fluido-sólido.

a' , b' = parâmetros determinados pelo método dos mínimos quadrados.

Para $180 < Re_s < 1800$, os autores chegaram às seguintes correlações para a região de escoamento estabelecido:

$$Nu = 0,00114 \beta_v^{-0,5984} Re_s^{0,8159} \quad (1.90)$$

para $0,00025 < \beta_v < 0,05$, e

$$Nu = 0,036 \beta_v^{-0,4805} Re_s^{0,7722} \quad (1.91)$$

para $0,00035 < \beta_v < 0,0025$.

VALENTIN (1986) realizou testes experimentais de troca térmica gás-sólidos no transporte pneumático vertical utilizando como sólido, esferas de vidro de diâmetros $d_s = 0,24; 0,4; 1,0; 1,2$ e $1,7$ mm.

Para simulação dos fenômenos VALENTIN empregou o modelo térmico de BANDROWSKI e KACZMARZYK (1978) e KACZMARZYK e BANDROWSKI (1980). Estes autores realizaram balanços de energia em trechos de 10 cm do tubo de transporte, enquanto VALENTIN considerou um balanço de energia global, envolvendo todo o tubo de transporte.

No modelo fluidodinâmico empregado foi desprezado a região de escoamento acelerado, considerando que todo o tubo de transporte estivesse em escoamento estabelecido. Neste modelo foram utilizadas diferentes proposições para o fator de atrito partícula-parede. VALENTIN, utilizando o fator de atrito partícula-parede proposto por SILVA (1984), estabeleceu a correlação:

$$Nu = 0,0002 \beta_v^{-0,4547} Re_s^{1,2982} \quad (1.92)$$

para:

$$4,4 \cdot 10^{-4} < \beta_v < 1,65 \cdot 10^{-2}$$

e

$$86 < Re_s < 1283$$

JESUS (1987) estudou teórica e experimentalmente a transferência de calor gás-sólido no transporte pneumático vertical, utilizando para os testes experimentais esferas de vidro com diâmetro de 1,0 mm. Para simulação dos fenômenos envolvidos na fluidodinâmica foi considerado escoamento estabelecido, ao longo de todo o tubo de transporte, e empregado o modelo de YANG (1973) e YANG (1974). Para simulação da troca térmica gás-sólidos o autor utilizou um balanço térmico semelhante ao empregado em leito deslizante, em que há uma configuração de escoamentos concorrentes entre as fases fluida e sólida, conforme FURNAS (1930), SARTORI (1984). Ele levou em conta a geometria cilíndrica do tubo de transporte, mais as suposições:

- . Perfis planos de velocidades do fluido e sólido;
- . Regime permanente;
- . Perda de calor desprezível através das paredes do tubo de transporte;
- . Escoamento unidimensional concorrente na direção vertical ascendente;
- . Transferência de calor desprezível na direção normal ao escoamento, e
- . A convecção na superfície do sólido é o mecanismo predominante de troca térmica.

As equações diferenciais correspondentes são:

- Fase Fluida

$$G_f C_{pf} \frac{dt_f}{dx} + h s (t_f - t_s) = 0 \quad (1.93)$$

- Fase Sólida

$$G_s C_{ps} \frac{dt_s}{dx} - h s (t_f - t_s) = 0 \quad (1.94)$$

sujeitas às condições de contorno na região de entrada das partículas sólidas:

$$t_f (x = 0) = t_{fo}, \quad (1.95)$$

e

$$t_s (x = 0) = t_{so} \quad (1.96)$$

sendo:

$$G_f = \frac{\dot{m}_f}{A} = \rho_f v_f \epsilon; \quad (1.97)$$

$$G_s = \frac{\dot{m}_s}{A} = \rho_s v_s (1 - \epsilon), \quad (1.98)$$

e

$$s = \frac{6 (1 - \epsilon)}{\phi d_s} \quad (1.99)$$

onde:

t_f e t_s = temperaturas das fases fluida e sólida, respectivamente, no tubo de transporte;

G_f e G_s = fluxos mássicos das fases fluida e sólida, respectivamente, no tubo de transporte;

s = área da superfície das partículas sólidas por unidade de volume do tubo de transporte, e

ϕ = esfericidade das partículas sólidas.

JESUS (1987) obteve a partir de seus dados experimentais uma curva de ajuste semelhante à correlação de BANDROWSKI e KACZMARZYK (1978) e KACZMARZYK e BANDROWSKI (1980).

$$Nu = 0,00715 \beta_v^{-0,5984} Re_s^{0,8159} \quad (1.100)$$

em que:

$$1,4 \cdot 10^{-3} < \beta_v < 5,4 \cdot 10^{-3}$$

e

$$358 < Re_s < 611$$

1.3. OBJETIVO

Como foi visto, em geral, no projeto de sistemas em que se trabalha com partículas de ampla faixa granulométrica, utilizam-se correlações para perda de carga e velocidades de partículas, que consideram um diâmetro médio da distribuição granulométrica, ignorando uma eventual segregação das partículas no tubo de transporte.

Com relação à transferência de calor gás-sólido ocorrem problemas semelhantes aos da fluidodinâmica, pois, partículas de tamanhos diferentes não trocam calor com a mesma intensidade. Da mesma maneira, nos projetos é costume utilizar correlações em que um diâmetro médio é empregado.

Para estudo dos efeitos da distribuição granulométrica das partículas sólidas na fluidodinâmica e transferência de calor gás-sólido, no transporte pneumático vertical ascendente, foram realizados testes experimentais em uma unidade constituída basicamente de um tubo de medida com diâmetro de 2" schedule 40 e aproximadamente 4m de altura, onde foram determinados os perfis longitudinais de pressão e temperatura do fluido. A Unidade inclui ainda sistema de alimentação de fluido e sólido, e de coleta e recirculação de sólidos.

Para determinação de uma correlação para o número de Nussel em função do número de Reynolds e concentração volumétrica das partículas sólidas, foram realizados testes com esferas de vidro de diâmetro uniforme: $d_s = 135, 346 \text{ e } 750 \mu\text{m}$. Para cada diâmetro foram realizados testes variando as descargas do fluido e sólido.

Em seguida foram realizados testes com misturas binárias de partículas sólidas: $d_s = 135$ e $346 \mu\text{m}$, 135 e $750 \mu\text{m}$, 346 e $750 \mu\text{m}$.

Para simulação dos fenômenos físicos envolvidos na fluidodinâmica e troca-térmica gás-sólido destas misturas foram elaborados três modelos.

O modelo I considera a mistura binária de partículas como um sistema equivalente de partículas de tamanho uniforme e com diâmetro igual ao diâmetro médio de Sauter.

O modelo II leva em consideração a existência de duas partículas de tamanhos diferentes, mas admite que não há choques entre elas.

O modelo III, por sua vez, leva em conta os choques e considera a troca de quantidade de movimento entre as partículas de diferentes tamanhos.

Os três modelos consideram o balanço de energia em cada seção do tubo de transporte, considerado adiabático, e levam em conta a região de escoamento acelerado.

O modelo I também foi utilizado para simular o escoamento de uma suspensão de partículas uniformes.

O trabalho realizado procurou verificar, qual dos modelos considerados, melhor descreve o fenômeno físico a partir da utilização do coeficiente de transferência de calor gás-sólido obtidos experimentalmente a priori, para escoamento com partículas de diâmetro uniforme.

CAPÍTULO 2

DESCRIÇÃO DO DISPOSITIVO DE TESTES E DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste capítulo considera-se a descrição do dispositivo de testes e do procedimento experimental. A sistemática de redução dos dados obtidos é também apresentada, permitindo o cálculo dos coeficientes de transferência de calor gás-sólido para partículas de diâmetro uniforme. Os valores obtidos são discutidos, juntamente com os resultados da simulação do fenômeno físico, no capítulo 4.

2.1. DESCRIÇÃO DO DISPOSITIVO DE TESTES

Para retirada dos dados experimentais uma unidade piloto foi projetada e montada nas dependências da Superintendência da Industrialização do Xisto - SIX, em São Mateus do Sul - PR. A Unidade recebeu a denominação: Unidade de Teste de Troca Térmica Gás-Sólido no Transporte Pneumático Vertical Ascendente e o número 103. Ela está mostrada na Figura 2.1 e seu fluxograma simplificado encontra-se esquematizado na Figura 2.2.

Para melhor compreensão dos equipamentos que compõem a Unidade, esta será dividida nos seguintes sistemas:

Sistema de alimentação de fluido

- . Medida da descarga de fluido;
- . Aquecedor de fluido;
- . Ejetor.

Sistema de Alimentação de Sólidos

- . Silo de carga de sólidos;
- . Controle da descarga de sólidos.

Sistema do Tubo de Transporte

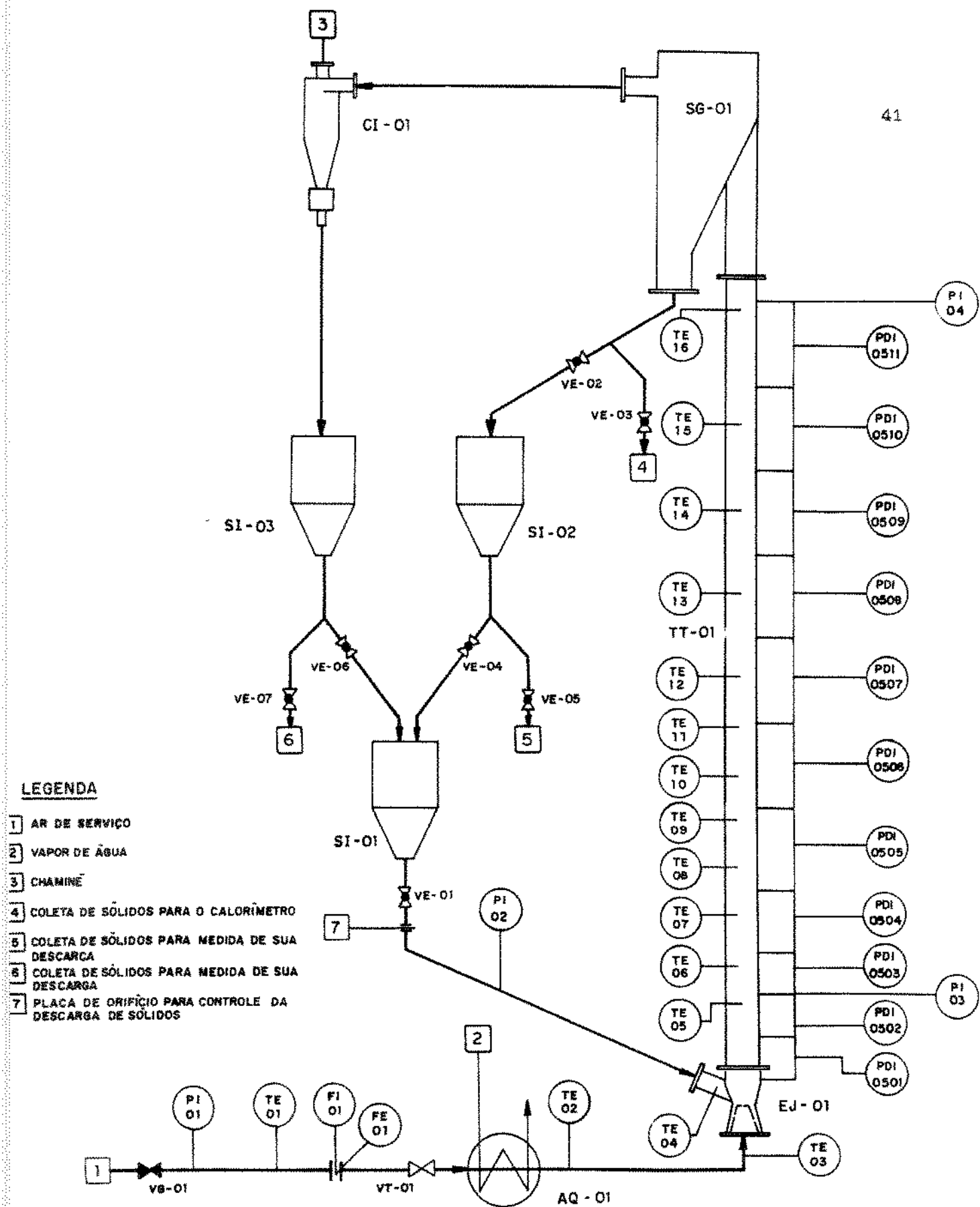
- . Tubo de transporte;
- . Instrumentação para medidas de temperatura e pressão.

Sistema de Coleta e Recirculação de Sólidos

- . Separador gravitacional;
- . Ciclone;
- . Silos de coleta.



FIG. 2.1. UNIDADE DE TESTES DA TROCA TÉRMICA GÁS-SÓLIDOS NO TRANSPORTE PNEUMÁTICO VERTICAL ASCENDENTE, U-103



LEGENDA

- 1 AR DE SERVIÇO
- 2 VAPOR DE ÁGUA
- 3 CHAMINÉ
- 4 COLETA DE SÓLIDOS PARA O CALORÍMETRO
- 5 COLETA DE SÓLIDOS PARA MEDIDA DE SUA DESCARCA
- 6 COLETA DE SÓLIDOS PARA MEDIDA DE SUA DESCARCA
- 7 PLACA DE ORIFÍCIO PARA CONTROLE DA DESCARGA DE SÓLIDOS

FIG. 2. 2. FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO DO DISPOSITIVO DE TESTES, U - 103.

2.1.1. SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DE FLUIDO (AR)

O ar que é suprido na Unidade provém da central de ar comprimido da SIX, denominado ar de serviço, através de uma tubulação, não isolada, de 52,50 mm de diâmetro interno.

O ar chega na entrada da Unidade com pressão de $7,0 \text{ kgf/cm}^2$, manométrica e temperatura ambiente, e é mantido em torno de $3,0 \text{ kgf/cm}^2$, manométrica, no PI-01, à montante da placa de orifício do fluido FE-01, através do ajuste das válvulas globo VG-01 e gaveta VT-01.

a. MEDIDA DA DESCARGA DE FLUIDO, FI-01

A medida da descarga de fluido é realizada através de placa de orifício com diâmetro de 18,07 mm e com tomadas de diferencial de pressão nos flanges. O desenho dimensional da placa de orifício, encontra-se na Figura 2.3a e o desenho de montagem na figura 2.3b.

As medidas, à montante da placa de orifício, da pressão e da temperatura e do diferencial de pressão na placa, permitem o cálculo da descarga de fluido conforme o procedimento descrito no Anexo 1.

Após a medida de sua descarga, o fluido passa através de um aquecedor a vapor, onde sua temperatura é elevada a aproximadamente 200°C .

b. AQUECEDOR A VAPOR, AQ-01 (Figura 2.4)

O aquecedor a vapor consta de um trocador de calor casco-tubo com um passo no lado do casco e dois no lado dos tubos. Cada passo contém nove tubos com diâmetro de $3/4"$ BWG 14 e comprimento de 2000 mm. O casco é constituído de um tubo com diâmetro de 8" schedule 80 e possui 34 chicanas com 15% de corte.

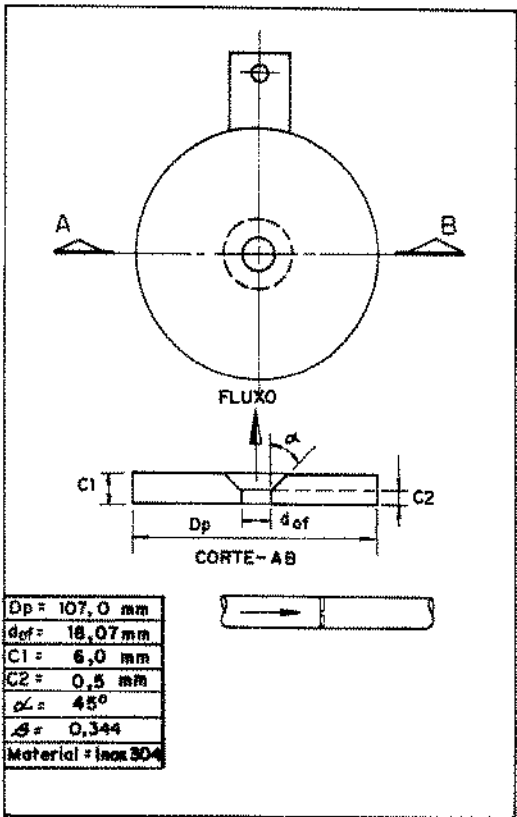


FIG. 2.3a. DESENHO DIMENSIONAL DA PLACA DE ORIFÍCIO, FE-01, PARA MEDIDA DA DESCARGA DE AR.

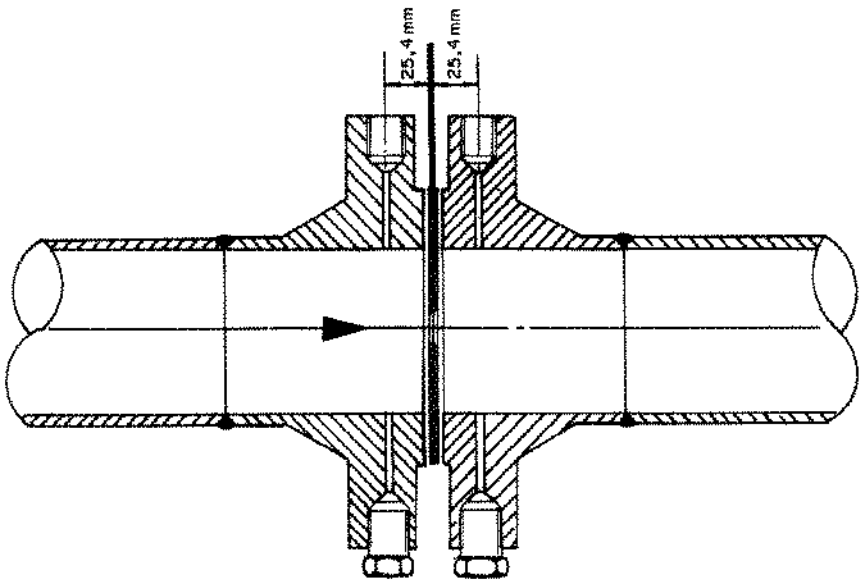


FIG. 2.3b. DESENHO DE MONTAGEM DA PLACA DE ORIFÍCIO PARA MEDIDA DA DESCARGA DE AR.

O fluido de aquecimento é vapor de água à pressão manométrica de 32 kgf/cm^2 e temperatura de 290°C , e escoa pelo casco.

A Figura 2.5 contém o desenho dimensional do aquecedor, que é mostrado na Figura 2.4. A Tabela 2.1 fornece informações sobre os dados de projeto de processo e mecânico do aquecedor.



FIG. 2.4. AQUECEDOR A VAPOR, AQ-01

c. EJETOR, EJ-01 (Figura 2.6)

O fluido ao sair do aquecedor a vapor é enviado ao tubo de transporte pneumático, passando antes por um ejetor, mostrado na Figura 2.7, que consta de um bocal convergente instalado no inte-

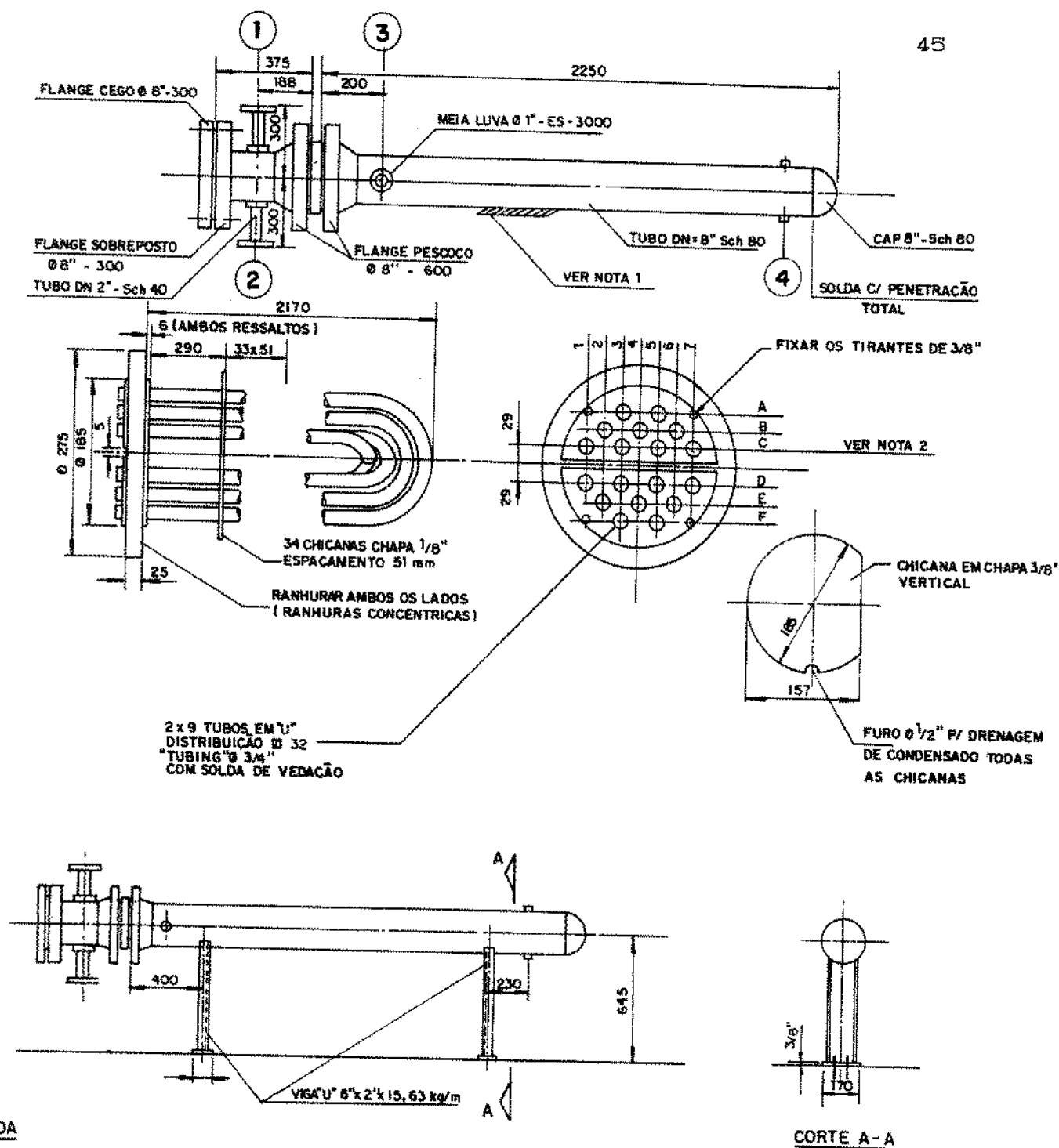


FIG. 2.5. DESENHO DIMENSIONAL DO AQUECEDOR A VAPOR, AQ-01.

TABELA 2.1. DADOS DE PROJETO DO AQUECEDOR A VAPOR, AQ-01

46

SERVIÇO Aquecimento de ar					
DIM. GERAIS		TIPO "U"	INSTAL. (HORIZONTAL)	ARRANJO ☐ SÉRIE ☐	PARALELO ☐
ÁREA/UNIDADE		m ²	CASCOS/UNIDADE	ÁREA/CASCO	m ²
DESEMPENHO POR UNIDADE					
LOCALIZAÇÃO DO FLUÍDO		LADO DO CASCO		LADO DOS TUBOS	
FLUÍDO		Vapor de alta		Ar comprimido	
VAZÃO TOTAL		22,7		250	
VA POR (ENT./SAÍDA)				250	
LÍQUIDO		0		22,7	
VAPOR D'ÁGUA		22,7		0	
NÃO CONDENSÁVEIS					
ÁGUA					
TEMPERATURA ENT./SAÍDA		290		220	
DENSIDADE - LÍQUIDO		Kg/m ³		840,15	
VISCOSIDADE - LÍQUIDO		Pa.s / m ² /s		0,1216	
VISCOSIDADE - VAPOR		Pa.s / m ² /s			
PESO MOLECULAR - VAPOR				18	
PESO MOLEC. - NÃO CONDENS.					
CALOR ESPECÍFICO-LÍQUIDO		kcal/kg °C			
CONDUTIVIDADE TÉRMICA		kcal/m °C			
CALOR LATENTE - VAPOR		kcal / kg		1802 @ 290°C	
PRESSÃO OPERAÇÃO - ENT.		Kg/cm ²		30	
VELOCIDADE		m/s		2	
PERDA PRESSÃO ADM/CALC.		k Pa			
COEF. DE DEPÓSITO		m ² °C / KW			
COEF. DE PELÍCULA		KW / m ² °C			
CALOR TROCADO		11527,9 Kcal/h		DITM (CORRIGIDA) 101,64 °C	
COEF. TRANSF. CALCULADO - SERVIÇO		LIMPO		KW/m ² °C	
CONSTRUÇÃO POR CASCO				DESENHO ESQUEMÁTICO	
		LADO DO CASCO		LADO DOS TUBOS	
PRESSÃO PROJETO/TESTE		kPa		32 45 8 12	
TEMPERATURA PROJETO		°C		300 50	
Nº DE PASSES POR CASCO				1 2	
SOBRE - ESPESSURA CORROÇÃO		mm		1,5 1,5	
ALÍVIO DE TENSÕES					
RADIOGRAFIA					
BOCAIS		ENTRADA		1"/3000#	
		SAÍDA		1"/3000#	
DIAM./CL. PRESSÃO					
Nº TUBOS POR PASSO 9 em "U"		DIAM. 3/4"		ESP. BWG 14	
TIPO DE TUBOS Liso S/C		MATERIAL AC		PAS SO 31,8 mm	
CASCO Tubo 8" sch 80 API 5 LB		D.I. 194 mm		TAMPO DO CASCO CAP 8" (INTEG/REMOV)	
TAMPO FIXO		(CARRETEL/BOLEADO)		TAMPO DO CARRETEL	
ESPELHO FIXO				ESPELHO FLUTUANTE	
TAMPO FLUTUANTE				CHAPA DEFLETORA	
CHICANAS TRANSV. Chapa 3/8"		TIPO		3 CORTE (DIÂMETRO) 15	
CHICANAS LONGIT.				ESPAÇAM. C/C 51 ENT. mm	
TIRAS DE SELAGEM				TIPO DE SELAGEM	
JUNTA DE EXPANSÃO				LIGAÇÃO TUBO-ESPELHO Mandrilado c/solda vedação	
P.V. - BOCAL ENTRADA		ENT. FEIXE		SAÍDA FEIXE	
JUNTAS - LADO CASCO Semi-metálica		LADO TUBOS Papelão Hidráulico		TAMPO FLUTUANTE	
CÓDIGO ASME		CLASSE TEMA 600#		VIDA ÚTIL 20 anos	
PESOS: CASCO		CHEIO D'ÁGUA		FEIXE da N	

rior de um venturi. Os diâmetros das gargantas do bocal e do venturi são de 15 e 33 mm, respectivamente.

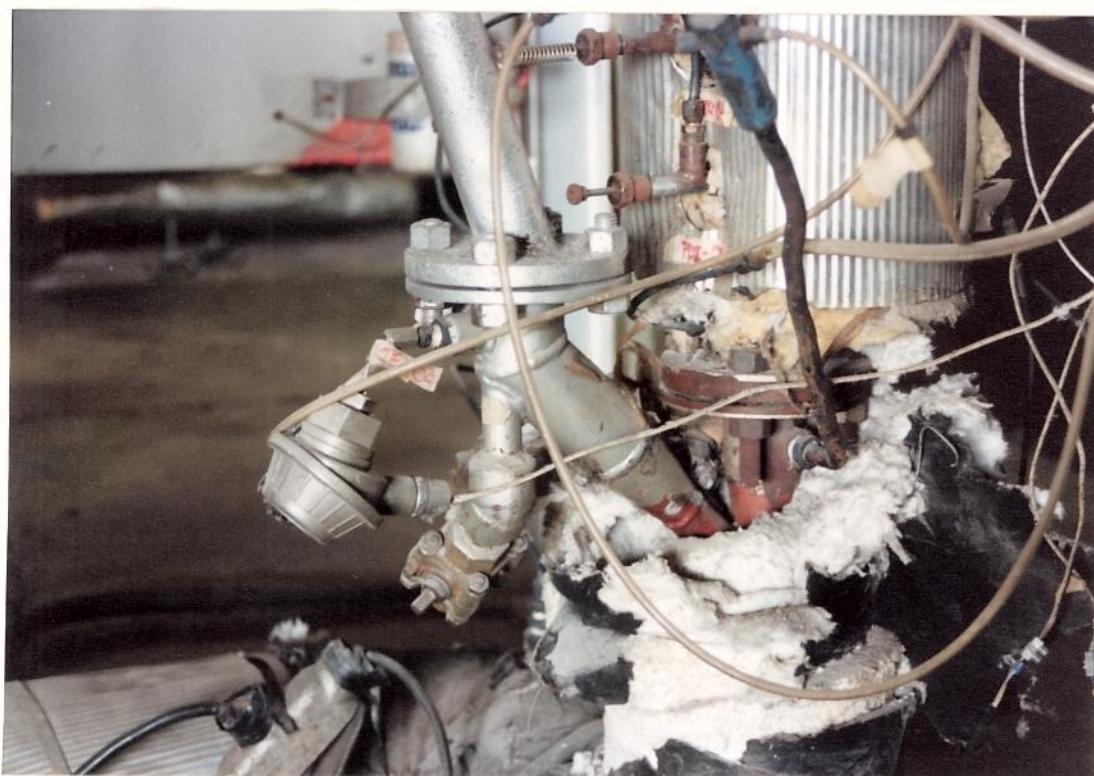


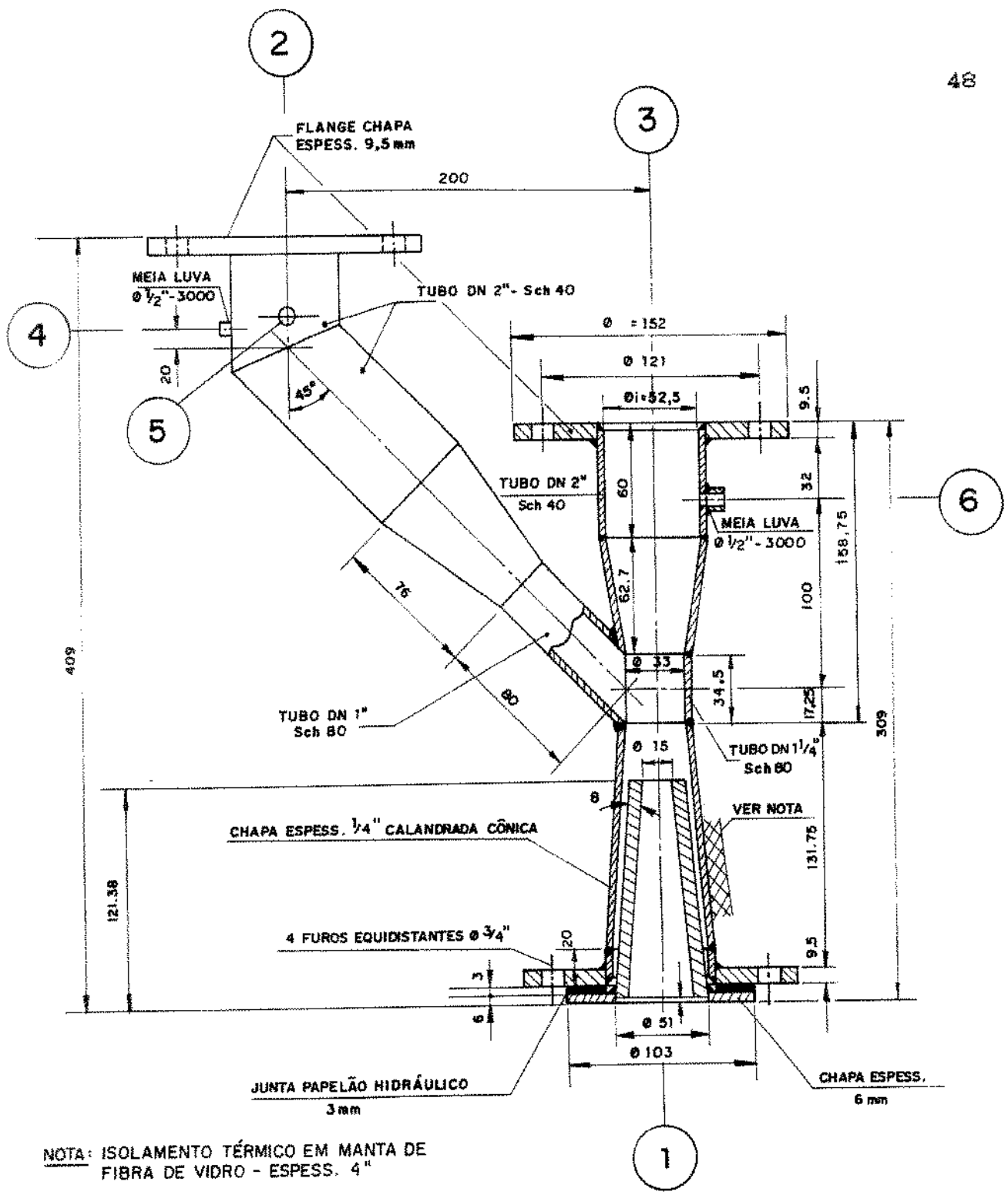
FIG. 2.6. EJETOR, EJ-01

2.1.2. SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DE SÓLIDOS (Figuras 2.8 e 2.11)

As partículas sólidas provenientes do silo de carga SI-01 são alimentadas no tubo de medida diretamente, por meio da gravidade. Para visualização e acompanhamento da alimentação das partículas sólidas foi instalado um tubo transparente em acrílico, no trecho que interliga o silo ao tubo de medida.

a. SILO DE CARGA, SI-01

O Silo de Carga, mostrado na Figura 2.9, foi fabricado em chapa de aço carbono e possui geometria cilíndrica e base cônica. Contém boca com 8" de diâmetro para alimentação das partículas sólidas no silo. Esta boca é vedada com flange cego e junta de borracha. O volume do silo é de aproximadamente 70 litros.



NOTA: ISOLAMENTO TÉRMICO EM MANTA DE FIBRA DE VIDRO - ESPESS. 4"

LEGENDA

- 1 - ENTRADA DE FLUIDO
- 2 - ENTRADA DE SÓLIDOS
- 3 - SAÍDA DE FLUIDO MAIS SÓLIDOS
- 4 - TE - 04
- 5 - PI - 02
- 6 - PD1 - 0501 TPA (Tomada de Pressão Anterior)

FIG. 2.7. DESENHO DIMENSIONAL DO EJETOR, EJ - 01.

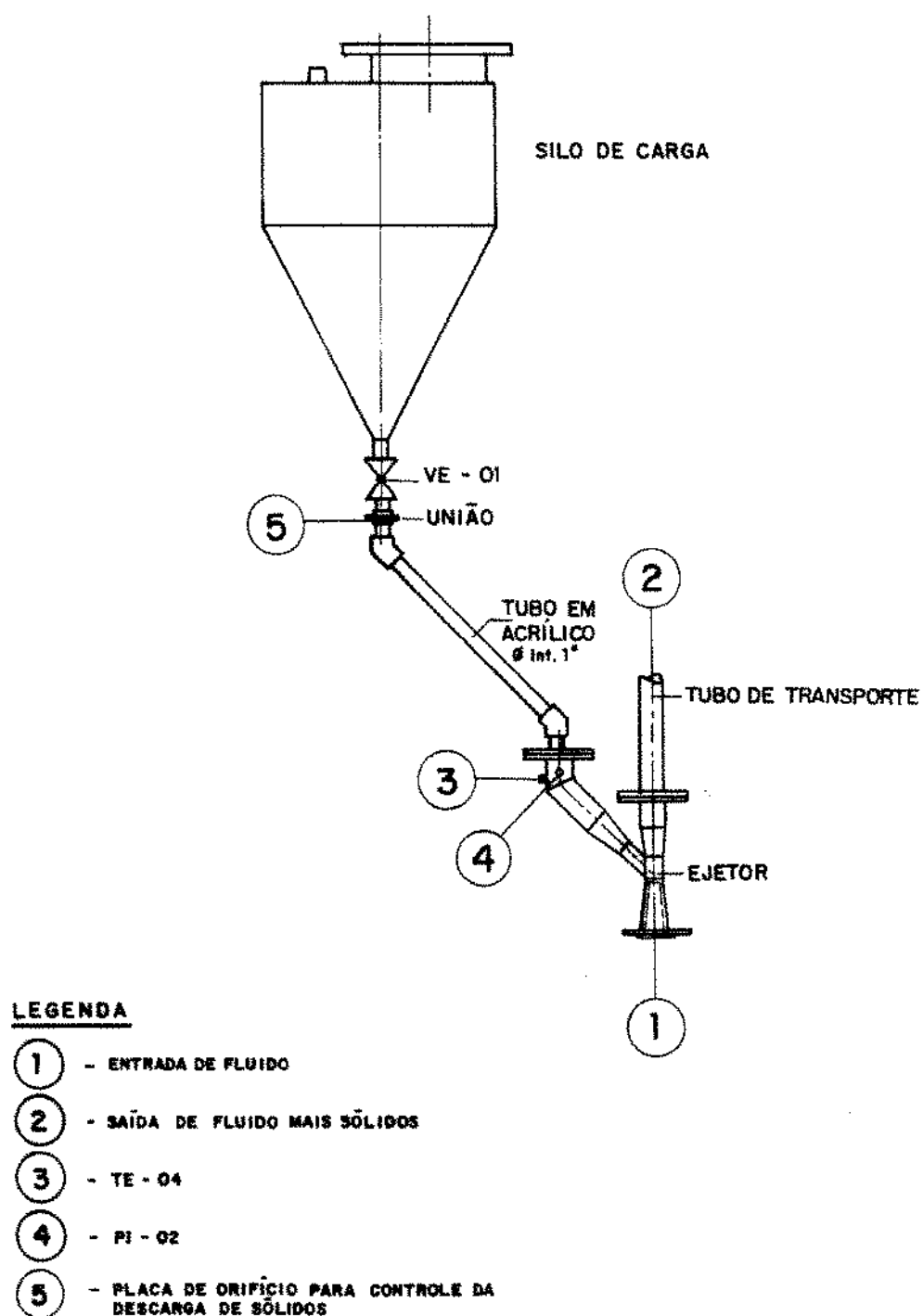
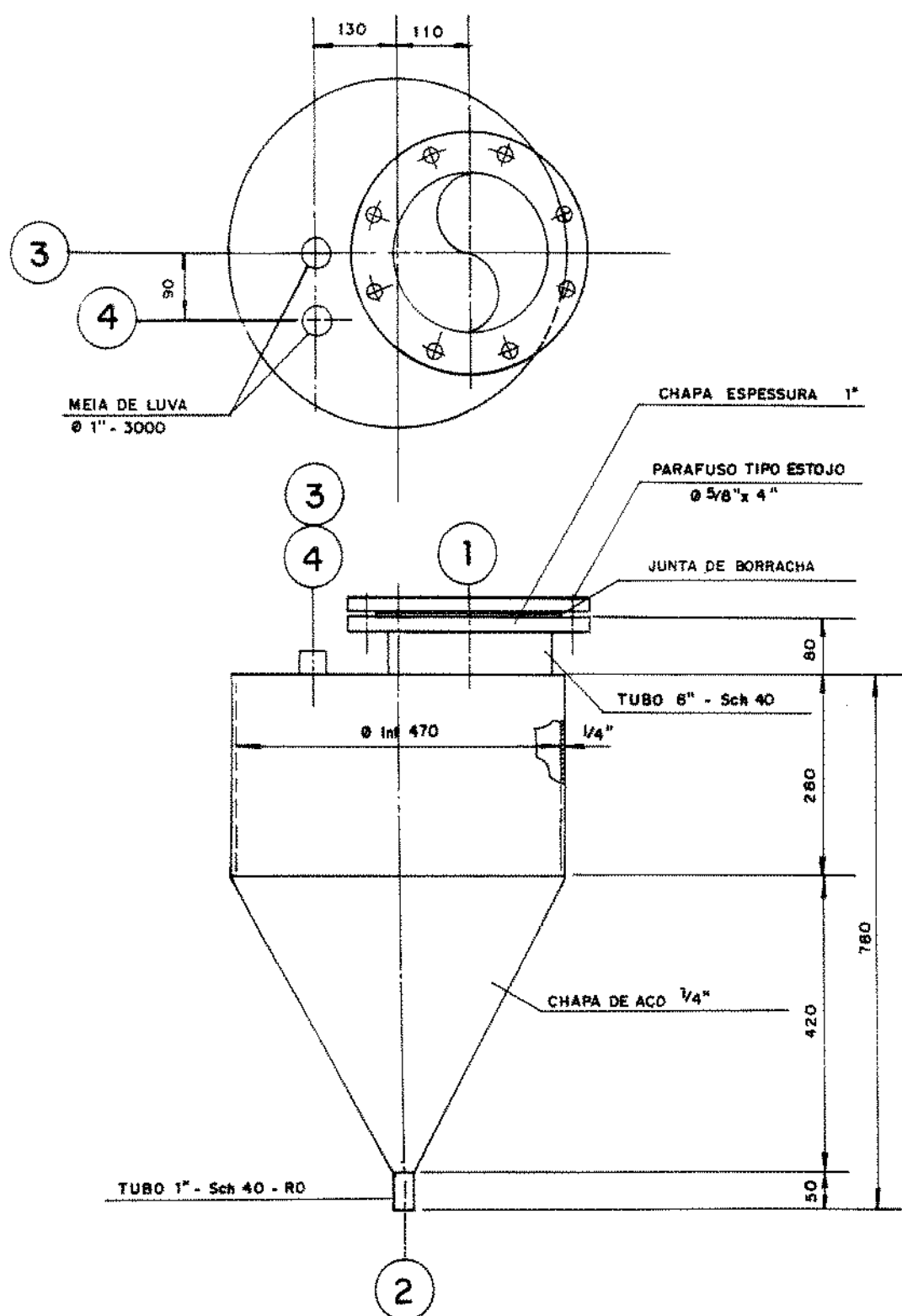


FIG. 2.8. DESENHO ESQUEMÁTICO DO SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DE SÓLIDOS POR GRAVIDADE.



LEGENDA

- ① - ALIMENTAÇÃO DE SÓLIDOS
- ② - SAÍDA DE SÓLIDOS
- ③ - ENTRADA DE SÓLIDOS (Proveniente do Silo do Separador gravitacional)
- ④ - ENTRADA DE SÓLIDOS (Proveniente do Silo do Ciclone)

FIG. 2.9. DESENHO DIMENSIONAL DO SILO DE CARGA, SI - 01.

b. CONTROLE DA DESCARGA DE SÓLIDOS

O controle da descarga de sólidos foi realizado através de placa de orifício instalada no interior de uma união situada após o silo de carga SI-01. A variação na descarga de sólidos foi conseguida com a utilização de placas de orifício com diâmetros 10; 15 e 18 mm, conforme a Figura 2.10.

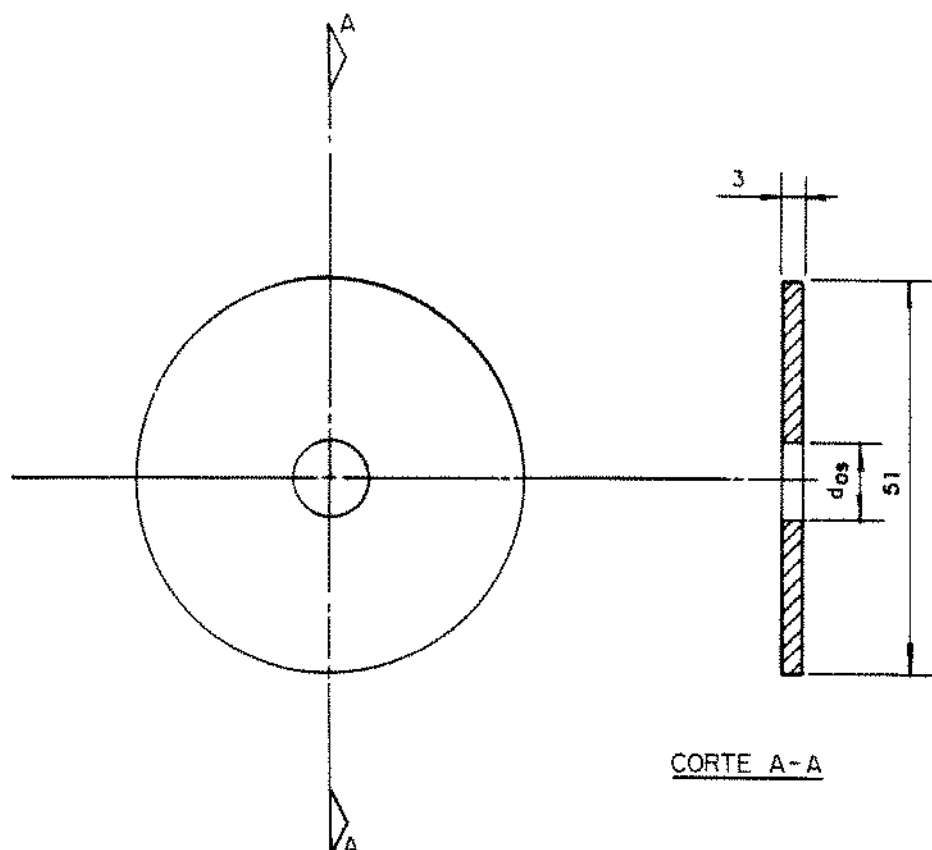


FIG. 2.10. DETALHE DIMENSIONAL DAS PLACAS DE ORIFÍCIOS PARA CONTROLE DA DESCARGA DE SÓLIDOS.

2.1.3. SISTEMA DO TUBO DE TRANSPORTE

Este sistema consta basicamente do tubo de transporte com os dispositivos de medidas de temperatura e pressão do fluido ao longo da altura, bem como dos dispositivos para medidas dos diferenciais de pressão ao longo do tubo e das temperaturas inicial e final do sólido.

a. TUBO DE TRANSPORTE, TT-01 (Figura 2.11)

As partículas sólidas alimentadas trocaram calor com o fluido ao longo do tubo de transporte, que consiste de um tubo em aço carbono sem costura, na posição vertical, com 3,95 m de comprimento e 52,5 mm de diâmetro interno. Doze tomadas de temperatura e onze de pressão foram dispostas ao longo do tubo de transporte, conforme Figura 2.12.

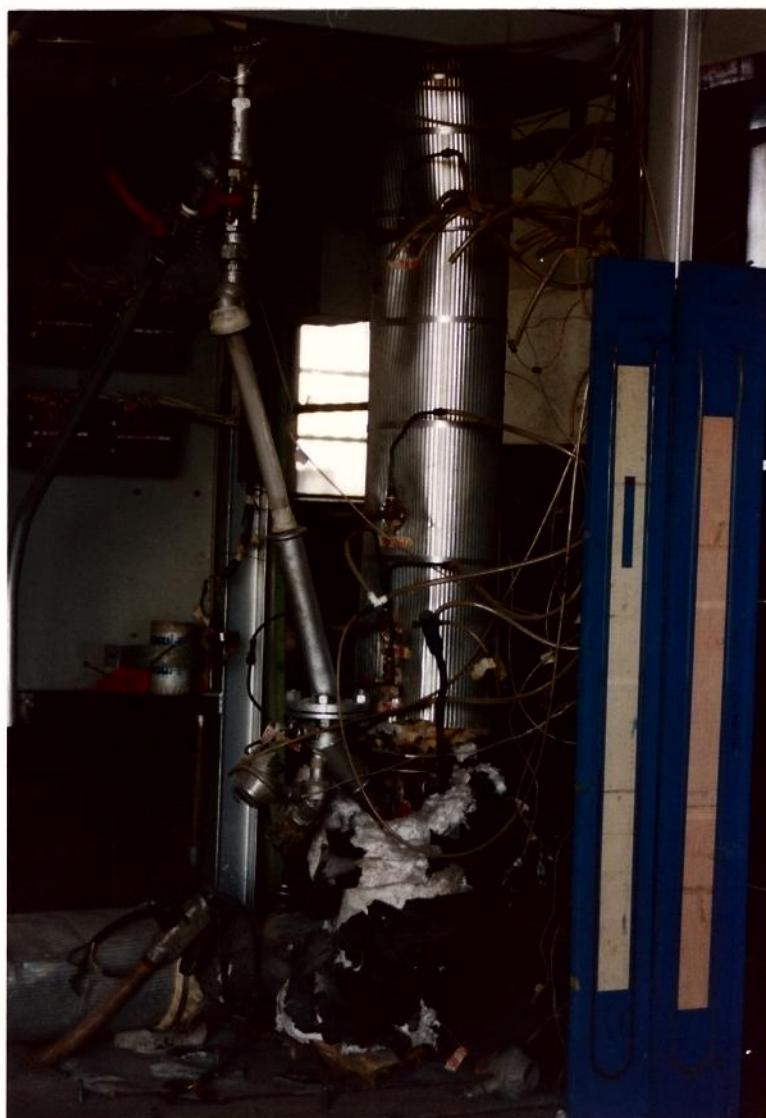


FIG. 2.11. TUBO DE TRANSPORTE, TT-01.

b. MEDIDA DAS TEMPERATURAS

A medida das temperaturas das correntes do fluido e do sólido foram realizadas por termopares ferro-constantan com junta quente isolada, denominados tipo J, da marca ECIL S.A.

Nos pontos da Unidade com escoamento da mistura gás-sólidos foram utilizados termopares com 1,5 mm de diâmetro de bainha. Os termopares e suas respectivas posições no tubo de transporte são:

No. do Termopar	Posição (m)
TE-05	0,26
TE-06	0,42
TE-07	0,58
TE-08	0,74
TE-09	0,90
TE-10	1,06
TE-11	1,36
TE-12	1,86
TE-13	2,36
TE-14	2,86
TE-15	3,36
TE-16	4,02

onde o ponto de alimentação de sólidos no tubo de transporte foi considerado como referência, isto é, com cota igual a zero.

Devido à abrasão causada pelas partículas sólidas em alta velocidade estes termopares foram protegidos por um tubo de aço inox, denominado poço de proteção, conforme a Figura 2.13. A Figura 2.14 mostra o efeito da abrasão das partículas sólidas sobre os poços de proteção dos termopares TE-05 e TE-06, após, aproximadamente 10 horas de operação.

Para medida da temperatura do ar sem partículas sólidas foram utilizados termopares com 3,0 mm de diâmetro de bainha, sem poço de proteção: TE-01, TE-02, TE-03, TE-17 e TE-19.

A medida da temperatura das partículas sólidas, por sua vez, foi realizada pelos termopares TE-04, TE-11 e TE-20, com diâmetro de bainha de 3,0 mm

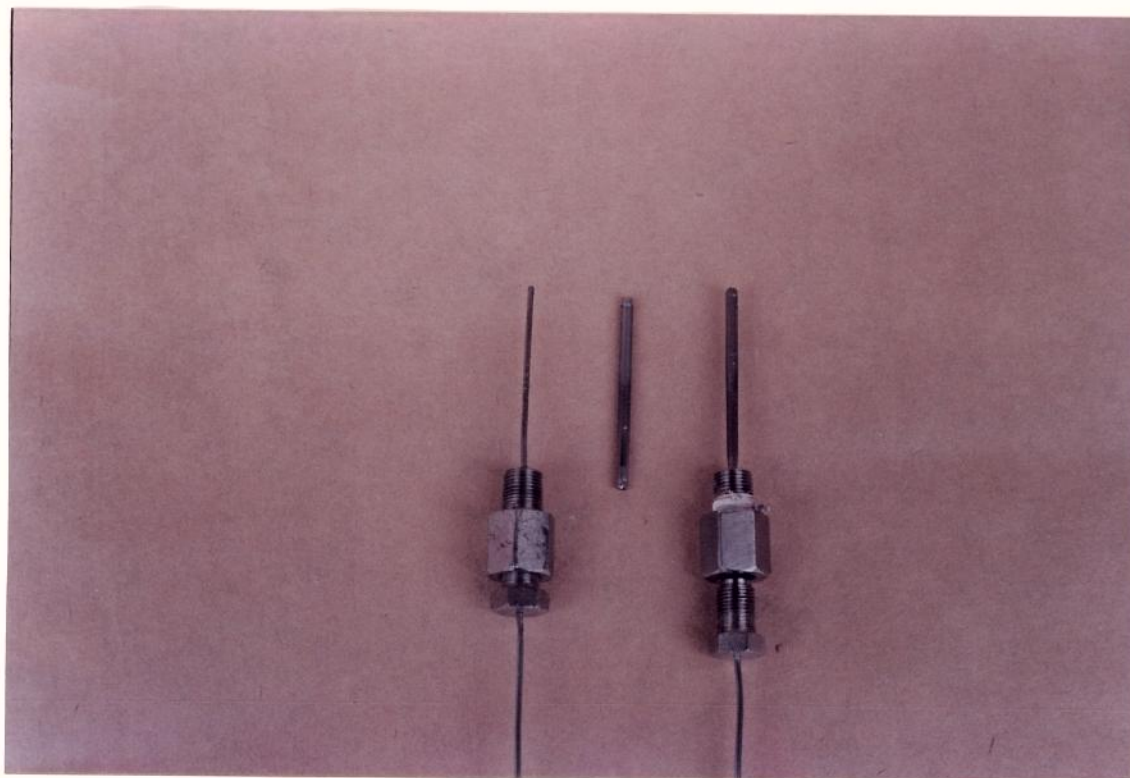


FIG. 2.13. TERMOPAR, POÇO DE PROTEÇÃO E TERMOPAR COM POÇO DE PROTEÇÃO PARA MEDIDA DA TEMPERATURA DO GÁS NA SUSPENSÃO GÁS-SÓLIDO.

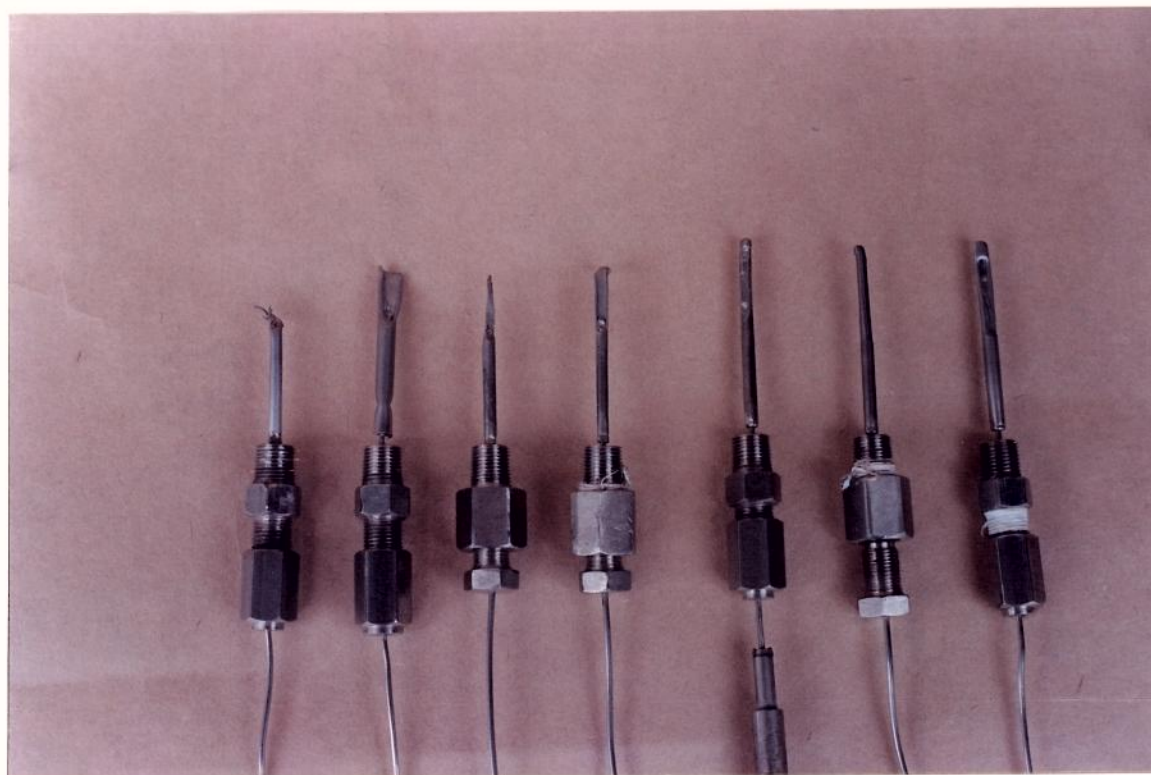


FIG. 2.14. DESGASTE CAUSADO PELAS PARTÍCULAS SÓLIDAS NO POÇO DE PROTEÇÃO, E TERMOPAR PARA MEDIDA DA TEMPERATURA DA SUSPENSÃO GÁS-SÓLIDOS.

Todos os termopares da Unidade foram ligados a duas chaves seletoras de teclas com trava, contendo dezesseis pontos cada, modelo CH-T-11C-TC, da Instrumentos Elétricos Engro S.A. As saídas das duas chaves seletoras foram ligadas em outra chave, com duas posições para seleção. A saída desta chave foi ligada, por sua vez, ao ponto frio, e este, a um milivoltímetro digital da marca Robertshaw, que foi projetado para medições de milivolts, conforme painel de medida, Figura 2.15.



FIG. 2.15. PAINEL DE MEDIDAS DE TEMPERATURAS

Com exceção das temperaturas do ponto frio e do calorímetro, em graus centígrados, as medidas de temperaturas foram realizadas em milivolts e, em seguida, transformadas em graus centígrados, conforme o Anexo 2.

c. MEDIDA DE PRESSÕES

A medida de pressão à montante da placa de orifício do fluido, FE-01, foi obtida por manômetro, tipo Bourdon, da marca WILLY, PI-01, com escala de 0 a 10 kgf/cm^2 manométrica, com subdivisões de $0,1 \text{ kgf/cm}^2$. As demais medidas de pressões foram realizadas por manômetros tipo coluna em U, contendo água colorida como líquido manométrico:

PI-02 mede a pressão no tubo de alimentação de sólidos;

PI-03 mede a pressão na base do tubo de transporte, na cota de 0,31 m, e

PI-04 mede a pressão no topo do tubo de transporte, na cota 4,02 m.

d. MEDIDA DOS DIFERENCIAIS DE PRESSÃO (Figura 2.16)

A medida do diferencial de pressão na placa de orifício, para medida da descarga de fluido, foi realizada por uma coluna em U, contendo água colorida como líquido manométrico.

Os diferenciais de pressão ao longo do tubo de transporte foram medidos por um multimanômetro, PDI-05, conforme Figura 2.16, constituído por doze tubos interligados entre si, utilizando água colorida como fluido manométrico.



FIG. 2.16. MULTIMANÔMETRO, PDI-05, PARA MEDIDA DOS DIFERENCIAIS DE PRESSÃO AO LONGO DO TUBO DE TRANSPORTE

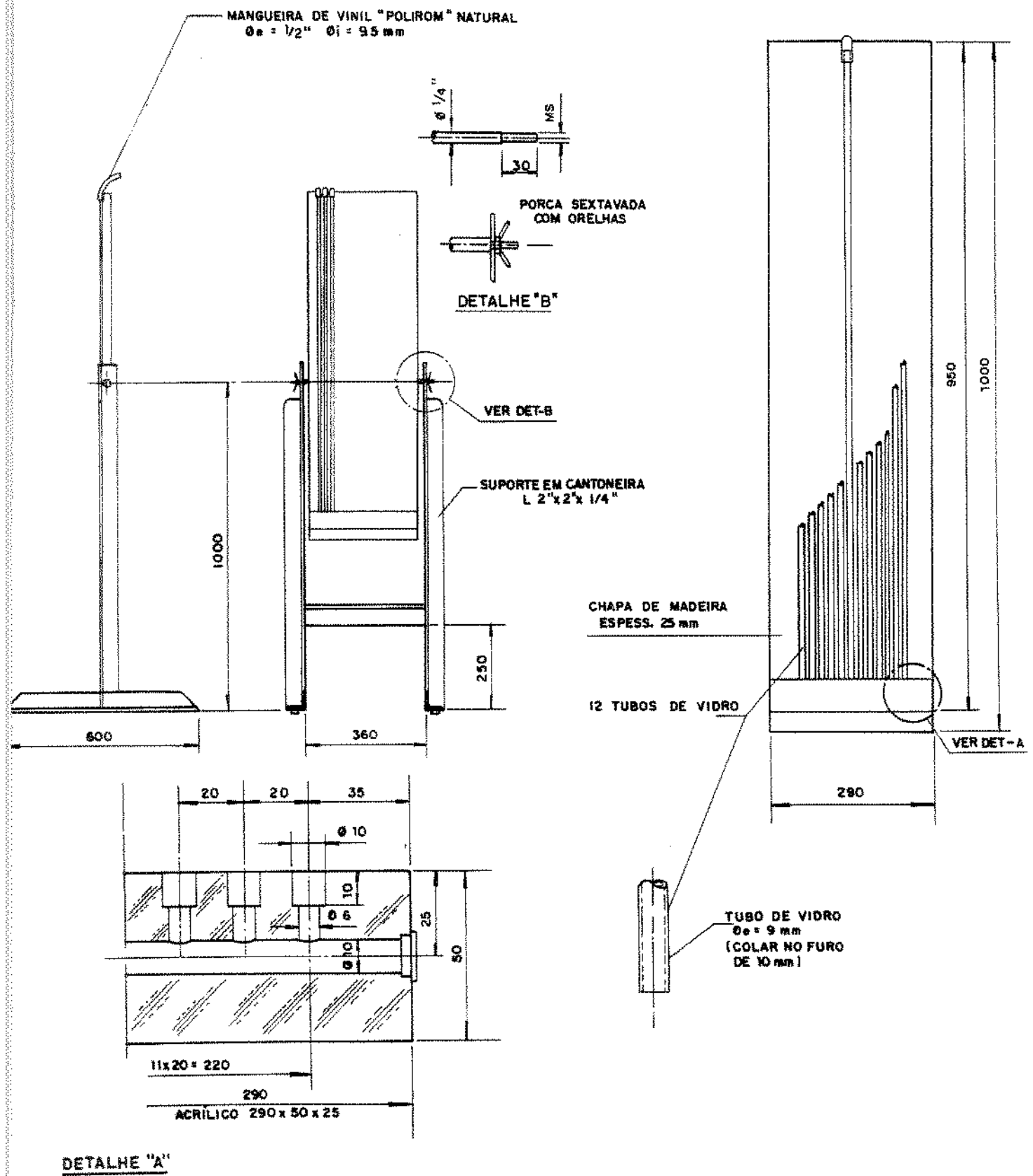


FIG. 2.17. DESENHO DIMENSIONAL DO MULTIMANÔMETRO, PDI 05.

Este dispositivo mede onze diferenciais de pressão ao longo tubo de transporte, enumerados em ordem crescente, da base para o topo do tubo de transporte. As cotas das tomadas de diferencial de pressão, mostradas na Figura 2.17, relativas ao ponto de referência, são dadas a seguir:

Ponto no Diferencial de Pressão (PDI-05)	Posição das Tomadas de Diferencial de Pressão (mm)	
	TPA	TPP
01	0,12	0,21
02	0,21	0,31
03	0,31	0,41
04	0,41	0,61
05	0,61	1,11
06	1,11	1,61
07	1,61	2,11
08	2,11	2,61
09	2,61	3,11
10	3,11	3,61
11	3,61	4,02

onde:

TPA = Tomada de Pressão Anterior, e

TPP = Tomada de Pressão Posterior.

2.1.4. SISTEMA DE COLETA E RECIRCULAÇÃO DE SÓLIDOS

O sistema de coleta e recirculação de sólidos é constituído basicamente pelo separador gravitacional, ciclone e silos, conforme o fluxograma da Figura 2.1.

a. SEPARADOR GRAVITACIONAL, SG-01

O separador gravitacional, mostrado na Figura 2.18, tem a função de captar as partículas sólidas arrastadas pelo fluido no tubo de transporte. Ele consta de um vaso em aço carbono com geo-

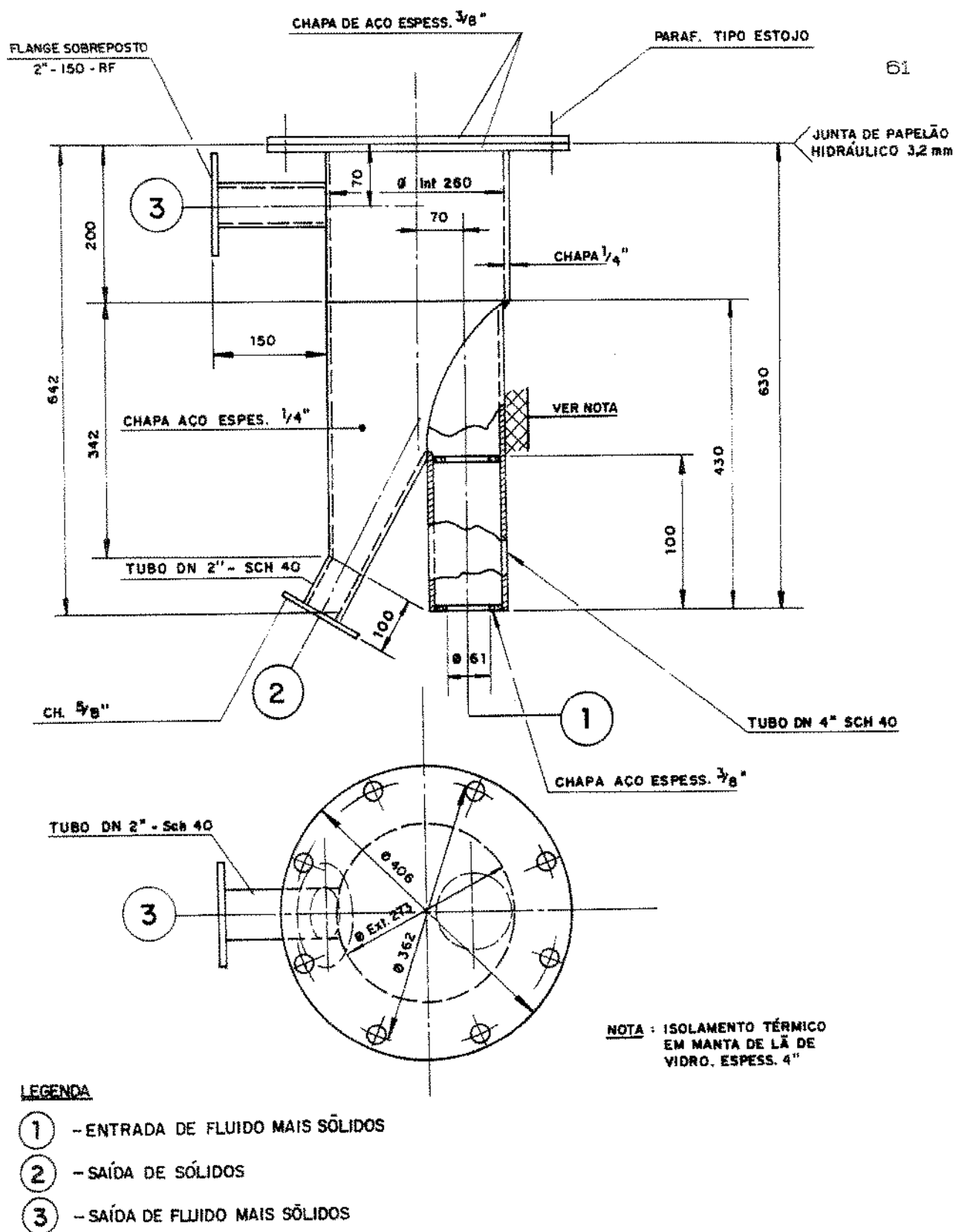


FIG. 2.18. DESENHO DIMENSIONAL DO SEPARADOR GRAVITACIONAL, SG-01.

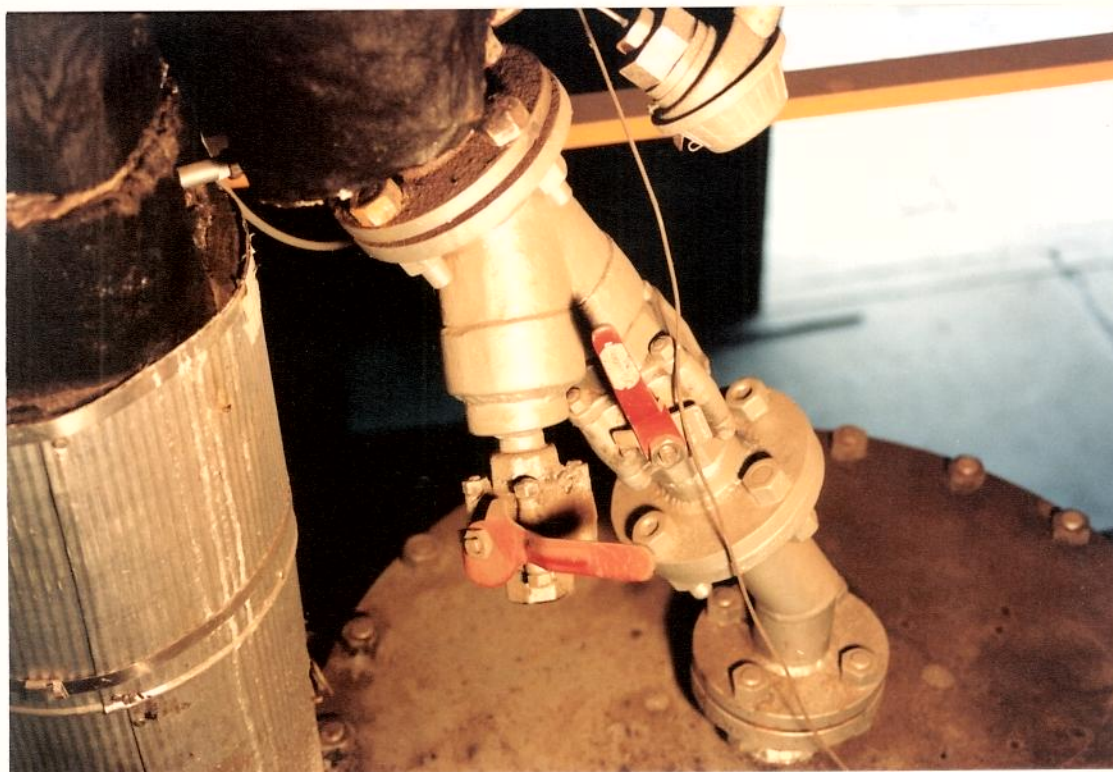


FIG. 2.19. AMOSTRADOR DE SÓLIDOS PARA MEDIDA DA TEMPERATURA DOS SÓLIDOS NA SAÍDA DO SEPARADOR GRAVITACIONAL.

b. CICLONE, CI-01 (Figura 2.20)

O ciclone tem a finalidade de captar as partículas sólidas que não foram coletadas no separador gravitacional, isto é, as partículas finas. Ele é detalhado na Figura 2.21.

c. SILO DE COLETA, SI-02 (Figura 2.22)

Para operar continuamente, como um circuito fechado de transporte de sólidos, o silo se constituía basicamente num meio de passagem e resfriamento dos sólidos. No caso de circuito aberto, o silo teve a finalidade de armazenar os sólidos captados pelo separador gravitacional SG-01. O volume do silo é de aproximadamente 250 litros. Detalhes do equipamento encontram-se na Figura 2.23.

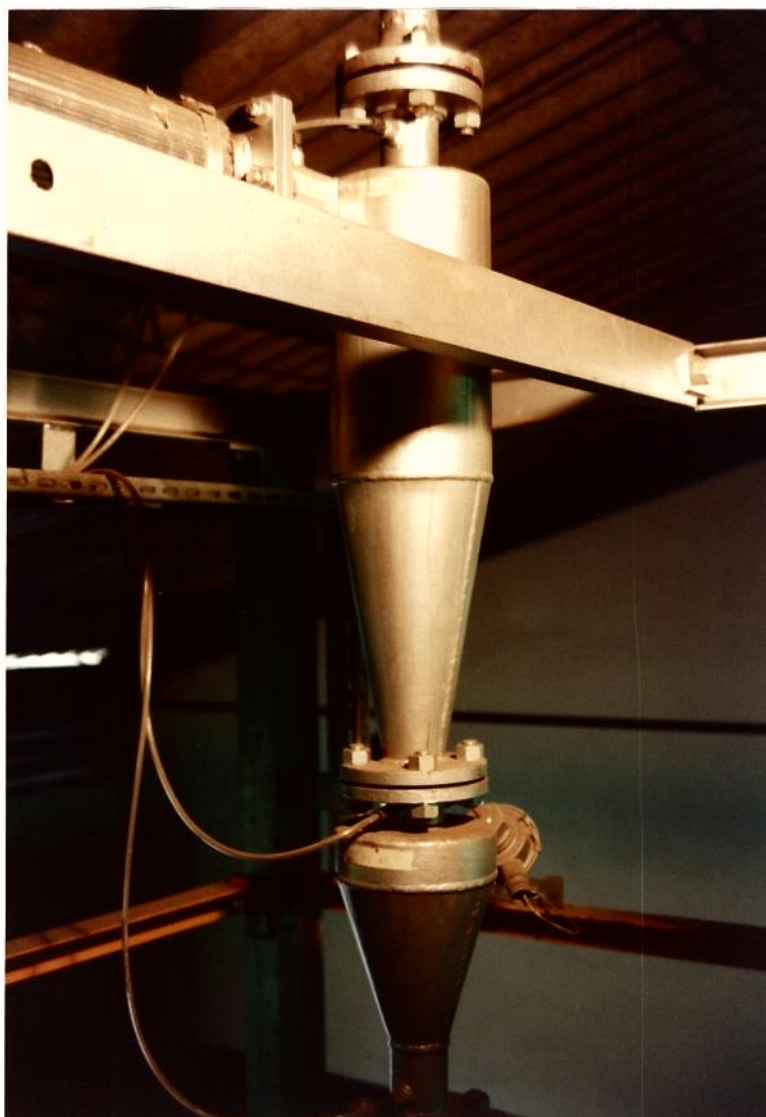


FIG. 2.20. CICLONE, CI-01

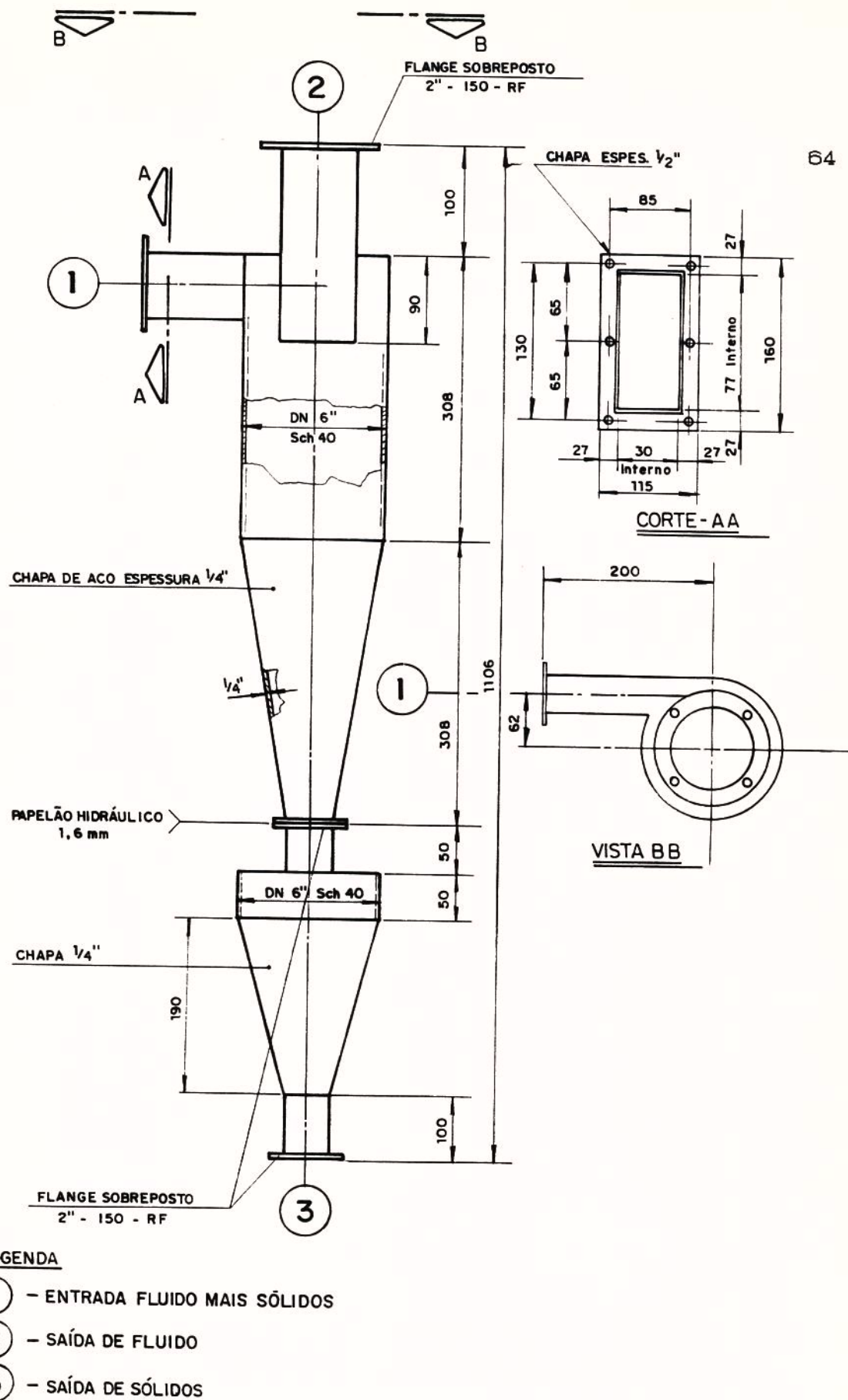
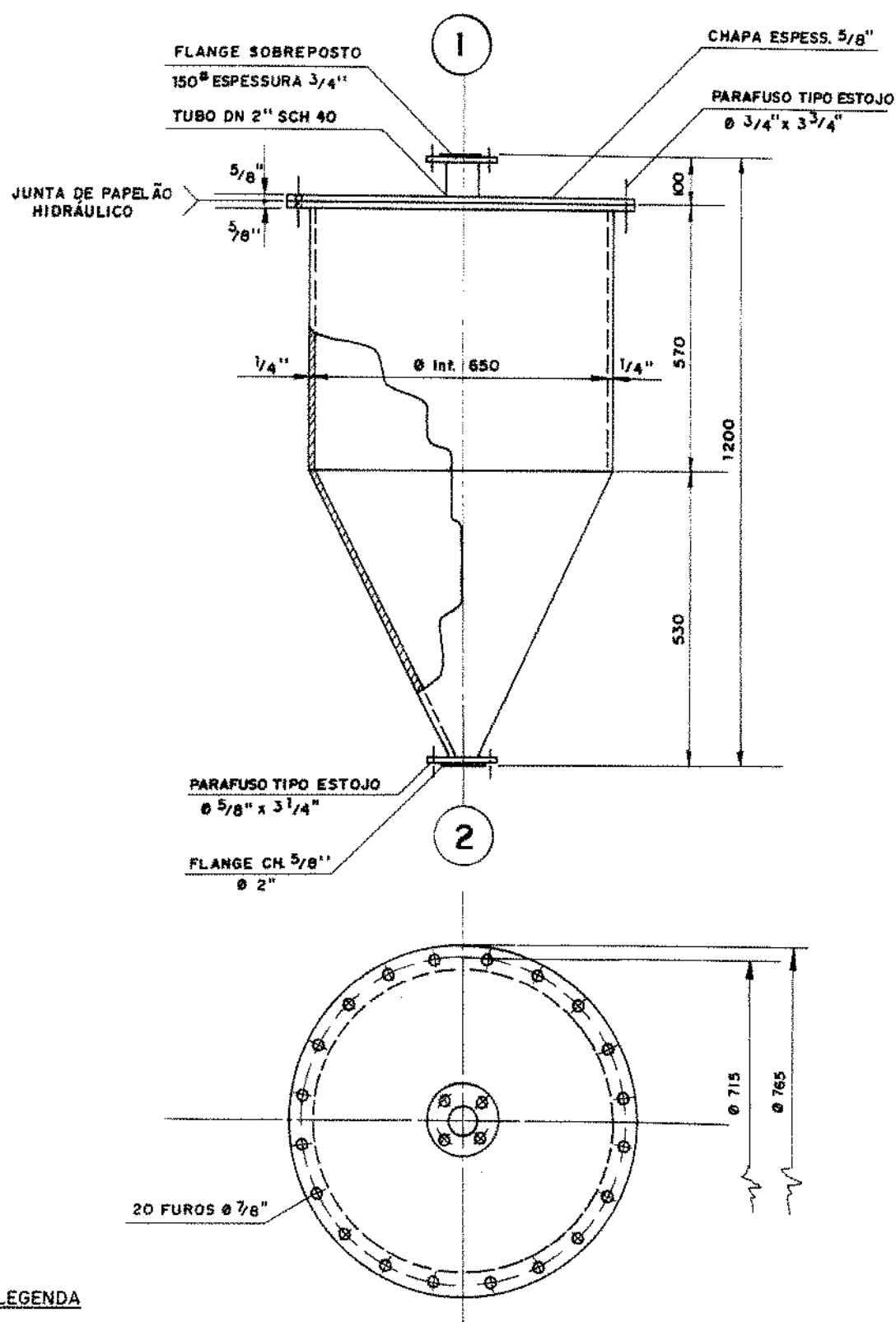


FIG. 2.21. DESENHO DIMENSIONAL DO CICLONE, CI - 01.



FIG. 2.22. SILO DE COLETA, SI-02 E TUBO DE TRANSPORTE, TT-01.



LEGENDA

- ① - ENTRADA DE SÓLIDOS
- ② - SAÍDA DE SÓLIDOS

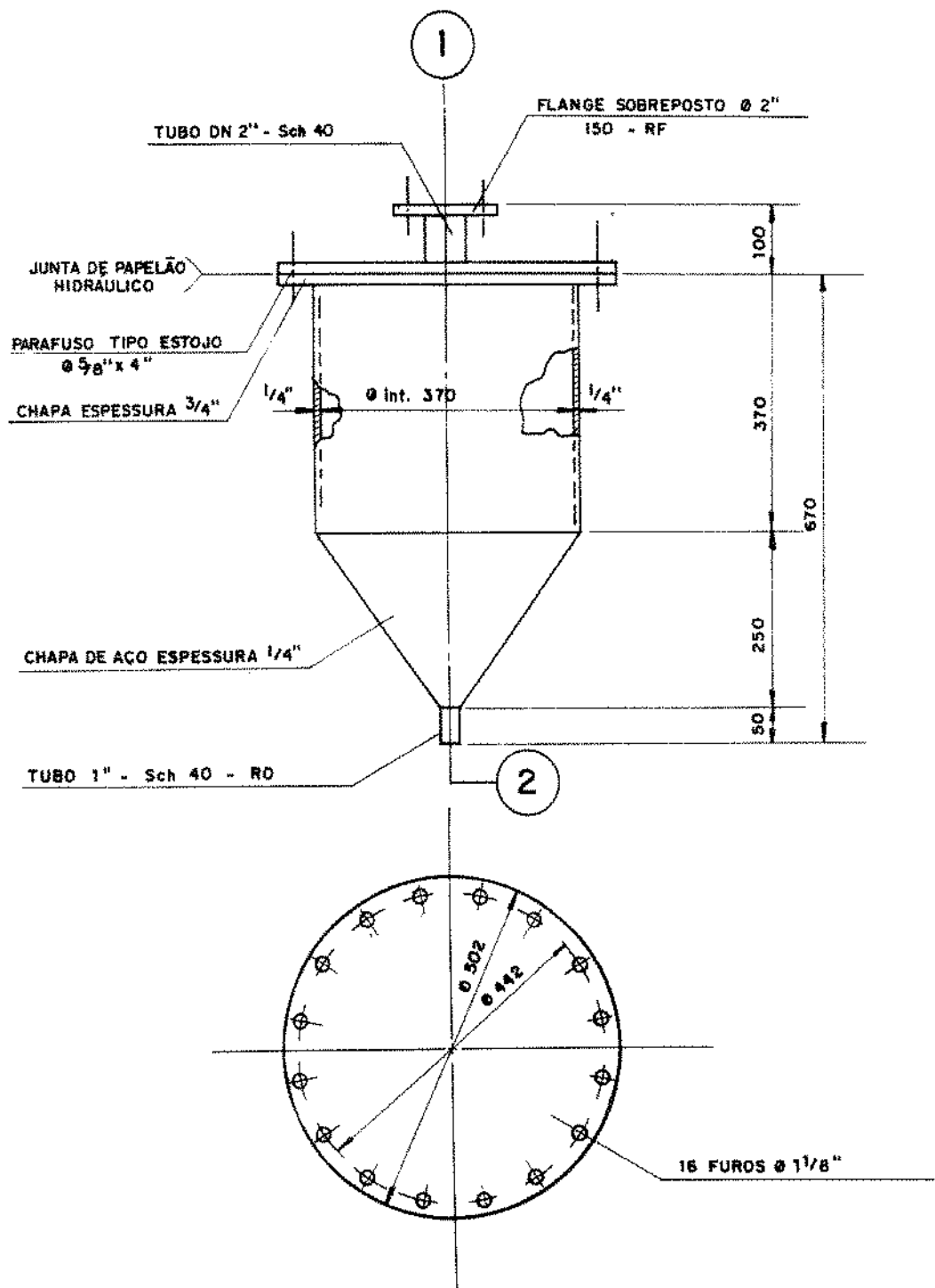
FIG. 2.23. DESENHO DIMENSIONAL DO SILO DE COLETA, SI-02.

d. SILO DE COLETA, SI-03

Este silo tem a mesma finalidade do silo SI-02 quando o circuito de sólidos é fechado. Para o circuito aberto tem a função de armazenamento dos sólidos captados pelo ciclone CI-01. O volume deste silo é em torno de 50 litros. O desenho do equipamento encontra-se na Figura 2.24.

2.1.5. ISOLAMENTO

Os equipamentos: aquecedor a vapor AQ-01, ejetor EJ-01, tubo de transporte TT-01 e separador gravitacional SG-01, bem como a tubulação que interliga o aquecedor a vapor AQ-01 ao ejetor EJ-01, foram isolados com manta de fibra de vidro com espessura de 100 mm.



LEGENDA

- ① - ENTRADA DE SÓLIDOS
- ② - SAÍDA DE SÓLIDOS

FIG.2.24. DESENHO DIMENSIONAL DO SILO DE COLETA, SI-03.

2.2. PROCEDIMENTO DOS TESTES

2.2.1. CARACTERÍSTICAS DAS PARTÍCULAS SÓLIDAS

As partículas sólidas utilizadas nos testes experimentais foram esferas de vidro, fabricadas pela firma Potters Indústria Ltda, Sumaré - SP, nas especificações AA, AC, AD, A72 e A100, as três primeiras adquiridas da firma COMABRA, representante da Potters em Curitiba - PR, e as outras duas diretamente do fabricante. Os resultados das análises granulométricas determinadas experimentalmente para o material como adquirido, assim como o diâmetro médio de Sauter, encontram-se no Anexo 3. O diâmetro médio de Sauter é dado por:

$$d_s = \frac{1}{\sum (x_j / \bar{d}_j)} \quad (2.1)$$

onde:

x_j = é a fração mássica das partículas sólidas retida na peneira j , e

$\bar{d}_j$ = é a média aritmética das aberturas das malhas das peneiras $(j-1)$ e j .

Como o objetivo do trabalho consistiu no estudo do efeito da granulometria na fluidodinâmica e na troca térmica gás-sólido, foi primordial a separação do material particulado em faixas granulométricas estreitas. Foram utilizadas as faixas: - 0,232 + 0,167, - 0,50 + 0,364 e - 0,83 + 0,73 mm. A análise granulométrica e o diâmetro médio de Sauter das faixas acima descritas encontram-se no Anexo 4.

Diversos testes a frio e a quente foram realizados preliminarmente para verificação do comportamento dos equipamentos e da instrumentação da unidade, antes dos testes para comparação com os modelos de simulação. Verificou-se, então, que houve alguma degradação das esferas de vidro, conforme é possível verificar na Tabela 2.2, que mostra a análise granulométrica e o diâmetro médio de Sauter das esferas, após os testes preliminares. A Figura 2.25a mostra a foto das esferas de vidro na faixa granulométrica - 0,5 + 0,364 mm, após a separação do material em faixas estreitas, antes da realização dos testes preliminares. A figura 2.25b mostra a foto das mesmas esferas, após a conclusão dos testes preliminares, onde se pode observar que as esferas de vidro sofreram quebras.

TABELA 2.2. ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS E DIÂMETROS MÉDIOS DE SAUTER DAS ESFERAS DE VIDRO PENEIRADAS, APÓS A REALIZAÇÃO DOS TESTES PRELIMINARES.

Material na Faixa Granulométrica - 0,232 + 0,187 mm

ABERTURA DA PENEIRA (mm)	PENEIRA MESH (TYLER)	PERCENTAGEM EM MASSA RETIDA NA PENEIRA
0,841	20	-
0,707	24	0,17
0,500	32	0,08
0,354	42	0,38
0,250	60	0,72
0,177	80	55,34
0,149	100	19,21
0,105	150	9,58
0,074	200	6,88
0	prato	7,64
Diâmetro Médio de Sauter = 135 µm		

Material na Faixa Granulométrica - 0,50 + 0,364 mm

ABERTURA DA PENEIRA (mm)	PENEIRA MESH (TYLER)	PERCENTAGEM EM MASSA RETIDA NA PENEIRA
0,841	20	-
0,707	24	2,25
0,500	32	26,13
0,354	42	41,32
0,250	60	16,42
0,177	80	8,40
0,149	100	3,00
0	prato	2,49
Diâmetro Médio de Sauter = 346 μ m		

Material na Faixa Granulométrica - 0,83 + 0,73 mm

ABERTURA DA PENEIRA (mm)	PENEIRA MESH (TYLER)	PERCENTAGEM EM MASSA RETIDA NA PENEIRA
1,00	16	-
0,841	20	19,42
0,707	24	60,02
0,500	32	19,75
0,354	42	0,67
0,250	60	0,14
0,177	80	-
0,149	100	-
0	prato	-
Diâmetro Médio de Sauter = 750 μ m		

As propriedades das partículas sólidas utilizadas no trabalho encontram-se na Tabela 2.3. O diâmetro médio de SAUTER das misturas binárias encontram-se na Tabela 2.4.

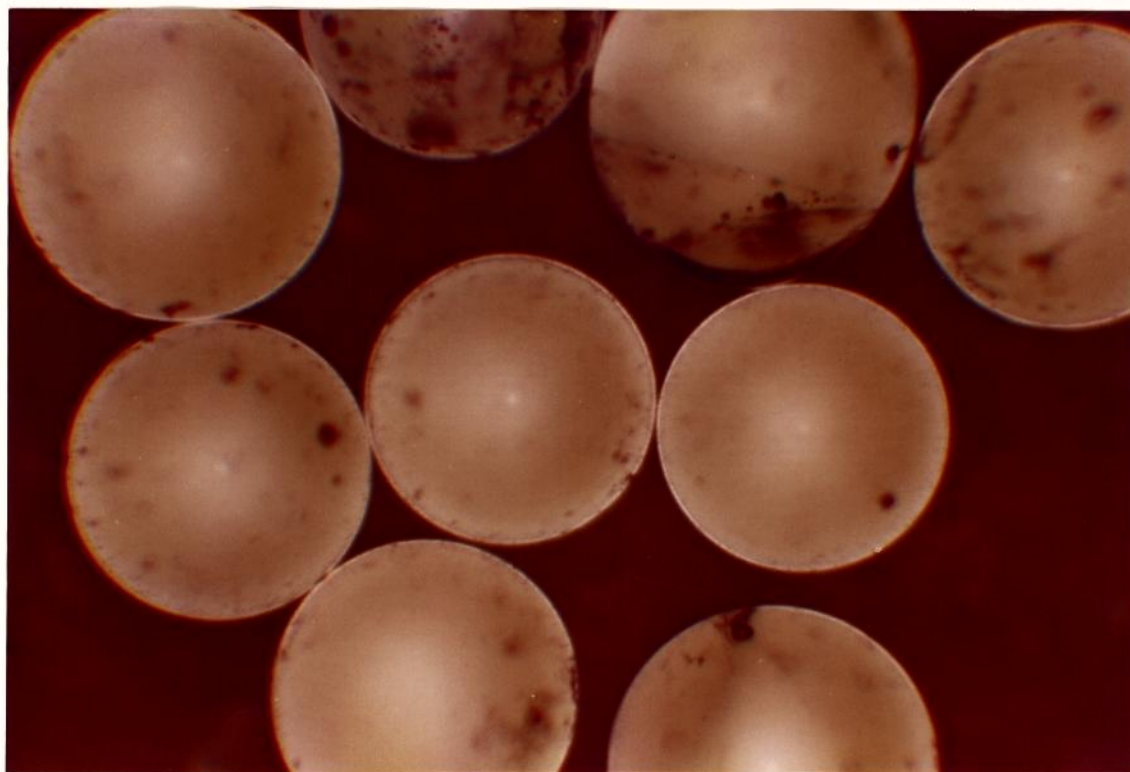


FIG. 2.25a. ESFERAS DE VIDRO DE FAIXA GRANULOMÉTRICA - 0,5 + 0,364 mm, AMPLIADAS EM CEM VEZES, APÓS A SEPARAÇÃO DO MATERIAL EM FAIXAS ESTREITAS E ANTES DOS TESTES PRELIMINARES.

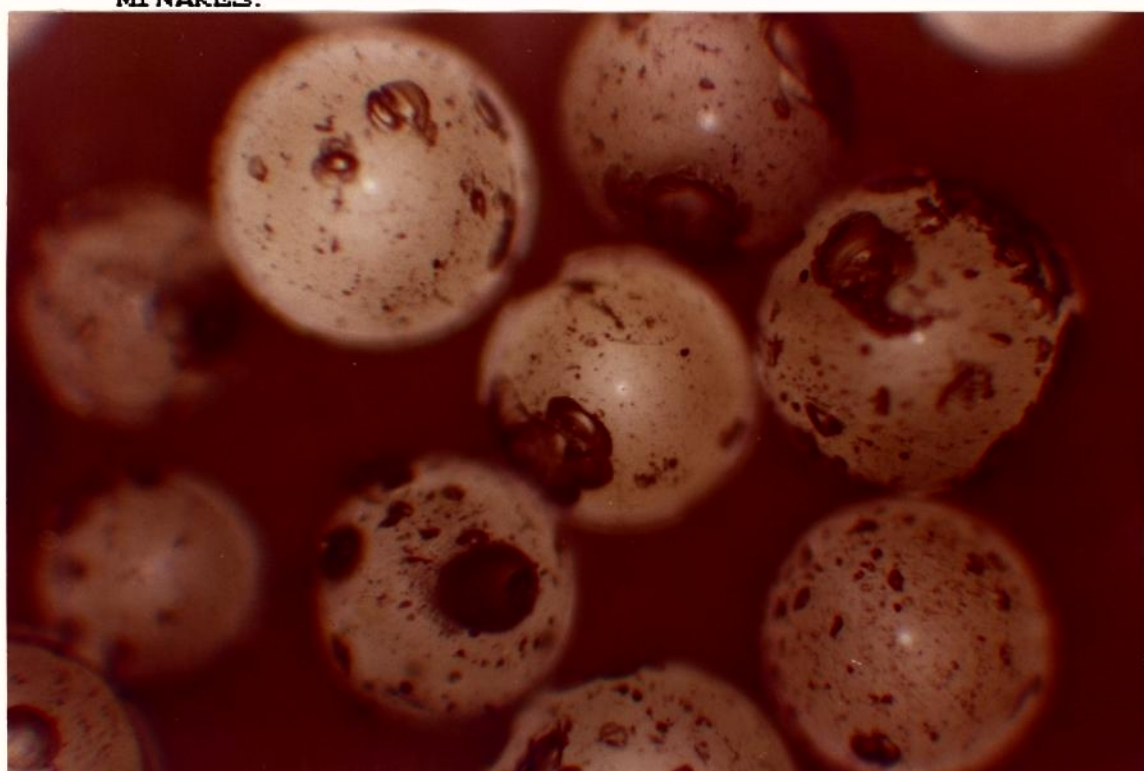


FIG. 2.25b. ESFERAS DE VIDRO DE FAIXA GRANULOMÉTRICA - 0,5 + 0,364 mm, AMPLIADAS EM CEM VEZES, APÓS A REALIZAÇÃO DOS TESTES PRELIMINARES.

TABELA 2.3. PROPRIEDADES DAS PARTICULAS SÓLIDAS

SÓLIDO	d_{si}	ϕ	ρ_{si}	C_{psi}
	μm	-	kg/m^3	Joule/kg $^{\circ}C$
Esferas de vidro	135	1	2500	754
Esferas de vidro	346	1	2500	754
Esferas de vidro	750	1	2500	754

TABELA 2.4. DIÂMETRO MÉDIO DE SAUTER DAS MISTURAS BINÁRIAS (μm)

Fração mássica das partículas sólidas de menor diâmetro	Diâmetro das partículas da mistura binária (μm) 135,346	135,750	346,750
0,2	264	392	608
0,5	194	229	474
0,8	154	161	388

2.2.2. PROCEDIMENTO OPERACIONAL

O início de operação era realizado alinhando-se vapor de água para o aquecedor AQ-01. Em seguida ajustava-se a descarga de ar de transporte, num valor pré-determinado, atuando-se nas válvulas globo VG-01 e gaveta VT-01. As temperaturas do ar, na saída do aquecedor a vapor e ao longo do tubo de transporte, eram então acompanhadas ao longo do tempo, até a estabilização. Em seguida a válvula esfera VE-01, situada após o silo de carga, era aberta para permitir o escoamento de sólidos, por gravidade, para o tubo de transporte, sendo o controle da descarga de sólidos, num valor pré-estabelecido, realizado pela placa de orifício instalada no trecho que liga o silo de carga ao tubo de transporte. Após a introdução dos sólidos, as temperaturas ao longo do tubo de transporte se alteravam, sendo novamente acompanhadas, até que permanecessem constantes, quando então eram iniciadas as medidas das variáveis: pressões, diferenciais de pressão e temperatura do ar e dos sólidos.

As partículas sólidas, após passarem pelo tubo de transporte, seguiam para o separador gravitacional, onde as partículas de maior diâmetro eram captadas e enviadas ao silo de carga SI-01, realimentando o sistema. As partículas de menor diâmetro eram captadas no ciclone e, da mesma forma que as de maior diâmetro, recirculadas na Unidade. O ar que saía do ciclone era descartado para a atmosfera, havendo, portanto, um escoamento em circuito aberto, para o ar, e um fechado, para os sólidos.

A descarga de sólidos era medida através de coleta de amostra de sólidos dos silos SI-02 e SI-03, num tempo estabelecido. Para a coleta de amostra do silo SI-02 era realizada simultaneamente, o fechamento da válvula esfera VE-04 e a abertura da válvula esfera VE-05. A amostra de sólido do Silo SI-03, por sua vez, era executada de forma semelhante, atuando-se nas válvulas esfera VE-06 e VE-07. A descarga de sólido total era obtida como a soma das descargas individuais determinadas acima.

O procedimento descrito era repetido, mantendo a mesma descarga de ar e variando a descarga de sólidos, através da substituição da placa de orifício (de controle da descarga de sólidos), por outra de diâmetro interno diferente.

Concluído o ciclo de testes com uma determinada descarga de ar e diferentes descargas de sólidos, iniciava-se outro ciclo de testes alterando a descarga de ar e repetindo os passos do ciclo anterior, sucessivamente, até que todas as partículas sólidas fossem testadas.

2.2.3. DETERMINAÇÃO DAS TEMPERATURAS INICIAL E FINAL DAS CORRENTES FLUIDA E SÓLIDA

a. TEMPERATURA INICIAL DO FLUIDO

Foram realizados testes preliminares, utilizando somente ar, para determinar a queda de temperatura, apresentada na expansão, ao passar pelo bocal do ejedor. A finalidade destes testes foi a de obter um procedimento para calcular a temperatura do ar no ponto de alimentação de sólidos, correspondente à cota zero do tubo de transporte. Nesta localização não seria factível a colocação de um termopar, pois este seria rapidamente destruído pelas partículas sólidas, devido à alta velocidade do ar neste ponto. O valor médio encontrado para a razão entre a temperatura absoluta do ar à jusante do ejedor, TE-05, e a temperatura absoluta à montante do mesmo, TE-03, foi cerca de 0,971. Nos testes realizados, verificou-se que as diferenças de temperatura, entre duas cotas adjacentes do tubo de transporte, eram praticamente desprezíveis. Foi possível, assim, considerar que a queda de temperatura do ar, entre o TE-03 e o TE-05 igual a queda de temperatura do ar ao passar pelo bocal do ejedor, isto é, de TE-03 ao ponto de alimentação de sólidos.

b. TEMPERATURA INICIAL DO SÓLIDO

A temperatura das partículas sólidas na entrada do tubo de transporte foi obtida a partir do termopar TE-04, situado no trecho de tubulação que interliga o silo de carga ao tubo de transporte, e próximo deste.

c. TEMPERATURAS INTERMEDIARIAS E FINAL DO FLUIDO

As temperaturas medidas pelos termopares com poço de proteção ao longo do tubo de transporte foram consideradas como sendo do fluido. Estas temperaturas são dadas pelos termopares:

TE-05, TE-06, TE-07, TE-08, TE-09, TE-10, TE-11, TE-12, TE-13,

TE-14 e TE-15. A temperatura final do fluido no tubo de transporte,

t_{fl} , é dada pelo termopar TE-16.

d. TEMPERATURA FINAL DO SÓLIDO

A temperatura do sólido na saída do tubo de transporte foi admitida igual à temperatura do sólido medida na saída do separador gravitacional, determinada indiretamente através de um calorímetro, conforme descrito no Anexo 5.

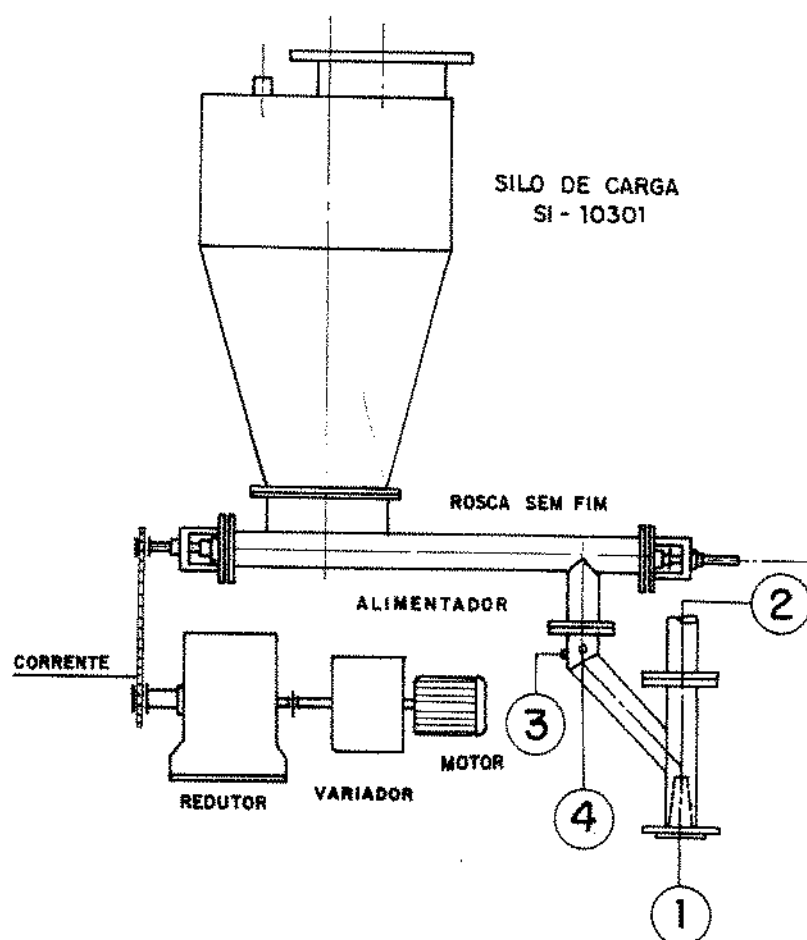
2.2.4. DIFICULDADES ENFRENTADAS NA ALIMENTAÇÃO DE SÓLIDOS E NA MEDIDA DAS TEMPERATURAS DO FLUIDO AO LONGO DO TUBO DE TRANSPORTE

a. SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DE SÓLIDOS

O sistema de alimentação de sólidos consistia inicialmente de um silo com boca oblonga e um alimentador de sólidos tipo rosca sem fim, conforme esquematizado na Figura 2.26.

A rosca sem fim foi projetada com passo de 74 mm, que fornecia na rotação máxima de 18 rpm, uma descarga de 650 kg/h de sólidos na faixa granulométrica $-0,83 + 0,73$ mm.

A Figura 2.27a mostra um desenho simplificado da rosca sem fim e a Figura 2.27b o desenho dimensional do helicóide com passo de 74 mm.



LEGENDA

- ① - ENTRADA DE FLUIDO
- ② - SAÍDA DE FLUIDO MAIS SÓLIDOS
- ③ - TE - 04
- ④ - PI - 02

FIG.2.26. DESENHO ESQUEMÁTICO DO SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DE SÓLIDOS UTILIZANDO ROSCA SEM FIM.

A variação da descarga de sólidos era realizada através da alteração da rotação do helicóide, por meio de um variador eletromagnético da marca Varimot. O variador era acoplado, através de corrente e rodas dentadas, a um redutor de velocidade da marca Falk, com relação de redução de velocidade de 1:25.

Devido à baixa rotação do helicóide, a alimentação de sólidos era pulsante, ocasionando grandes flutuações nas medidas de temperatura e pressão ao longo do tubo de transporte.

Para contornar o problema foi construído um novo helicóide com passo menor, 18 mm, Figura 2.27c, de forma a permitir a operação com uma rotação mais elevada, reduzindo as pulsações na descarga de sólidos. Em termos operacionais o problema foi solucionado, uma vez que as pulsações reduziram, tornando possível as leituras de temperatura e pressão ao longo do tubo de transporte, mas o helicóide começou a sofrer abrasão e travamento frequentes.

Em função dos vários problemas com a rosca sem fim o sistema foi abandonado e passou-se a utilizar a própria gravidade para alimentação dos sólidos no tubo de medida, conforme já descrito no item 2.1.2.

O sistema de alimentação por gravidade apresentou problemas devido à contra-pressão do fluido de arraste (ar) no ponto de alimentação de sólidos, dificultando e, às vezes, impedindo, a alimentação destes. Para contornar este problema foram testados três concepções de ejetores, conforme a Figura 2.28, para reduzir a pressão no referido ponto, sendo que a concepção C, que melhores resultados apresentou, passou a ser utilizada nos testes.

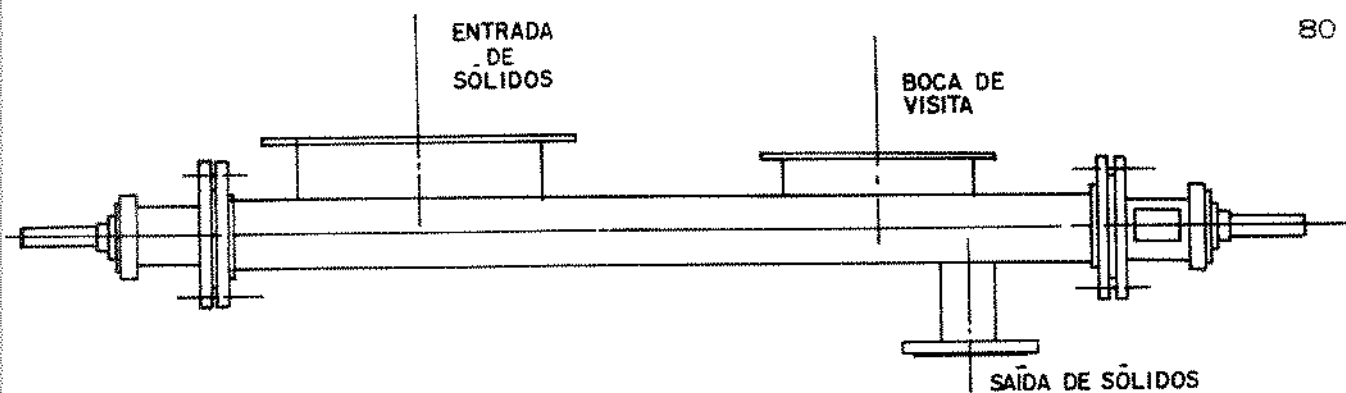


FIG. 2.27a. DESENHO ESQUEMÁTICO DA ROSCA SEM FIM.

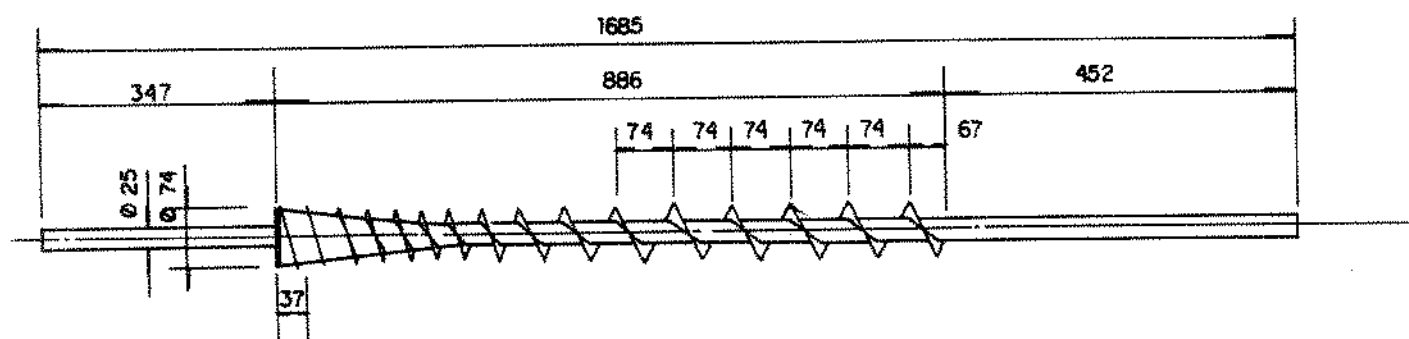


FIG. 2.27 b. DESENHO DIMENSIONAL DO HELICÔIDE COM PASSO DE 74 mm.

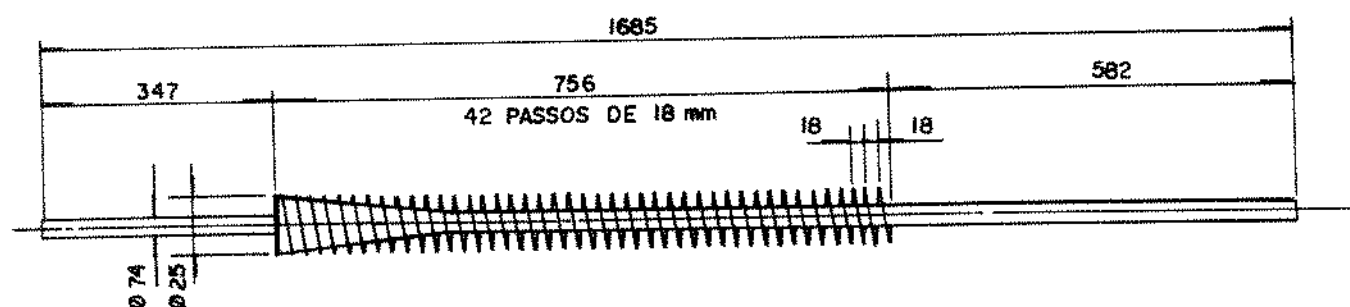
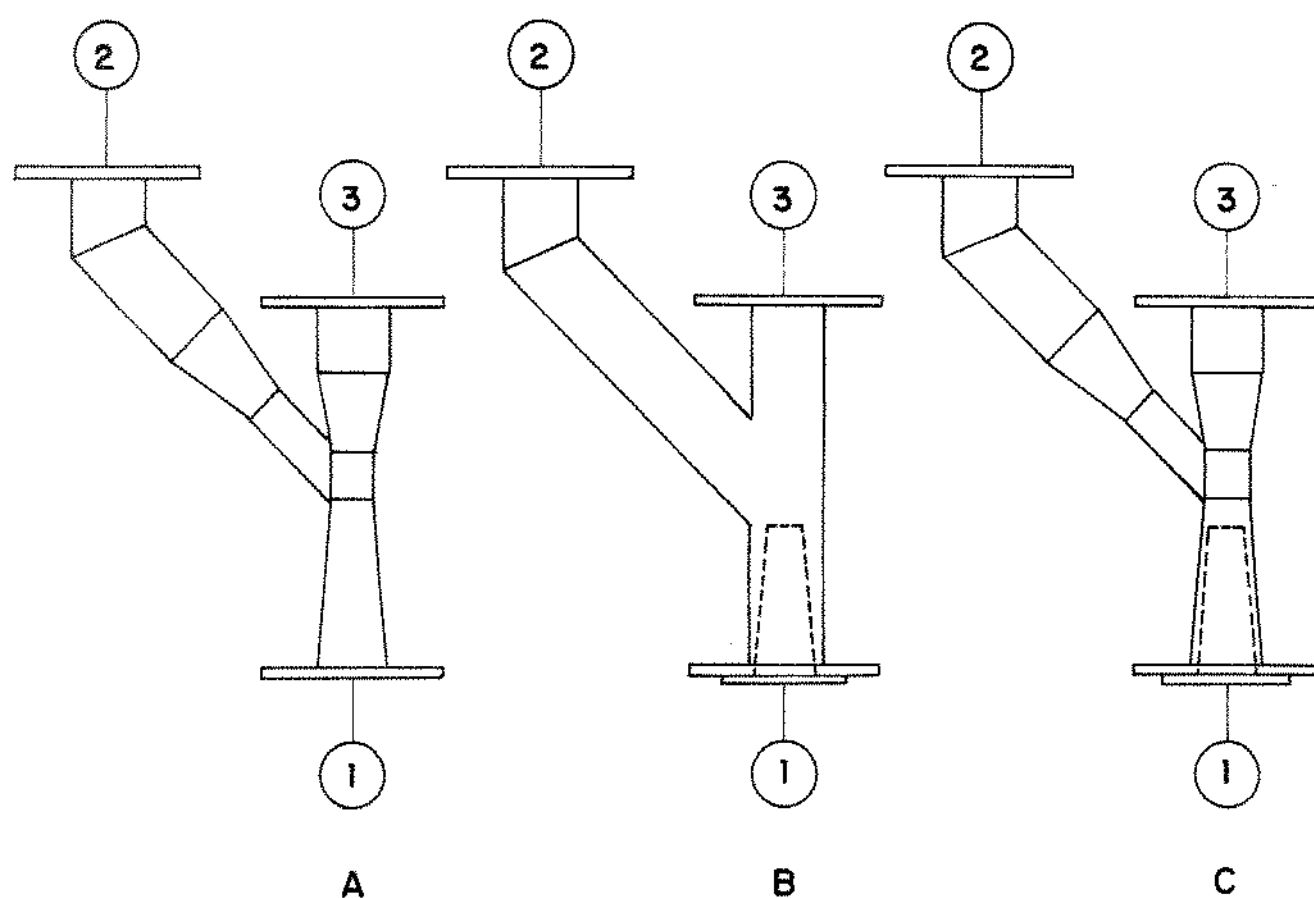


FIG. 2.27c. DESENHO DIMENSIONAL DO HELICÔIDE COM PASSO DE 18 mm.



LEGENDA

- ① - ENTRADA DE FLUIDO
- ② - ENTRADA DE SÓLIDOS
- ③ - SAÍDA DE FLUIDO MAIS SÓLIDOS

FIG. 2.28. DESENHO SIMPLIFICADO DE TRÊS CONCEPÇÕES DE EJETORES.

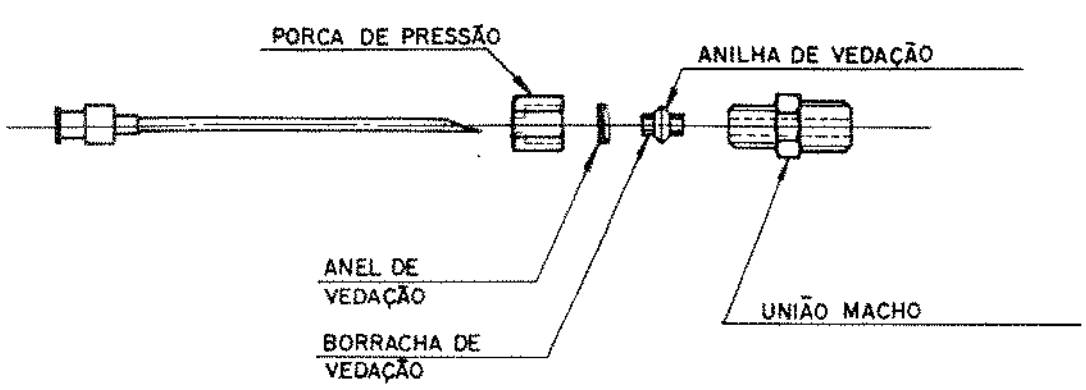
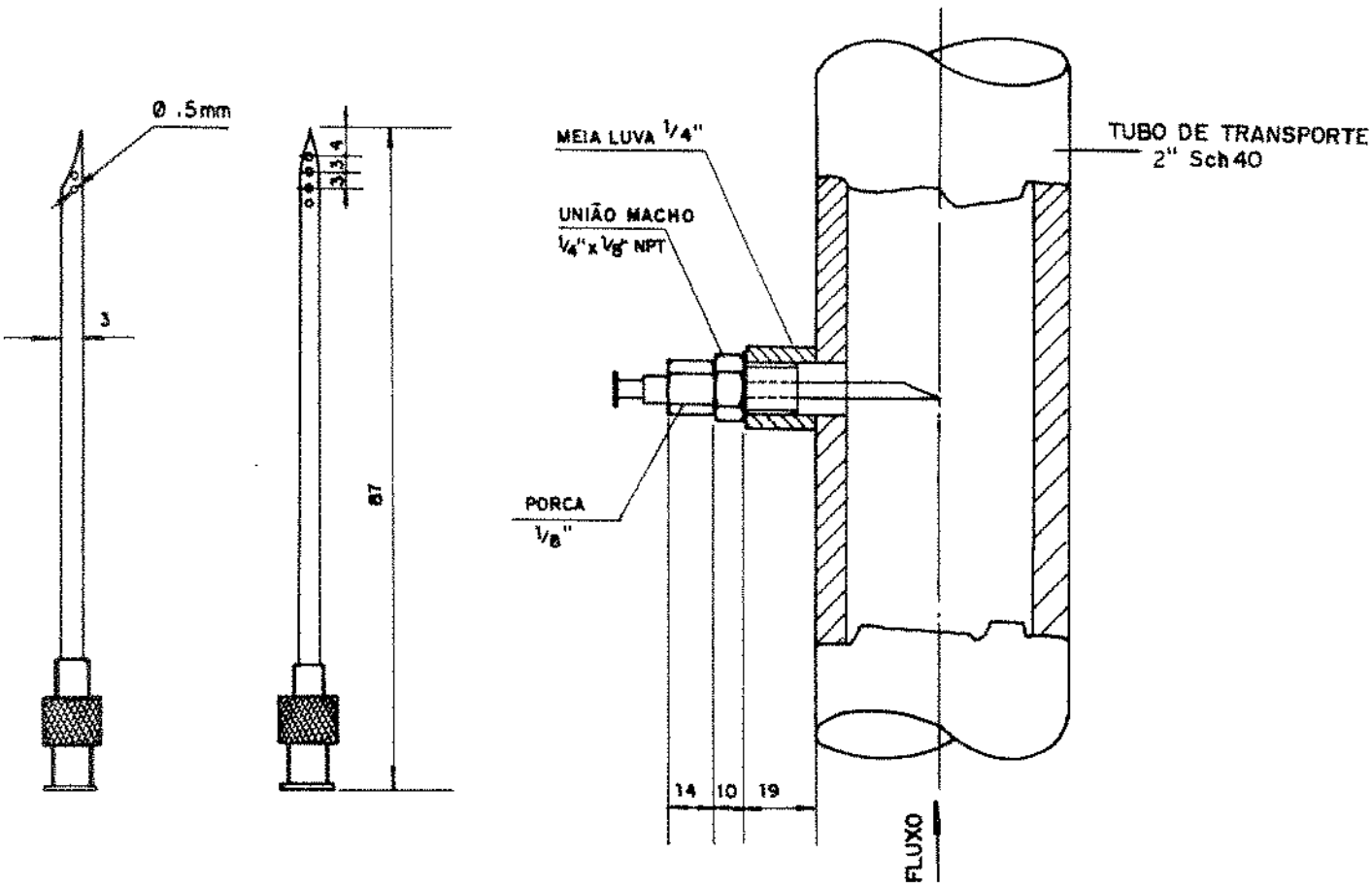
b. MEDIDA DA TEMPERATURA DO FLUIDO

Para medida da temperatura do ar ao longo do tubo de transporte foram utilizados diversas concepções de termopares, descritas a seguir.

No princípio foram utilizados termopares construídos com fios de ferro e constantan, unidos numa extremidade com solda prata. Os termopares eram então inseridos no interior de agulhas para impedir o contato com as partículas sólidas transportadas.

A Fig. 2.29a mostra uma agulha de injeção no. 20, em aço inox 304, de uso veterinário, com furos adicionados para permitir a passagem do fluido. A Figura 2.29b mostra o esquema de montagem da agulha no tubo de transporte, e a figura 2.29c apresenta os detalhes das peças de vedação e fixação da agulha ao tubo.

Foram realizados oito furos de 500 μm de diâmetro em cada agulhas. Para evitar o contato das partículas com a junta quente do termopar utilizou-se uma tela de malha 150 mesh tyler para cobrir a extremidade da agulha em que se encontrava a junta quente do termopar. A junta é mostrada na Figura 2.30, que inclui detalhes do termopar confeccionado com fios de ferro e constantan, e na fotografia da Figura 2.31.



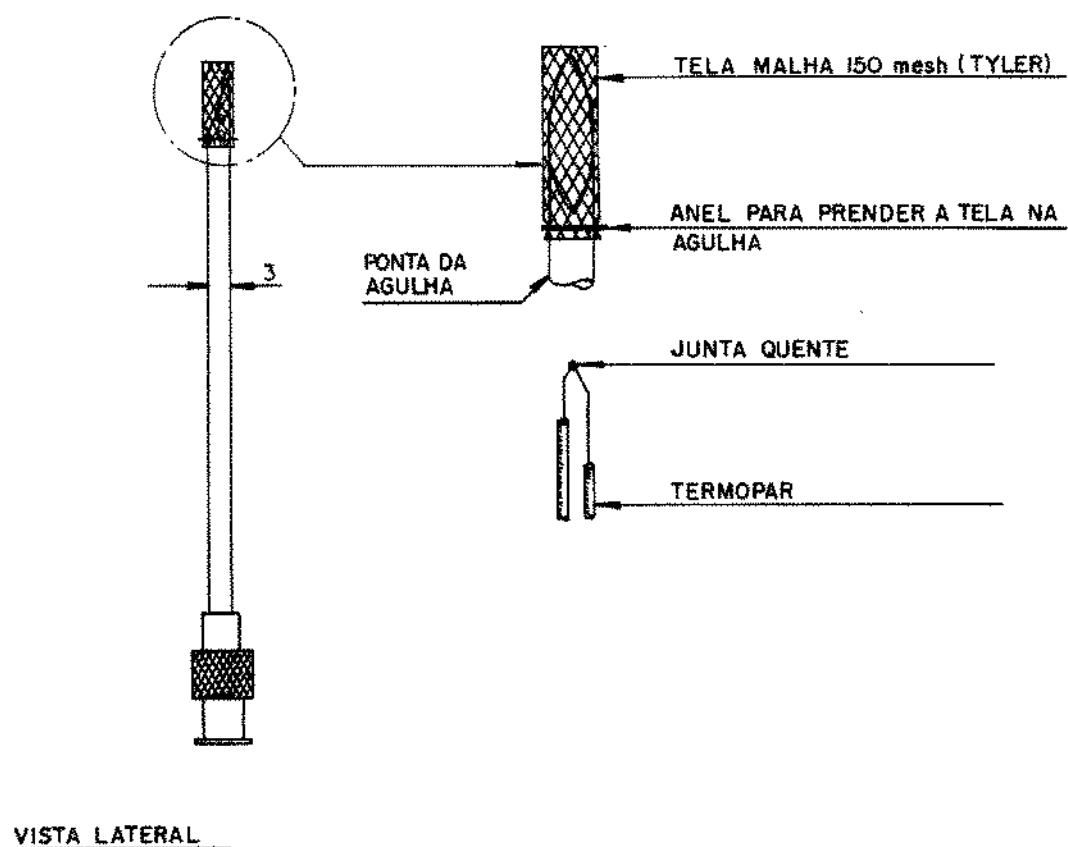


FIG. 2.30. DETALHES DA AGULHA COM TELA DE PROTEÇÃO EXTERNA E DO TERMOPAR CONFECCIONADO COM FIOS DE FERRO E CONSTANTAN.

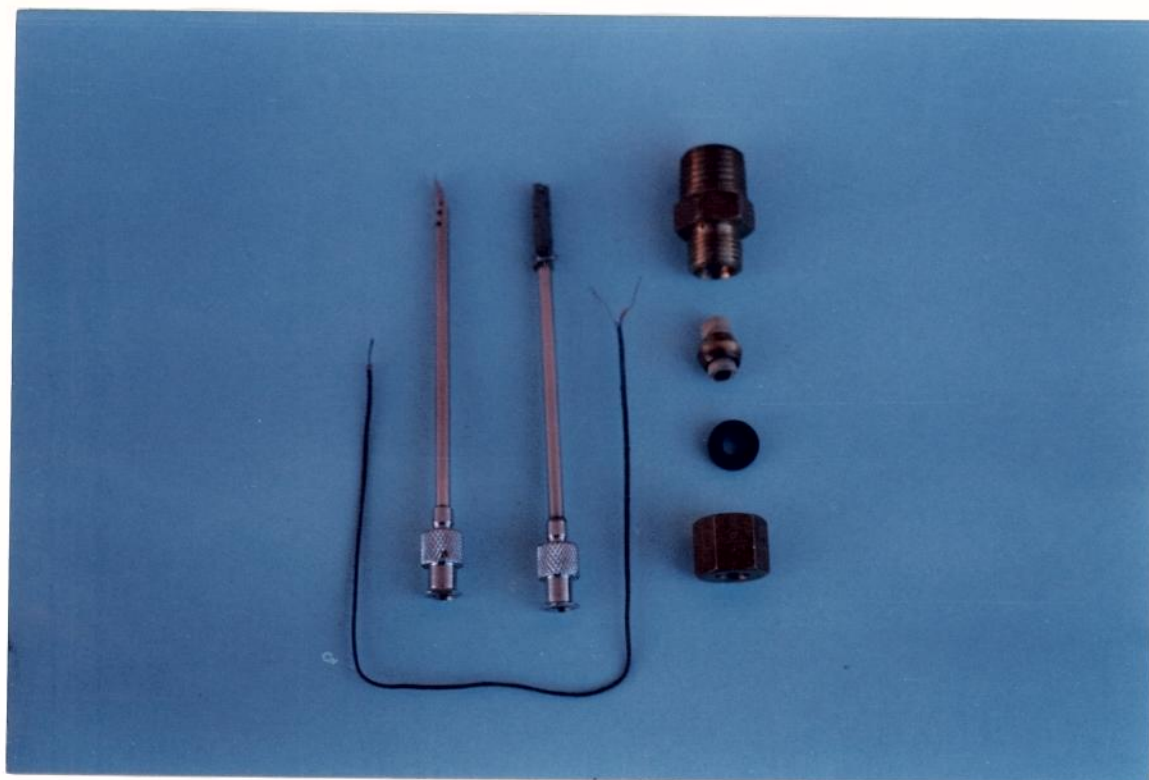


FIG. 2.31. DETALHES DE MONTAGEM DO TERMOPAR NA AGULHA COM TELA DE PROTEÇÃO EXTERNA. (A FOTO MOSTRA TAMBÉM AS PEÇAS DE VEDAÇÃO E FIXAÇÃO DO TERMOPAR AO TUBO DE TRANSPORTE).

Os testes mostraram que a tela e o elemento que a prendia à agulha, não suportavam à abrasão, ocasionada pelas partículas sólidas, e rompiam. A Fotografia da Figura 2.32 mostra uma agulha intacta e duas com desgaste provocado pelas partículas sólidas. Optou-se, então, por localizar a tela no interior da agulha (Figuras 2.33 e 2.34).

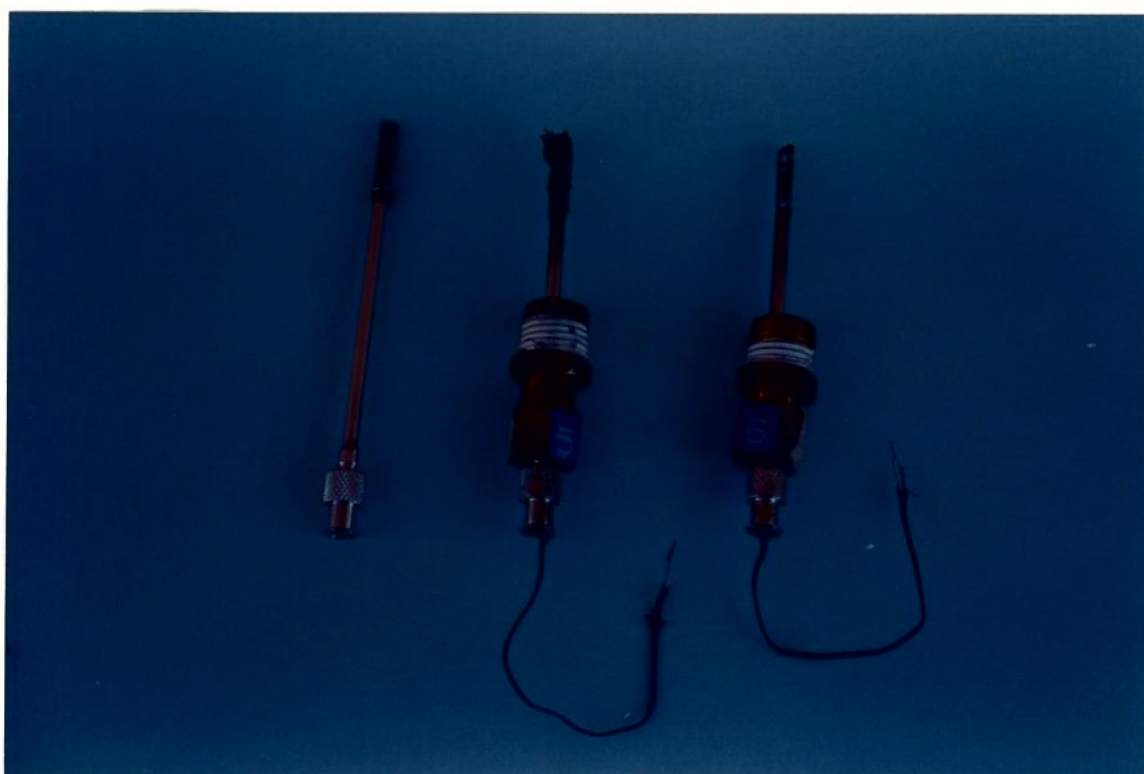


FIG. 2.32. FOTOGRAFIA DE UMA AGULHA SEM USO E DE DUAS COM DESGASTE, CORRESPONDENTES AO TE-05 E TE-06, RESPECTIVAMENTE.

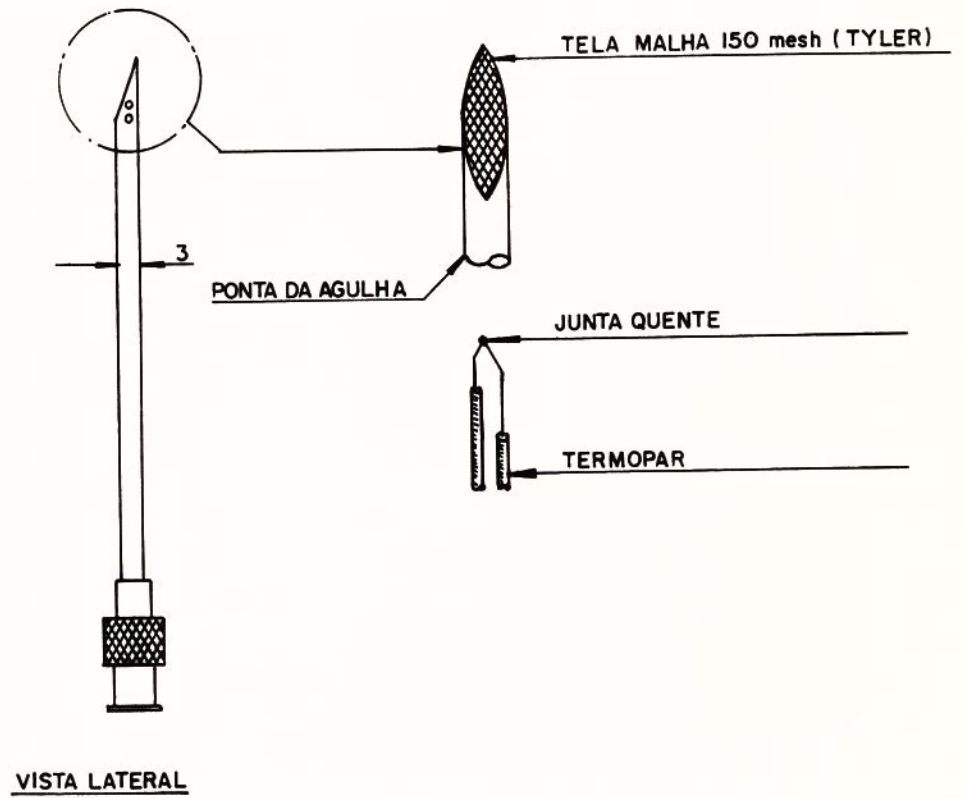


FIG. 2.33. DETALHES DA AGULHA COM TELA DE PROTECAO INTERNA.

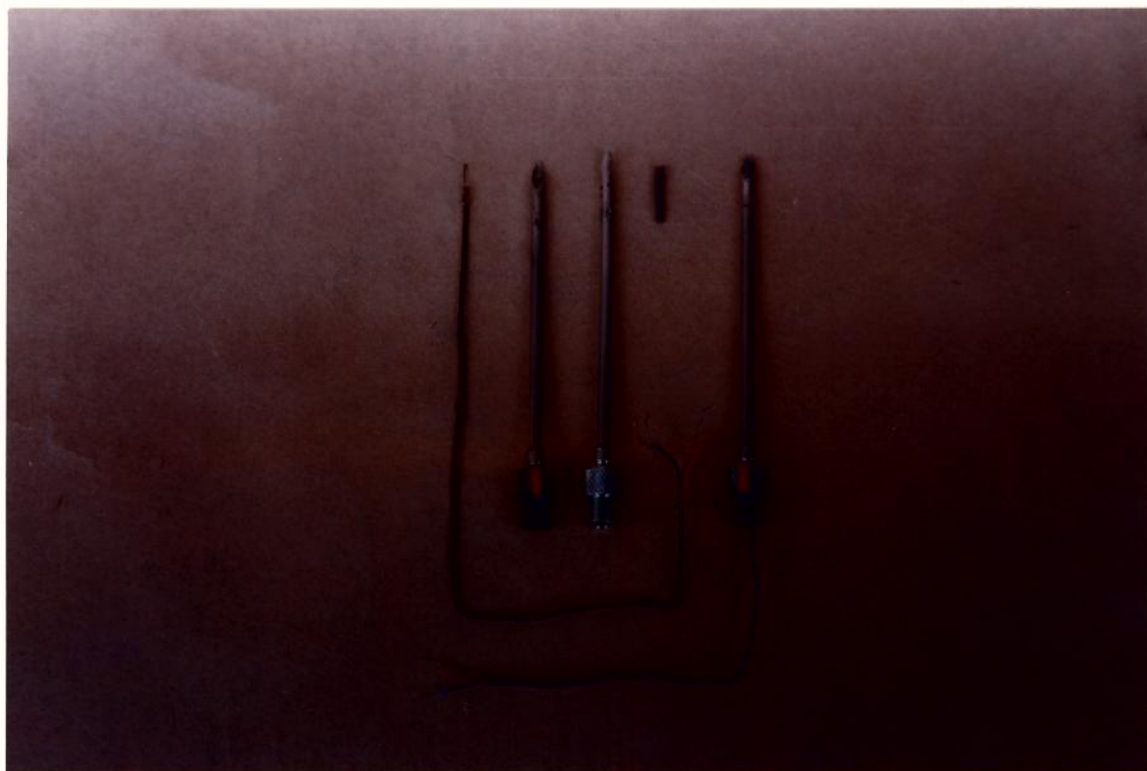


FIG. 2.34. DETALHES DE MONTAGEM DO TERMOPAR NA AGULHA COM TELA DE PROTEÇÃO INTERNA.

Novos testes foram realizados e outros problemas apareceram. A tela sofria desgaste na região dos furos da agulha, ocasionando danos ao termopar (Figura 2.35). As agulhas também começaram a apresentar desgaste devido à abrasão, principalmente aquelas localizadas próximas à base do tubo de transporte: TE-05, TE-06 e TE-07 (Figura 2.36).

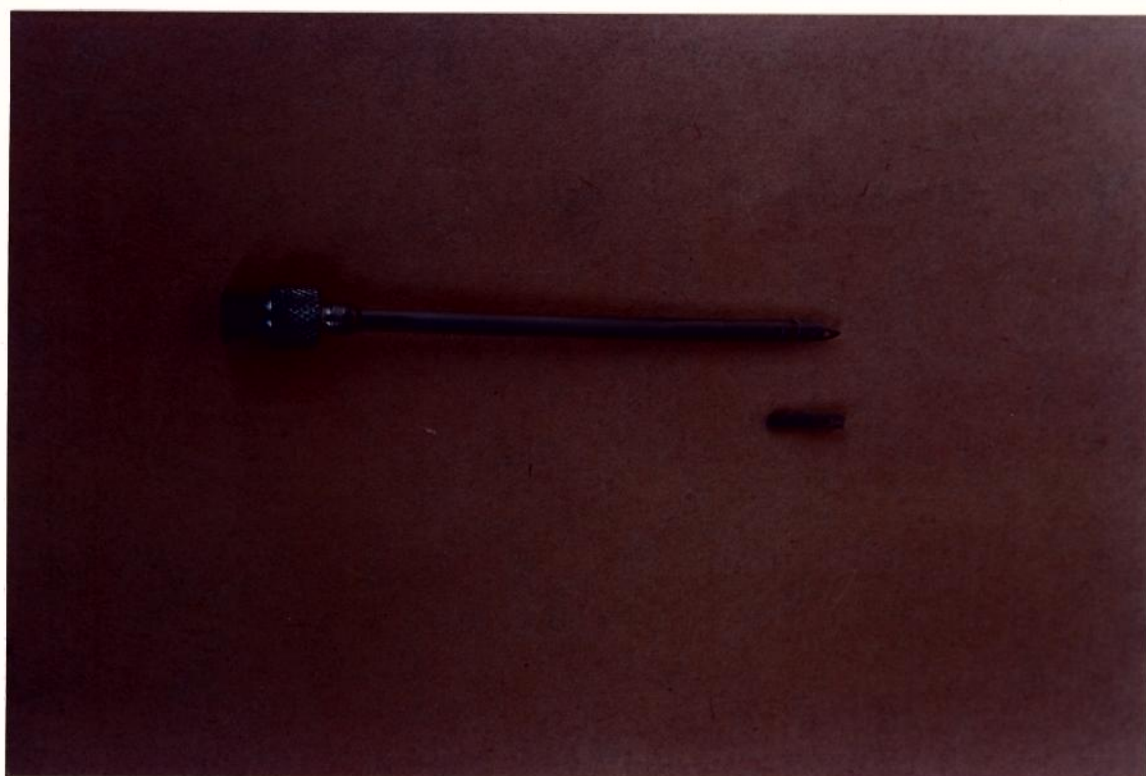


FIG. 2.35. EFEITO DA ABRASÃO DAS PARTICULAS SÓLIDAS NA TELA DE PROTEÇÃO INTERNA.

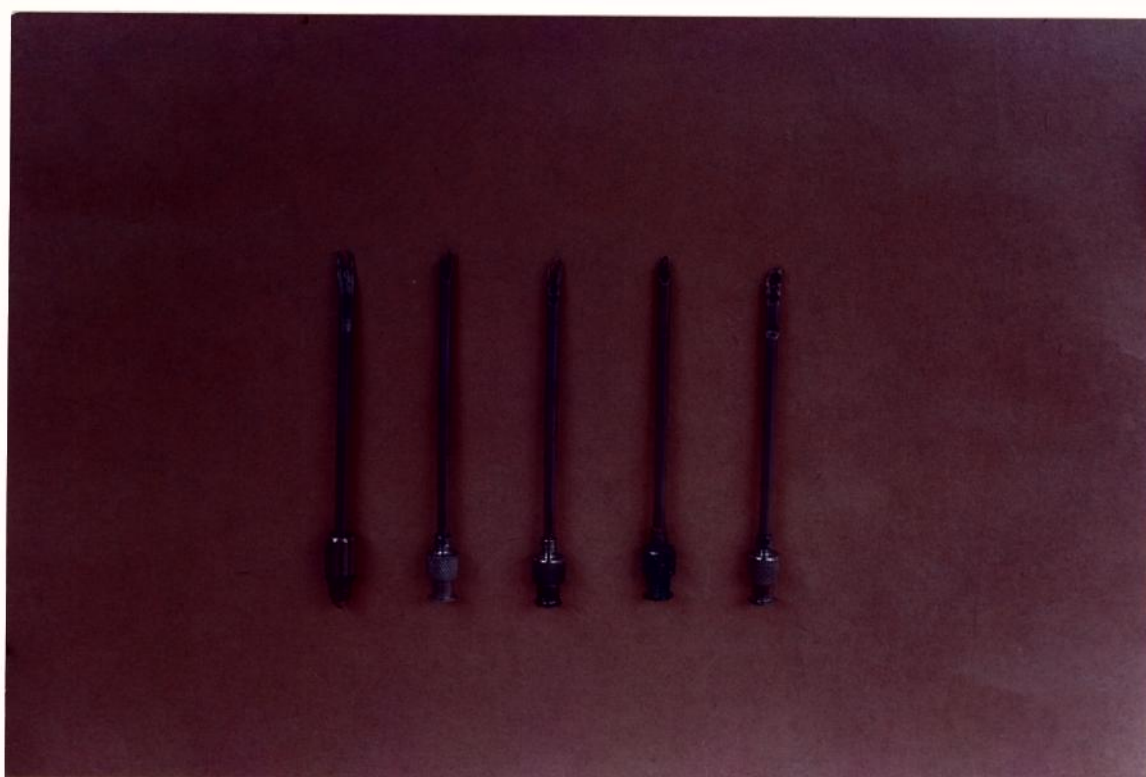


FIG. 2.36. EFEITO DA ABRASÃO DAS PARTICULAS SÓLIDAS NAS AGULHAS DE PROTEÇÃO DOS TERMOPARES.

Na tentativa de contornar estes problemas foram utilizadas agulhas sem furos laterais, conforme Figura 2.37. Com esta nova concepção foi realizado um ciclo de testes, no qual se acreditou observar incoerências nas medidas de temperatura do fluido. Na realidade, como se discute a seguir, os resultados eram coerentes com a operação do sistema em batelada, mas foram atribuídos a uma possível oscilação do termopar no interior da agulha de proteção.

A Figura 2.38 mostra um típico perfil de temperatura do ar ao longo do tubo de transporte para testes realizados em batelada.

Como se pode verificar na figura, a temperatura do ar se reduz inicialmente até um determinado valor, aumentando em seguida. Este fenômeno foi mais pronunciado nos testes com as partículas de $135\text{ }\mu\text{m}$ de diâmetro.

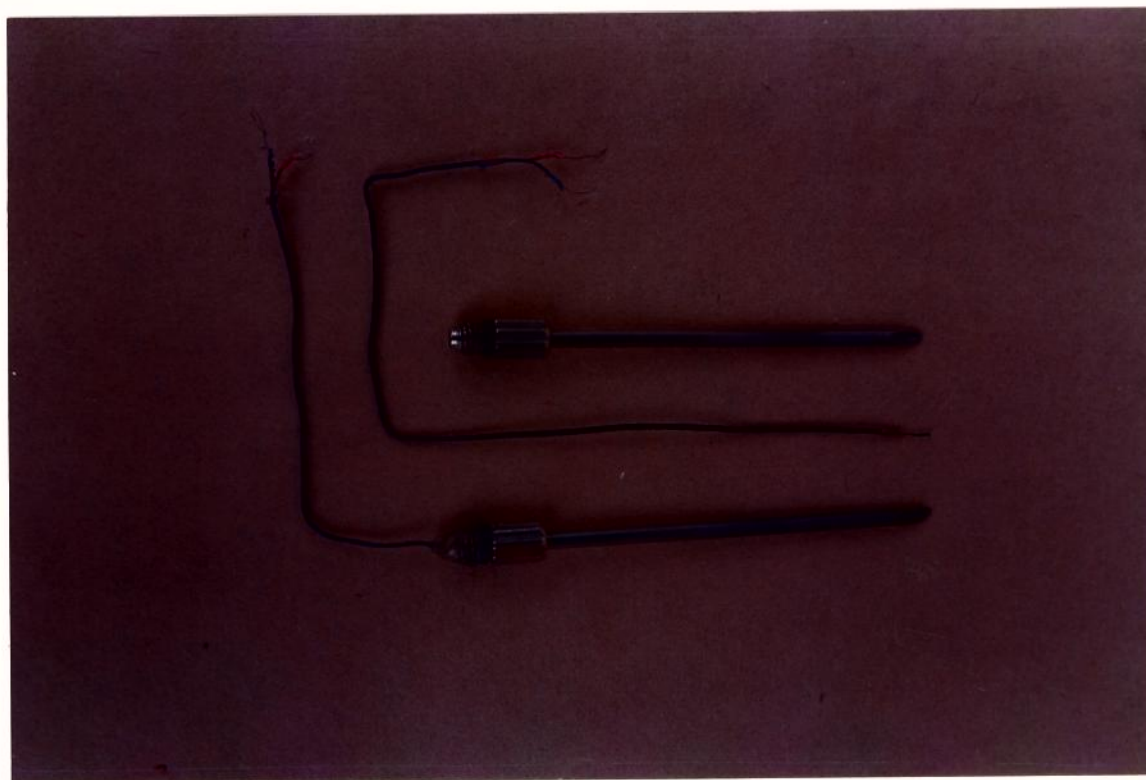


FIG. 2.37. AGULHA DE PROTEÇÃO SEM FUROS E SEM TELA DE PROTEÇÃO

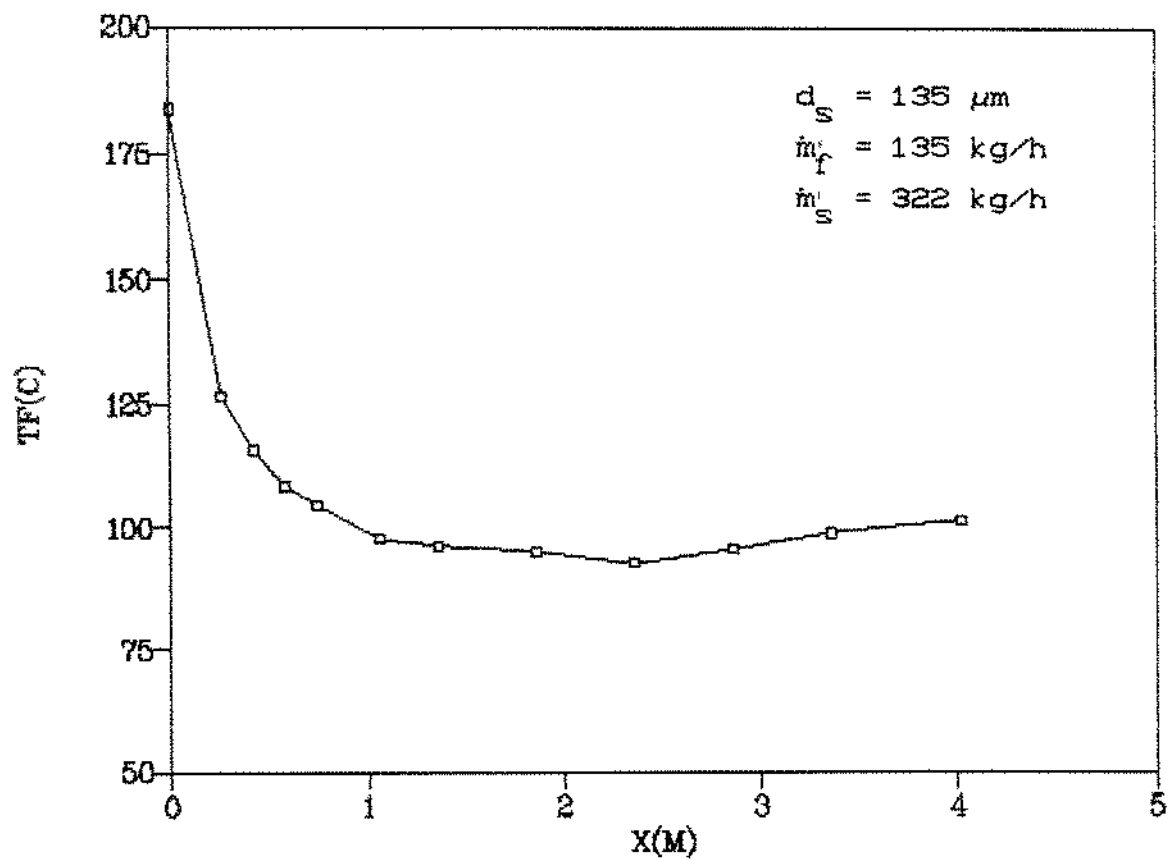


FIG. 2.38. CURVA TÍPICA DO PERFIL DE TEMPERATURA DO AR AO LONGO DO TUBO DE TRANSPORTE NUMA OPERAÇÃO EM BATELADA.

Em consequência, as agulhas foram substituídas por termopares comerciais, com diâmetro de bainha de 1,5 mm. Cada termopar foi inserido num poço para proteção contra a abrasão das partículas sólidas, conforme a Figura 2.13.

Novos testes foram realizados, confirmando as aparentes incoerências, mostrando que havia um fenômeno físico atuando no processo.

Uma possível explicação do aquecimento do ar seria o calor cedido pelas paredes do tubo de transporte, uma vez, que no início dos testes em batelada, o ar, à temperatura de aproximadamente 170°C , era circulado pela unidade até que as temperaturas em cada ponto do tubo de medida permanecessem invariáveis e próximas a 170°C .

No trecho inicial do tubo de transporte as partículas sólidas, que estavam à temperatura ambiente, receberiam calor em grande intensidade do ar, que, por sua vez, receberia calor das paredes do tubo de transporte. No trecho final do tubo, a troca de calor mais intensa seria a da parede do tubo para o ar, do que a deste para as partículas, ocasionando o fenômeno observado.

A causa do problema seria o pequeno intervalo de tempo, aproximadamente dez minutos, disponível para a realização dos testes em batelada, insuficiente para atingir o regime permanente.

Para contornar o problema se utilizou um circuito fechado para as partículas sólidas, que foram recirculadas no tubo de transporte. Com este procedimento foi possível garantir o regime permanente para o sistema.

2.2.5. PROGRAMA DE TESTES REALIZADOS

a. SUSPENSÕES COM PARTICULAS DE DIAMETRO UNIFORME

Foram realizados 18 testes com partículas de diâmetro uniforme, a saber:

- . Testes de 1 a 8 --> diâmetro $d_s = 135 \mu m$
- . Testes de 9 a 14 --> diâmetro $d_s = 346 \mu m$
- . Testes de 15 a 18 --> diâmetro $d_s = 750 \mu m$

com diferentes descargas de fluido e de sólidos.

Os dados experimentais obtidos diretamente constam das tabelas a seguir:

Tabela 2.5 - Variáveis para o cálculo da descarga de fluido;

Tabela 2.6 - Medidas da pressão e dos diferenciais de pressão ao longo do tubo de transporte;

Tabela 2.7 - Medidas da temperatura do fluido e das partículas sólidas.

b. SUSPENSÕES COM MISTURAS DE PARTICULAS

Com os sistemas binários foram realizados 30 testes a saber:

- . Testes de 19 a 31 --> $d_{s1} = 135$ e $d_{s2} = 346 \mu m$
- . Testes de 32 a 42 --> $d_{s1} = 135$ e $d_{s2} = 750 \mu m$
- . Testes de 43 a 48 --> $d_{s1} = 346$ e $d_{s2} = 750 \mu m$

com diferentes frações mássicas de sólidos na entrada do tubo de transporte e diferentes descargas de fluido e sólidos.

Os dados experimentais obtidos constam das tabelas a seguir:

Tabela 2.8 - Variáveis para o cálculo da descarga de fluido;

Tabela 2.9 - Medidas da pressão e dos diferenciais de pressão ao longo do tubo de transporte;

Tabela 2.10- Medidas da temperatura do fluido e das partículas sólidas.

TABELA 2.5. VALORES EXPERIMENTAIS DAS VARIÁVEIS ESPECÍFICAS PARA CÁLCULO DA DESCARGA DE FLUIDO, EM TESTES COM PARTÍCULAS SÓLIDAS DE DIÂMETRO UNIFORME.

No. do Teste	PI-01	TE-01	ΔP_p
	kgf/cm ²	°C	mmH ₂ O
1	3,0	21,0	230
2	3,0	19,8	230
3	3,0	22,8	233
4	3,0	21,3	390
5	3,0	23,0	390
6	3,0	25,1	390
7	3,0	23,7	660
8	3,0	19,4	660
9	3,1	18,1	230
10	3,0	18,5	230
11	3,0	20,4	390
12	3,0	22,4	390
13	3,0	21,6	660
14	3,0	21,7	660
15	3,1	22,4	238
16	3,0	19,8	390
17	3,0	18,5	386
18	3,0	20,6	660

TABELA 2.6. MEDIDAS EXPERIMENTAIS DE PRESSÕES E
DIFERENCIAIS DE PRESSÃO (EM mm H₂O)
PARA TESTES COM PARTICULAS DE DIA-
METRO UNIFORME.

No. do Teste	PRESSÕES			DIFERENCIAIS DE PRESSÃO (PDI-05)										
	PI-02	PI-03	PI-04	01	02	03	04	05	04	07	08	09	10	11
01	- 21	114	66	- 67	- 5	2	4	9	8	7	6	5	4	4
02	- 51	123	62	- 31	- 1	2	4	14	10	8	7	6	6	5
03	20	155	67	- 35	1	1	9	19	15	10	10	9	8	7
04	- 153	165	118	- 67	- 5	2	4	8	8	7	7	6	6	5
05	- 45	180	98	- 55	- 8	2	4	18	12	11	10	9	9	7
06	12	206	105	- 60	- 6	4	8	25	15	14	12	12	11	6
07	- 192	262	165	-103	-10	2	7	19	15	13	13	11	10	7
08	3	315	172	-132	-20	5	11	31	20	17	15	15	15	12
09	20	159	81	- 56	- 1	2	6	12	11	10	10	9	9	8
10	97	174	72	- 46	0	3	7	16	14	13	13	13	12	11
11	-158	212	141	- 83	- 2	2	5	11	10	8	8	8	8	7
12	- 10	245	132	- 81	1	4	9	19	15	15	14	13	12	10
13	- 212	308	205	-123	- 1	4	8	20	14	13	13	13	12	9
14	- 65	332	187	-130	- 3	7	11	30	19	18	17	16	16	13
15	4	177	94	- 60	- 1	3	6	16	12	10	10	10	8	8
16	- 48	228	134	-177	- 4	3	7	17	16	15	13	12	10	7
17	64	266	126	-114	- 4	3	9	22	21	20	17	17	15	12
18	- 153	372	216	-190	- 8	4	10	26	21	20	20	19	17	16

TABELA 2.7. VALORES EXPERIMENTAIS DE TEMPERATURAS DO FLUIDO E SOLIDO CEM GRAUS CENTI - GRADOS PARA TESTES COM PARTICULAS SOLIDAS DE DIAMETRO UNIFORME.

No. DO TESTE	A MONTANTE DO TUBO DE TRANSPORTE		TUBO DE TRANSPORTE																	
	FLUIDO		No. DO TERMOPAR (TE)																	
			COTA DO TERMOPAR (cm)																	
			FLUIDO																SOLIDO	
	TE-02	TE-03	-	TE-05	TE-06	TE-07	TE-08	TE-09	TE-10	TE-11	TE-12	TE-13	TE-14	TE-15	TE-16	TE-04				
	-	-	0	0,26	0,42	0,58	0,74	0,90	1,06	1,36	1,86	2,36	2,86	3,36	4,02	0	4,02			
01	200,2	187,9	174,5	127,0	121,8	118,7	116,9	116,0	115,3	114,0	113,3	113,3	113,3	113,3	113,3	81,3	113,1			
02	198,8	181,5	168,3	121,4	110,2	107,9	106,8	105,9	105,0	103,9	103,0	103,1	103,0	103,0	102,4	65,4	100,0			
03	201,4	186,1	172,8	119,1	107,9	107,0	106,0	105,3	105,3	104,6	104,0	104,0	104,0	104,0	103,7	74,5	98,0			
04	201,3	188,6	175,2	150,3	-	142,9	140,1	137,9	136,5	133,8	131,6	130,8	129,9	129,7	128,1	72,8	123,7			
05	203,4	190,4	177,0	138,1	127,3	123,7	121,4	119,4	118,3	117,1	116,4	116,4	116,2	116,0	115,3	77,4	114,0			
06	203,6	189,9	176,5	132,7	125,7	121,0	119,1	117,1	116,9	114,8	112,7	112,7	112,6	112,2	112,2	83,3	108,0			
07	205,3	194,2	180,6	163,0	148,8	146,4	143,2	140,3	137,8	135,7	133,9	133,4	132,6	132,6	131,6	89,9	130,5			
08	203,1	191,8	178,3	139,7	132,0	126,0	122,5	121,0	120,7	120,3	119,2	118,2	118,1	118,1	118,1	86,8	115,0			
09	198,6	183,8	170,5	145,3	136,3	132,2	126,4	123,4	120,9	116,9	114,2	113,5	112,9	112,6	111,7	84,6	108,1			
10	197,9	184,3	171,0	134,9	125,5	120,7	115,4	112,9	111,3	108,9	107,3	106,9	106,9	106,9	106,9	86,9	105,0			
11	201,0	188,8	175,4	165,6	160,4	158,0	153,1	150,8	148,3	143,7	139,0	136,7	134,9	133,3	130,9	82,0	121,8			
12	204,4	193,5	180,0	166,6	155,5	151,6	147,3	143,9	142,0	138,4	135,1	133,9	132,5	132,1	131,2	103,6	130,8			
13	205,3	194,6	181,0	176,9	167,5	165,4	162,3	159,5	158,2	154,3	150,2	148,6	145,2	143,9	140,3	95,4	135,2			
14	204,7	193,2	179,7	168,5	155,6	153,5	149,7	145,8	144,6	140,3	136,3	134,7	132,0	131,3	128,8	95,3	126,4			
15	199,0	186,9	173,6	159,1	-	145,5	141,4	136,9	133,2	128,9	125,1	123,1	122,4	121,8	120,9	84,3	117,0			
16	202,9	192,3	178,8	163,4	162,8	159,7	154,6	151,0	148,3	142,9	137,7	135,1	133,1	131,6	130,9	96,2	125,0			
17	202,1	191,6	178,1	159,6	155,5	151,0	145,3	141,9	138,5	133,1	128,4	126,4	125,2	124,1	123,4	98,4	124,0			
18	205,0	196,6	183,0	180,2	-	173,1	168,1	165,6	162,8	157,6	152,0	149,2	146,5	144,4	141,9	111,1	139,9			

TABELA 2.8 VALORES EXPERIMENTAIS DAS VARIÁVEIS ESPECÍFICAS PARA CÁLCULO DA DESCARGA DE FLUIDO EM TESTES COM MISTURAS BINÁRIAS.

No. do Teste	PI-01	TE-01	ΔP_p
	kgf/cm ²	°C	mmH ₂ O
19	3,0	20,3	230
20	3,0	21,2	230
21	3,0	22,9	230
22	3,0	26,1	233
23	3,0	26,1	230
24	3,0	26,4	230
25	3,0	25,8	230
26	2,9	27,8	230
27	3,0	26,2	390
28	3,0	23,9	390
29	3,0	21,8	390
30	3,0	17,8	660
31	3,0	19,2	660
32	3,0	28,1	230
33	3,0	21,0	230
34	3,0	18,1	230
35	3,0	19,1	230
36	3,0	21,3	230
37	3,0	21,4	230
38	3,0	21,7	230

TABELA 2.8 (CONT.)

No. do Teste	PI-01	TE-01	ΔP_p
	kgf/cm ²	°C	mmH ₂ O
39	3,0	19,5	395
40	3,0	20,2	395
41	3,0	22,1	660
42	3,0	22,4	660
43	3,2	31,1	230
44	3,0	17,2	230
45	3,0	18,0	232
46	3,1	19,1	240
47	3,0	24,9	390
48	3,0	21,4	660

TABELA 2.9 MEDIDAS EXPERIMENTAIS DE PRESSÕES E DIFERENCIAIS DE PRESSÃO (EM mmH₂O) PARA TESTES COM MISTURAS BINÁRIAS.

No. DO TESTE	PRESSÕES			DIFERENCIAIS DE PRESSÃO (PDI-05)										
	PI-02	PI-03	PI-04	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
19	- 89	120	74	- 36	- 2	2	3	8	6	6	6	6	5	5
20	-113	145	68	- 37	1	2	4	16	10	10	9	9	9	8
21	-142	174	49	- 34	1	3	9	20	17	16	15	14	13	12
22	- 69	103	60	- 17	- 1	2	2	10	6	6	6	5	5	4
23	- 10	126	59	- 26	- 2	2	6	10	9	8	8	8	7	6
24	52	138	56	- 33	- 1	1	6	18	11	11	10	10	10	5
25	- 92	107	70	- 22	- 1	1	1	9	6	6	5	5	4	3
26	- 3	128	62	- 30	- 1	2	3	15	11	8	8	8	7	6
27	- 20	201	101	- 57	- 2	3	7	17	14	13	12	11	10	9
28	50	219	97	- 64	- 4	2	11	20	16	16	15	13	12	12
29	-105	177	109	- 51	- 2	2	5	14	10	9	9	8	8	5
30	- 184	257	165	-133	-10	1	5	19	15	12	12	11	10	8
31	- 50	295	171	-141	-14	3	8	25	19	16	15	14	13	10
32	32	146	66	- 33	- 2	2	4	17	12	11	10	9	9	8
33	80	175	72	- 48	0	2	2	16	15	14	14	13	13	10
34	- 67	95	55	- 27	- 1	0	3	7	7	6	6	5	4	4
35	51	163	67	-118	- 4	2	10	15	14	13	12	10	9	8
36	- 79	111	70	- 28	- 1	0	3	7	6	6	6	5	5	5
37	- 10	124	63	- 33	- 1	2	4	10	9	9	8	7	6	6
38	32	138	63	- 35	- 2	2	9	15	14	12	10	8	7	6
39	- 127	178	110	- 75	- 2	2	5	12	10	10	9	8	6	6

TABELA 2.9 (CONT.)

No. DO TESTE	PRESSÕES			DIFERENCIAIS DE PRESSÃO (PDI-05)										
	PI-02	PI-03	PI-04	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
40	- 41	188	106	- 75	- 5	1	5	12	12	11	11	10	9	8
41	- 211	265	165	-116	- 5	2	8	17	13	13	13	13	12	12
42	- 83	278	133	-118	- 5	2	12	21	18	16	16	15	14	14
43	6	151	75	- 52	- 1	2	5	15	10	10	9	9	8	6
44	- 89	115	77	- 43	- 2	2	3	7	6	5	5	5	4	4
45	8	153	77	- 43	- 1	4	4	12	11	10	9	8	8	7
46	87	187	77	- 55	- 4	4	6	18	15	14	13	12	11	10
47	77	258	117	- 86	- 4	3	10	22	20	17	16	15	14	13
48	63	242	107	- 82	- 4	4	8	22	18	17	16	16	15	15

TABELA 2.10 VALORES EXPERIMENTAIS DE TEMPERATURAS DO FLUIDO E SÓLIDO (EM GRAUS) CENTÍ-GRADOS PARA TESTES COM MISTURAS BINÁRIAS.

A MONTANTE DO TUBO DE TRANSPORTE		TUBO DE TRANSPORTE																	
No.	DO	No. DO TERMOPAR (TE)																	
TESTE		COTA DO TERMOPAR (cm)																	
		FLUIDO														SOLIDO			
TE-02	TE-03	-	TE-05	TE-06	TE-07	TE-08	TE-09	TE-10	TE-11	TE-12	TE-13	TE-14	TE-15	TE-16	TE-04	-			
-	-	0	0,26	0,42	0,58	0,74	0,90	1,06	1,36	1,86	2,36	2,86	3,36	4,02	0	4,02			
19	196,9	180,7	167,5	144,3	136,0	135,0	132,5	128,9	126,2	122,6	119,0	115,7	115,2	113,7	62,6	107,9			
20	198,6	182,4	169,2	137,2	127,2	125,7	122,3	118,9	116,9	113,8	110,7	108,6	108,0	107,3	76,7	106,0			
21	196,8	184,2	170,9	128,2	119,1	116,9	114,4	111,1	110,2	108,2	106,6	105,9	105,5	105,5	80,8	106,1			
22	196,5	174,2	161,2	134,7	124,1	123,2	120,9	118,3	116,4	114,2	111,5	110,2	109,3	108,6	67,7	98,1			
23	197,0	177,0	163,9	126,3	116,9	114,7	112,7	110,2	108,6	106,2	104,4	103,5	103,1	102,4	73,0	97,2			
24	197,9	179,2	166,1	118,3	108,2	106,9	105,3	103,7	103,1	101,3	100,2	99,5	99,1	99,0	74,8	95,9			
25	201,5	186,6	173,3	144,6	138,6	135,9	133,0	132,3	130,3	128,0	124,4	124,4	123,3	122,9	79,7	116,1			
26	202,7	187,7	174,3	135,8	129,5	126,1	124,6	122,3	122,1	120,5	119,6	119,1	119,1	118,9	81,8	113,1			
27	203,2	188,9	175,5	149,5	136,0	135,1	132,8	129,9	128,7	126,3	123,5	123,5	112,7	112,6	88,9	114,0			
28	201,4	188,5	175,1	144,5	130,3	128,5	127,8	125,3	124,0	122,2	120,6	119,7	119,0	118,6	93,6	118,1			
29	203,5	192,1	178,6	155,7	146,4	145,4	142,5	140,3	139,6	137,3	135,0	134,6	133,5	133,2	88,7	127,3			
30	200,7	188,7	175,3	155,0	147,9	145,0	141,8	140,5	138,4	136,4	134,3	133,5	132,3	131,7	85,2	123,8			
31	204,6	192,4	178,9	150,5	142,0	138,2	135,5	132,3	131,7	129,6	127,8	126,9	125,8	125,6	87,9	124,3			
32	203,2	187,9	174,5	122,8	117,4	114,7	113,1	112,4	112,2	111,1	110,4	110,0	109,8	109,7	78,9	106,9			
33	201,6	187,5	174,1	137,6	129,1	-	121,9	119,6	117,6	114,2	110,7	108,8	107,1	106,0	85,5	104,8			
34	197,2	178,6	165,5	134,0	127,5	127,0	124,1	122,1	120,9	118,2	115,3	113,6	111,8	110,6	58,4	103,1			
35	198,8	184,5	171,2	123,2	117,8	115,1	112,9	111,5	110,6	108,9	106,9	105,9	105,1	104,8	75,6	98,1			
36	197,3	181,7	168,5	141,4	134,1	130,1	126,5	125,3	124,0	121,8	119,7	119,0	117,5	116,8	72,7	105,6			

TABELA 2.10 (CONT.)

No.		TUBO DE TRANSPORTE																		
DO		No. DO TERMOPAR (TE)																		
TESTE		COTA DO TERMOPAR (m)																		
		FLUIDO																		
		SOLIDO																		
		TE-02	TE-03	-	TE-05	TE-06	TE-07	TE-08	TE-09	TE-10	TE-11	TE-12	TE-13	TE-14	TE-15	TE-16	TE-04	-		
		-	-	0	0,26	0,42	0,58	0,74	0,9	1,06	1,36	1,86	2,36	2,86	3,36	4,02	0 1	4,02		
37	197,1	184,2	170,9	127,8	120,0	116,3	113,9	112,5	111,9	110,7	109,8	109,8	109,6	109,2	109,0	108,8	71,1	105,3		
38	199,0	184,7	171,4	121,4	113,2	110,0	108,0	106,9	106,6	105,7	105,0	104,6	104,6	104,4	104,2	103,9	77,6	100,6		
39	202,0	189,8	176,4	152,4	147,6	145,3	142,2	140,4	139,0	136,5	133,4	131,8	131,8	130,2	129,3	127,9	76,9	115,8		
40	201,6	190,9	177,4	152,2	142,0	137,4	133,6	132,2	130,9	129,0	127,0	126,3	126,3	125,6	125,4	124,1	89,7	121,9		
41	205,4	194,3	180,7	156,3	147,9	144,7	142,4	140,4	139,0	136,7	134,2	132,9	132,9	132,0	131,6	129,9	77,4	128,1		
42	206,1	196,2	182,6	160,2	152,1	147,3	145,0	142,7	141,2	136,9	136,0	136,0	136,0	135,0	134,6	132,6	83,6	128,5		
43	203,1	189,0	171,7	151,3	143,0	140,3	134,9	129,9	126,1	121,6	117,4	115,1	115,1	114,0	113,8	113,8	83,5	112,1		
44	199,1	187,7	174,3	158,1	152,0	150,1	147,2	142,6	139,9	136,0	131,8	129,9	129,9	128,2	-	125,9	73,6	121,4		
45	199,1	187,4	174,0	146,0	137,0	132,9	129,5	126,1	123,4	120,1	117,8	116,7	116,7	116,5	116,5	116,5	84,4	113,2		
46	200,4	187,9	174,5	140,3	130,6	127,3	123,6	120,0	118,0	115,6	114,2	113,5	113,5	113,5	113,5	113,5	89,7	112,8		
47	203,4	192,9	179,4	159,7	148,7	147,9	144,0	139,7	136,0	131,8	128,6	127,2	127,2	126,6	126,4	126,4	102,4	118,0		
48	202,6	191,7	178,2	149,8	140,0	135,7	132,5	128,0	125,4	122,2	120,4	119,3	119,3	119,3	119,3	119,3	93,2	118,9		

2.3. REDUÇÃO DOS DADOS EXPERIMENTAIS

2.3.1. SUSPENSÃO COM PARTÍCULAS DE DIÂMETRO UNIFORME

A partir dos dados experimentais apresentados no item 2.2.5a foram calculados os valores das variáveis abaixo, para o caso de suspensões com partículas de diâmetro uniforme:

- . Porosidade da suspensão gás-sólido no tubo de transporte ε ;
- . Velocidade do fluido, v_f ;
- . Velocidade das partículas sólidas, v_s ;
- . Número de Reynolds do fluido, Re_f ;
- . Número de Reynolds das partículas sólidas, Re_s ;
- . Fator de atrito das partículas sólidas com a parede do tubo de transporte, f_s ;
- . Concentração volumétrica das partículas sólidas na suspensão, β_v ;
- . Temperatura assintótica de equilíbrio da mistura gás-sólido, t_{eq} ;
- . Coeficiente de transferência de calor gás-sólido, h ;
- . Número de Nusselt para a troca térmica gás-sólido, Nu ;
- . Descargas do fluido de transporte, a partir da Tabela 2.5, conforme Anexo 1, e
- . O perfil de pressões ao longo do tubo de transporte, a partir da Tabela 2.6, conforme Anexo 8.

Admitiu-se para efeito de cálculo destas variáveis, que no tubo de transporte, existia apenas a região de transporte estabelecido, desprezando-se a região inicial de aceleração das partículas sólidas, ou seja, a região de escoamento acelerado.

Esta hipótese foi feita por simplificação, considerando que a velocidade do sólido se mantém aproximadamente constante a partir de 1 metro do ponto de alimentação de sólidos, o que se pode constatar pelo exame do perfil experimental da temperatura do fluido (conforme Tabela 2.7) e, portanto, de sua massa específica. Esta, por sua vez, determina a velocidade do fluido ao longo do tubo de transporte e, em decorrência, a velocidade das partículas sólidas. Esta hipótese é tanto melhor quanto menor o diâmetro das partículas sólidas empregadas.

Para cálculo das variáveis acima foram empregadas as equações e expressões que seguem, admitindo-se as hipóteses abaixo:

- . Perfis planos de velocidades e temperaturas para o fluido e sólido;
- . Perda de calor desprezível através das paredes do tubo de transporte;
- . Escoamento unidirecional do fluido e do sólido;
- . Transferência de calor desprezível na direção perpendicular ao escoamento das fases fluida e sólida;
- . Regime permanente;
- . Variação desprezível das energias cinética e potencial;
- . Partículas sólidas isotérmicas, número de Biot $< 0,1$.

a. FLUIDODINAMICA

Como já visto no estado da arte, uma das variáveis importantes no cálculo do coeficiente de transferência de calor gás-sólido é a área de troca térmica, apresentada nas equações (1.85) e (1.93). Esta área, por sua vez, é função da porosidade do

meio, como se pode verificar nas equações (1.86) e (1.99). Para o cálculo da porosidade é empregado um método indireto, conforme discutido em 1.2.2. As equações utilizadas são:

- Equação da Continuidade para o Fluido:

$$v_f = \frac{\dot{m}_f}{\rho_f A \varepsilon} \quad (2.2)$$

- Equação da Continuidade para o Sólido:

$$v_s = \frac{\dot{m}_s}{\rho_s A (1 - \varepsilon)} \quad (2.3)$$

- Equação da Quantidade de Movimento para as Partículas Sólidas, por Unidade de Volume do Tubo de Transporte:

O termo de aceleração foi considerado igual a zero na região de escoamento estabelecido. Esta equação é semelhante à equação (1.67), onde o termo, devido aos choques entre partículas de tamanho uniforme foi desprezado, uma vez que os choques raramente ocorrem e, quando ocorrem, a força envolvida é pequena, devido às reduzidas velocidades relativas das partículas.

$$\frac{3 \rho_f (v_f - v_s)^2 C_{Ds} \varepsilon^{-2.65} (1 - \varepsilon)}{4 d_s} - \rho_s g (1 - \varepsilon) - \frac{\rho_s (1 - \varepsilon) v_s^2 f_s}{2D} = 0$$

(2.4)

Para o cálculo do fator de atrito partículas sólidas-parede f_s , utilizou-se uma correlação semelhante àquela encontrada por SILVA (1984) em seus estudos de perda de pressão, adotando-se o coeficiente 0,12, obtido experimentalmente para o presente caso, em vez de 0,32 da expressão original, conforme segue:

$$f_s = 0,12 \left[v_s / (g D) \right]^{0,5} \quad (2.5)$$

Para o coeficiente de arraste das partículas sólidas C_{Ds} adotou-se a correlação descrita em ARASTOPOUR e GIDASPOW (1979), dada por:

$$C_{Ds} = \frac{24}{Re_s} \left(1 + 0,15 Re_s \right)^{0,687} \quad \text{para } Re_s \leq 1000, \quad (2.6a)$$

e

$$C_{Ds} = 0,44 \quad \text{para } Re_s > 1000 \quad (2.6b)$$

onde Re_s é dado pela equação (1.73)

Adota-se inicialmente o valor de $\varepsilon = 0,99$ e calcula-se os valores de v_f e v_s pelas equações 2.2 e 2.3, respectivamente. Com o valor de v_s calcula-se f_s e C_{Ds} pelas equações 2.5 e 2.6, respectivamente. Estes valores são usados para um novo cálculo de v_s , agora pela equação 2.4. Compara-se o novo valor com o anterior e repete-se o processo, até a convergência.

b. TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Para o balanço da energia entre as fases fluida e sólida foi empregado um modelo semelhante ao utilizado, por FURNAS (1930), SARTORI (1986) e JESUS (1987).

- Equação da Conservação da Energia para a Fase Fluida:

$$G_f C_{pf} \frac{dt_f}{dx} + h_s (t_f - t_s) = 0 \quad (2.7)$$

- Equação da Conservação da Energia para a Fase Sólida:

$$G_f C_{ps} \frac{dt_s}{dx} - h_s (t_f - t_s) = 0 \quad (2.8)$$

A dedução das equações (2.7) e (2.8) se encontra no Anexo 6. As condições de contorno para as equações de energia são:

$$t_f (x = 0) = t_{fo}, \quad (2.9)$$

e

$$t_s (x = 0) = t_{so} \quad (2.10)$$

onde t_{fo} e t_{so} são as temperaturas do fluido e do sólido na entrada do tubo de transporte, respectivamente.

As equações (2.2) a (2.6), nas incógnitas ϵ , v_f e v_s , são resolvidas, considerando os valores experimentais médios para pressão e temperatura no tubo de transporte. A solução é iterativa, a partir da adoção inicial de um valor para ϵ . O valor da

porosidade permite o cálculo da área de troca térmica gás-sólidos, necessária para a solução das equações da conservação de energia (2.7) e (2.8), discutida no Anexo 7. A solução destas equações permite a obtenção do valor do coeficiente médio de troca térmica gás-sólido h , a partir do perfil experimental de temperatura do fluido t_f ao longo da altura do tubo de transporte, e dos valores experimentais dos fluxos de massa do fluido e do sólido, G_f e G_s , respectivamente:

$$t_f(x) = C' e^{\lambda x} + D' \quad (2.11)$$

onde:

$$C' = (A' + B' t_{fo})/B'; \quad (2.12)$$

$$A' = -\psi t_{fo} - t_{so}; \quad (2.13)$$

$$\psi = \frac{G_f C_{pf}}{G_s C_{ps}}; \quad (2.14)$$

$$B' = 1 + \psi; \quad (2.15)$$

$$\lambda = - \frac{h_s}{G_f C_{pf}} B'; \quad (2.16)$$

e

$$D' = -A'/B'. \quad (2.17)$$

A equação (2.16) relaciona o coeficiente h ao parâmetro λ . Este parâmetro é determinado pela aplicação do método dos mínimos quadrados aos pontos experimentais correspondentes a t_f ao longo de x .

Para aplicação da técnica de mínimos quadrados à equação (2.11) foram utilizados apenas as temperaturas do fluido ao longo do tubo de transporte menores do que a temperatura de assintótica de equilíbrio da mistura fluido e sólido, definida pela equação (1.89):

$$t_{eq} = \frac{\dot{m}_f C_{pf} t_{fo} + \dot{m}_s C_{ps} t_{so}}{\dot{m}_f C_{pf} + \dot{m}_s C_{ps}} \quad (2.18)$$

A temperatura assintótica de equilíbrio é a menor temperatura teórica que o fluido poderia atingir, conforme se pode observar fazendo a coordenada x tender para o infinito na equação (2.11).

Conhecendo-se λ é possível determinar o perfil de temperatura das partículas sólidas ao longo do tubo de transporte, através de:

$$t_s(x) = -C' \psi e^{\lambda x} + D' \quad (2.19)$$

conforme discutido no Anexo 7.

2.3.2. SUSPENSÕES COM MISTURAS DE PARTÍCULAS SÓLIDAS

Os dados experimentais apresentados em 2.2.5b fornecem o perfil de temperatura do fluido ao longo do tubo de transporte, bem como as temperaturas de entrada e saída dos sólidos, conforme Tabela 2.10.

As descargas de fluido são obtidas a partir dos dados da Tabela 2.8, segundo procedimento detalhado no Anexo 1. O perfil de pressão é obtido com os valores da Tabela 2.9, de acordo com o Anexo 8.

2.3.3. CONSIDERAÇÃO SOBRE A MEDIDA DO PERFIL DE PRESSÃO AO LONGO DO TUBO DE TRANSPORTE

A cota $x = 0$ do tubo de transporte situa-se no ponto de alimentação de sólidos, conforme foi mencionado em 2.1.3b, isto é, o tubo de transporte inclui o ejedor. Da cota $x = 0$ até, aproximadamente, a cota $x = 0,31$ a pressão aumentava devido ao efeito do ejedor para, só então, começar a cair. A modelagem não contemplou o efeito do ejedor, e para tanto, extrapolou para a faixa de $x = 0$ a $x = 0,31$ m o valor da pressão existente em $x = 0,31$ m. Os valores da pressão ao longo do tubo foram utilizados basicamente para o cálculo da massa específica do fluido, empregando-se para tanto o valor absoluto da pressão, o que implica em erro pequeno e justifica a aproximação adotada. A vantagem deste procedimento é a disponibilidade das temperaturas do fluido e sólido em $x = 0$.

Como será visto no Capítulo 4, explorou-se também a simulação dos fenômenos a partir da cota $x = 0,26$ m, correspon-

te a primeira medida de temperatura do fluido ao longo do tubo de transporte, e próximo da cota 0,31 m, onde praticamente cessa o efeito do ejetor. Para tanto houve necessidade de aplicação de um balanço de energia no trecho do tubo em consideração para estimar a temperatura das partículas sólidas na nova cota inicial.

No caso de mistura este procedimento não foi possível porque a segregação no trecho dificulta a estimativa das concentrações volumétricas das partículas sólidas de diferentes tamanhos.

2.3.4. PROPRIEDADES DO FLUIDO (AR)

Os valores da massa específica ρ_f , da viscosidade dinâmica μ_f , do calor específico à pressão constante C_{pf} , e da condutividade térmica K_f do ar foram calculadas ao longo do tubo de transporte em termos de T_f e P , conforme o Anexo 9.

CAPÍTULO 3

MODELAGEM DA FLUIDODINÂMICA E DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR
GÁS-SÓLIDO DE MISTURAS DE PARTÍCULAS

Para modelagem da fluidodinâmica e da troca térmica gás-sólido no transporte pneumático vertical ascendente para misturas de partículas foram consideradas as seguintes hipóteses:

- . Perfis planos de velocidade e temperatura para o fluido e para as partículas sólidas;
- . Perda de calor desprezível através das paredes do tubo de transporte;
- . escoamento unidirecional do fluido e das partículas sólidas;
- . Transferência de calor desprezível na direção perpendicular ao escoamento das fases fluida e sólida;
- . Regime permanente;
- . Variação desprezível das energias cinética e potencial, e
- . As partículas sólidas são isotérmicas ($Bi < 0,1$).

Foram desenvolvidos três modelos de simulação. O modelo I considera a mistura binária de partículas como um sistema equivalente de partículas de diâmetro uniforme, igual ao diâmetro médio de Sauter da mistura considerada.

O modelo II leva em consideração a existência de partículas de dois tamanhos diferentes, mas não leva em conta os choques entre elas.

O modelo III, por sua vez, leva em conta a interação entre as partículas e considera a troca de quantidade de movimento entre as partículas de tamanhos diferentes.

Os três modelos consideram o balanço de energia em cada seção do tubo de transporte, considerado adiabático, e utilizam os coeficientes de transferência de calor gás-sólido obtidos para partículas de diâmetros uniformes. Eles levam em conta a região de aceleração de escoamento.

Optou-se por descrever em seguida o modelo III, que é o mais completo. Os demais modelos são obtidos pela simplificação deste.

3.1. MODELO III

Levando em consideração a geometria cilíndrica do sistema, conforme as coordenadas indicadas na Figura 3.1, as equações diferenciais que descrevem a fluidodinâmica e a troca térmica gás-sólido são discutidas em seguida:

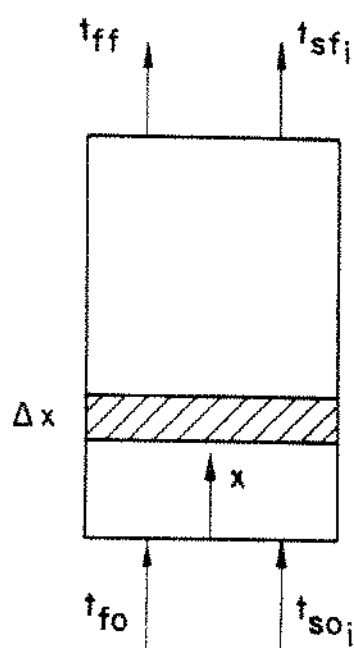


FIG 3.1. ESQUEMA PARA O TRANSPORTE PNEUMÁTICO VERTICAL ASCENDENTE DE MISTURA DE PARTÍCULAS SÓLIDAS.

3.1.1. FLUIDODINAMICA

a. EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE PARA FASE FLUIDA

$$\frac{d}{dx} \left[\left(1 - \sum_{i=1}^n \nu_i \right) \rho_f v_f \right] = 0 \quad (3.1)$$

onde, conforme a equação (1.45), tem-se:

$$1 - \sum_{i=1}^n \nu_i = \epsilon$$

b. EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE PARA FASE SÓLIDA

Escreve-se uma equação para cada diâmetro de partícula sólida i , num total de n equações.

Para a partícula sólida i , tem-se:

$$\frac{d}{dx} \left[\nu_i \rho_{si} v_{si} \right] = 0 \quad (3.2)$$

c. EQUAÇÃO DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO PARA A MISTURA

Esta equação é análoga a equação (1.66)

$$\begin{aligned} \rho_f v_f \left[1 - \sum_{i=1}^n \nu_i \right] \frac{dv_f}{dx} + \sum_{i=1}^n \rho_{si} \nu_i v_{si} \frac{dv_{si}}{dx} + \sum_{i=1}^n \rho_{si} \nu_i g + \\ \rho_f g \left(1 - \sum_{i=1}^n \nu_i \right) = - \frac{dp}{dx} - \frac{f_f \left(1 - \sum_{i=1}^n \nu_i \right) \rho_f v_f^2}{2 D} - \sum_{i=1}^n \frac{f_{si} \nu_i \rho_{si} v_{si}^2}{2 D} \end{aligned} \quad (3.3)$$

onde:

- . O primeiro e segundo termos à esquerda da igualdade correspondem à aceleração do fluido e das partículas sólidas de cada diâmetro, respectivamente;
- . O terceiro e quarto termos à esquerda da igualdade correspondem à soma das contribuições das componentes gravitacionais atuando nas partículas sólidas de vários diâmetros e no fluido, respectivamente;
- . O primeiro termo à direita da igualdade corresponde à queda de pressão do fluido;
- . O segundo termo à direita corresponde à força de atrito do fluido com a parede do tubo de transporte, e
- . O terceiro termo corresponde à soma das contribuições das forças de atrito das partículas sólidas de vários diâmetros com a parede do tubo de transporte.

O fator de atrito de Darcy entre fluido e parede do tubo, f_f foi calculado por:

- Escoamento laminar, $Re_f < 2000$

$$f_f = 64/Re_f \quad (3.4)$$

- Escoamento na zona de transição e turbulenta, $Re_f \geq 2000$
SERGHIDES (1984)

$$f_f = \left\{ -2 \log \left[\frac{\zeta / D}{3,7} - \frac{5,02}{Re_f} \log \left(\frac{\zeta / D}{3,7} + \frac{14,5}{Re_f} \right) \right] \right\}^{-2} \quad (3.5)$$

em que:

Re_f é o número de Reynolds do fluido: $Re_f = \frac{\rho_f v_f D}{\mu_f}$, e

ζ = rugosidade da parede do tubo de transporte, admitida igual a 0,0457 mm para tubo comercial [CRANE (1976)].

d. EQUAÇÃO DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO, PARA UMA PARTICULA SÓLIDA i

Para cada partícula sólida i da mistura de n partículas diferentes, num total de n equações, tem-se:

$$\rho_{si} v_i v_{si} \frac{dv_{si}}{dx} = \frac{3 \rho_f (v_f - v_{si})^2 C_{Dsi} \left(1 - \sum_{i=1}^n v_i \right)^{-2,65} v_i}{4 d_{si}} +$$

$$- \rho_{si} v_i g - \frac{\rho_{si} v_i v_{si}^2 f_{si}}{2D} + I_i \quad (3.6)$$

onde:

- . O termo à esquerda da igualdade corresponde à aceleração das partículas sólidas de diâmetro d_{si} ;
- . O primeiro termo à direita da igualdade corresponde à força de arraste do fluido sobre as partículas sólidas de diâmetro d_{si} , conforme ARASTOPOUR e GIDASPOW (1979);

- . O segundo termo corresponde à componente gravitacional das partículas sólidas de diâmetro d_{si} ;
- . O terceiro termo corresponde à força de atrito entre as partículas sólidas de diâmetro d_{si} e a parede do tubo de transporte, e
- . O quarto termo corresponde à força resultante que atua sobre as partículas sólidas de diâmetro d_{si} , devido aos choques outras partículas de diâmetros diferentes.

O fator de atrito partículas sólidas i - parede é dado pela correlação (2.5):

$$f_{si} = 0,12 \left[v_{si} / (g D)^{0,5} \right]^{-0,47} \quad (3.7)$$

Para o coeficiente de arraste das partículas sólidas i foram utilizadas as correlações:

$$C_{Dsi} = \frac{24}{Re_{si}} \left(1 + 0,15 Re_{si} \right)^{0,687} \quad \text{para } Re_{si} \leq 1000, \quad (3.8a)$$

e

$$C_{Dsi} = 0,44 \quad \text{para } Re_{si} > 1000 \quad (3.8b)$$

sendo:

$$Re_{si} = \frac{\left(1 - \sum_{i=1}^n v_i \right) \rho_f d_{si} (v_f - v_{si})}{\mu_f} \quad (3.9)$$

onde Re_{s1} é o número de Reynolds das partículas sólidas 1.

Para uma mistura binária, isto é, com $n = 2$, as equações da quantidade de movimento para as partículas sólidas ficam:

- Partícula de menor Diâmetro

$$\rho_{s1} v_1 \frac{dv_{s1}}{dx} = \frac{3 \rho_f (v_f - v_{s1})^2 C_{Ds1} \left(1 - \sum_{i=1}^n v_i\right)^{-2,65} v_1}{4 d_{s1}} +$$

$$- \rho_{s1} v_1 g - \frac{\rho_{s1} v_1 v_{s1}^2 f_{s1}}{2D} + I_1 \quad (3.10)$$

- Partícula de maior Diâmetro

$$\rho_{s2} v_2 \frac{dv_{s2}}{dx} = \frac{3 \rho_f (v_f - v_{s2})^2 C_{Ds2} \left(1 - \sum_{i=1}^n v_i\right)^{-2,65} v_2}{4 d_{s2}} +$$

$$- \rho_{s2} v_2 g - \frac{\rho_{s2} v_2 v_{s2}^2 f_{s2}}{2D} + I_2 \quad (3.11)$$

onde as equações para o cálculo dos termos de troca de quantidade de movimento devido aos choques, I_1 e I_2 , foram obtidos de MUSCHELKNAUTZ, tal que:

$$I_1 = - I_2 = - I_{12},$$

e

$$I_{12} = \frac{F_{12}}{\Delta V_T} = \frac{3}{2} v_1 v_2 (v_{s1} - v_{s2})^2 \left\{ \left[2 \xi \frac{1+v}{1-v} \right] \frac{\rho_{s1}}{d_{s2}} \frac{\left(1 + d_{s1} / d_{s2} \right)^2}{1 + \left(\rho_{s1} v_1 \right) / \left(\rho_{s2} v_2 \right)} \right\} \quad (3.12)$$

onde F_{12} é dada pela equação (1.1).

Para simulação foram considerados valores do coeficiente de choque v e de frenagem ξ iguais a 0,5, conforme KMIEC e LESCHONKI (≈ 1984).

3.1.2. TROCA TERMICA FLUIDO-PARTICULAS SÓLIDAS

A equação da conservação de energia, detalhada no Anexo 10, é dada por:

a. FASE FLUIDA

$$G_f C_{pf} \frac{dt_f}{dx} + \sum_{i=1}^n h_i s_i (t_f - t_{si}) = 0 \quad (3.13)$$

b. FASE SÓLIDA

Para as partículas sólidas i , tem-se:

$$G_{si} C_{psi} \frac{dt_{si}}{dx} - h_i s_i (t_f - t_{si}) = 0 \quad (3.14)$$

onde:

$$G_{si} = \rho_{si} v_{si} v_i, \quad (3.15)$$

e

$$s_i = \frac{6}{d_{si}} v_i. \quad (3.16)$$

O coeficiente de transferência de calor gás-sólido para suspensões de partículas de diâmetro uniforme foi obtido a partir do número de Nusselt:

$$h_i = \frac{K_f}{d_{si}} Nu_{si} \quad (3.17)$$

onde:

$$Nu_{si} = a \beta_v^b Re_{si}^c \quad (3.18)$$

e

$$\beta_v = \frac{1 - \epsilon}{\epsilon} \quad .$$

Os parâmetros a , b e c foram determinados experimentalmente, conforme será discutido no próximo capítulo.

3.1.3. CONDIÇÕES DE CONTORNO

As condições de contorno na entrada do tubo de transporte, isto é, em $x = 0$ são:

$$t_f = t_{fo} \quad ;$$

$$t_{si} = t_{so} \quad ;$$

$$\epsilon = \epsilon_o = 0,99 \quad (1);$$

$$p = p_o \quad ;$$

$$Y_i = Y_{oi} = X_{oi} \quad .$$

e

$$v_i = v_{oi} = (1 - \epsilon) Y_{oi} \quad .$$

- (1) No transporte pneumático vertical diluído a porosidade é maior que 0,99. Logo, utilizando valores de porosidade inicial na faixa de 0,99 a 0,998 praticamente não se verifica nenhum efeito nos resultados, a não ser nos primeiros passos de integração das equações diferenciais. Isto justificaria o valor de 0,99 adotado para porosidade no ponto de alimentação das partículas sólidas, isto é, na cota $x = 0$.

3.1.4. TEMPERATURA MÉDIA DA MISTURA DE PARTÍCULAS SÓLIDAS

Os modelos matemáticos II e III também calculam, em cada seção do tubo de transporte, as temperaturas de cada partícula sólida i , t_{si} , e também a temperatura média da mistura de partículas, t_{sm} , utilizando a equação:

$$t_{sm} = \frac{\sum_{i=1}^n G_{si} C_{psi} t_{si}}{\sum_{i=1}^n G_{si} C_{psi}} \quad (3.19)$$

Esta temperatura é utilizada para comparação com a temperatura experimental das partículas sólidas na saída do tubo de transporte.

3.1.5. RESOLUÇÃO DO SISTEMA DE EQUAÇÕES DIFERENCIAIS

Para resolução do sistema constituído pelas equações (3.1) a (3.19) com as condições de contorno dadas em 3.1.3 foi utilizado o método de RUNGE-KUTTA de quarta ordem, com os coeficientes de GILL, CARNAHAN, LUTHER e WILKES (1989). A convergência do método depende da função a ser integrada e o valor do passo, necessário para que a solução seja estável, deve ser pequeno, principalmente na região de escoamento acelerado, onde ocorrem os maiores gradientes das variáveis envolvidas, a saber: temperaturas, velocidades, pressão e concentrações. Para efetuar a integração, o método de RUNGE-KUTTA parte de condições iniciais das variáveis.

3.1.6. ARRANJO DAS EQUAÇÕES DIFERENCIAIS PARA RESOLUÇÃO PELO MÉTODO DE RUNGE-KUTTA GILL

O arranjo das equações diferenciais para resolução pela metade de Runge-Kutta Gill é resumido a seguir.

As variações das variáveis ao longo do tubo de transporte são dadas por:

a. VELOCIDADE DAS PARTÍCULAS SÓLIDAS i , v_{si}

$$\frac{dv_{si}}{dx} = \frac{1}{\rho_{si} \nu_i v_{si}} \left[\frac{3 \rho_f \left(v_f - v_{si} \right)^2 C_{Dsi} \left(1 - \sum_{i=1}^n \nu_i \right)^{-2,65} \nu_i}{4 d_{si}} + \right. \\ \left. - \rho_{si} \nu_i g - \frac{\rho_{si} \nu_i v_{si}^2 f_{si}}{2 D} + I_i \right] \quad (3.20)$$

obtida a partir da equação (3.6)

b. CONCENTRAÇÃO VOLUMÉTRICA DAS PARTÍCULAS SÓLIDAS i , ν_i

$$\frac{d}{dx} \left(\rho_{si} v_{si} \nu_i \right) = 0 \quad (3.2)$$

Agora, como:

$$\rho_{si} = \text{constante}$$

tem-se:

$$\frac{d\nu_i}{dx} = - \frac{\nu_i}{v_{si}} \frac{dv_{si}}{dx} \quad (3.21)$$

c. TEMPERATURA DAS PARTICULAS SÓLIDAS i , t_{si}

$$\frac{dt_{si}}{dx} = \frac{h_i s_i (t_f - t_{si})}{G_{si} C_{psi}} \quad (3.22)$$

obtida a partir da equação (3.14)

d. TEMPERATURA DO FLUIDO, t_f

$$\frac{dt_f}{dx} = - \frac{\sum_{i=1}^n h_i s_i (t_f - t_{si})}{G_f C_{pf}} \quad (3.23)$$

obtida a partir da equação (3.13)

e. VELOCIDADE DO FLUIDO, v_f

$$\begin{aligned} \frac{dv_f}{dx} = & \frac{v_f}{P - v_f G_f} \left[\sum_{i=1}^n G_{si} \frac{dv_{si}}{dx} + \frac{P}{T_f} \frac{dt_f}{dx} + \frac{P}{\left(1 - \sum_{i=1}^n v_i\right)} \sum_{i=1}^n \frac{dv_i}{dx} + \right. \\ & + \sum_{i=1}^n \rho_{si} v_i g + \rho_f \left(1 - \sum_{i=1}^n v_i\right) g + \frac{f_f \left(1 - \sum_{i=1}^n v_i\right) \rho_f v_f^2}{2D} + \\ & \left. + \sum_{i=1}^n \frac{f_{si} v_i \rho_{si} v_{si}^2}{2D} \right] \quad (3.24) \end{aligned}$$

A dedução desta equação é apresentada no Anexo 11, e leva em consideração a variação da massa específica ao longo do tubo de

f. PRESSÃO DO FLUIDO, p

$$\begin{aligned} \frac{dp}{dx} = & - \left[G_f \frac{dv_f}{dx} + \sum_{i=1}^n G_{si} \frac{dv_{si}}{dx} + \sum_{i=1}^n \rho_{si} v_i g + \rho_f \left(1 - \sum_{i=1}^n v_i \right) g + \right. \\ & \left. + \frac{f_f \left(1 - \sum_{i=1}^n v_i \right) \rho_f v_f^2}{2 D} + \sum_{i=1}^n \frac{f_{si} v_i \rho_{si} v_{si}^2}{2 D} \right] \end{aligned} \quad (3.25)$$

obtida a partir da equação (3.3)

3.1.7. PROGRAMA PARA CORRELACIONAMENTO DOS DADOS E SIMULAÇÃO MATEMÁTICA DO PROCESSO

Para correlacionamento dos dados e simulação matemática foi efetuado um programa de computador na linguagem GWBASIC. A listagem do programa encontra-se no Anexo 12.

Para construção dos gráficos das variáveis simuladas foi empregado o programa SUPERCALC 5. Os programas acima citados foram executados num microcomputador ITAUTEC 386.

3.2. MODELO II

O modelo II não levou em conta os choques entre as partículas de tamanhos diferentes. Sua solução é obtida de maneira semelhante ao modelo III, fazendo $I_1 = I_2 = 0$.

3.3. MODELO I

O modelo I considera um diâmetro médio da mistura binária, no caso o diâmetro médio de Sauter, definido em 2.2.1. No caso admitiu-se $n = 1$ nas equações do modelo II.

CAPITULO 4

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O presente trabalho compreende basicamente o estudo da fluidodinâmica e da transferência de calor gás-sólido em transporte pneumático vertical ascendente de suspensões com partículas de diâmetro uniforme e de misturas binárias.

4.1. SUSPENSÕES COM PARTICULAS DE DIAMETRO UNIFORME

4.1.1. COEFICIENTES DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR GÁS-SÓLIDOS

Foram realizados 18 testes com partículas de tamanho uniforme em que foram obtidos os valores das variáveis fluidodinâmicas e térmicas, conforme descrito em 2.3.1. Os valores destas variáveis encontram-se nas Tabelas 4.1, 4.2 e 4.3.

A Tabela 4.1 apresenta as descargas de fluido $\dot{m}_f$ e das partículas sólidas $\dot{m}_s$. A Tabela 4.2 traz os perfis de pressão ao longo do tubo de transporte. A Tabela 4.3, por sua vez, mostra as velocidades do fluido v_f e das partículas sólidas v_s , a porosidade da suspensão ϵ , os números de Reynolds para o fluido Re_f e para as partículas sólidas Re_s , e o número de Nusselt para a troca térmica gás-sólidos Nu .

Os dados correspondentes a Nu , Re_s e concentração volumétrica das partículas sólidas β_v , foram correlacionados através de uma análise de regressão, obtendo-se a expressão:

$$Nu = 1,285 \cdot 10^{-3} \beta_v^{-0,5724} Re_s^{0,9816} \quad (4.1)$$

TABELA 4.1 VALORES DE DIAMETROS DAS PARTÍCULAS SÓLIDAS E DE DESCARGAS DO FLUIDO E SÓLIDOS PARA TESTES COM PARTÍCULAS SÓLIDAS DE DIÂMETRO UNIFORME.

No. DO TESTE	d_s	$\dot{m}_f$	$\dot{m}_s$	$R_d = \dot{m}_s / \dot{m}_f$
	μm	kg/h	kg/h	-
1	135	80,9	223,1	2,76
2	135	81,0	238,9	2,95
3	135	81,1	326,7	4,03
4	135	103,0	127,5	1,21
5	135	104,7	260,7	2,49
6	135	104,4	362,1	3,47
7	135	135,8	229,0	1,69
8	135	136,7	408,3	2,99
9	346	82,3	234,6	2,85
10	346	81,2	361,7	4,45
11	346	105,2	119,9	1,14
12	346	104,9	231,6	2,21
13	346	136,2	143,1	1,05
14	346	136,2	276,0	2,03
15	750	83,1	210,8	2,54
16	750	105,3	241,3	2,29
17	750	105,0	407,8	3,88
18	750	141,8	266,7	1,88

TABELA 4.2 MEDIDAS EXPERIMENTAIS DO PERFIL DE PRESSÃO MONOMÉTRICA, (EM PASCAL), AO LONGO DO TUBO DE TRANSPORTE PARA TESTES COM PARTÍCULAS SÓLIDAS DE DIÂMETRO UNIFORME.

No. do Teste	COTA DAS TOMADAS PRESSÕES (m)											
	0,12	0,21	0,31	0,41	0,61	1,11	1,61	2,11	2,61	3,11	3,61	4,02
1	412	1068	1117	1098	1058	970	892	823	764	715	676	637
2	892	1196	1205	1186	1147	1009	911	833	764	706	647	598
3	1186	1529	1519	1509	1421	1235	1088	990	892	804	725	657
4	911	1568	1617	1597	1558	1460	1401	1333	1264	1205	1147	1098
5	1147	1686	1764	1744	1705	1529	1411	1303	1205	1107	1019	951
6	1372	1960	2019	1980	1901	1656	1509	1372	1254	1137	1029	970
7	1460	2470	2568	2548	2479	2293	2146	2019	1891	1784	1686	1617
8	1597	2691	3067	3038	2930	2626	2430	2264	2117	1970	1823	1705
9	1019	1568	1558	1539	1480	1362	1254	1156	1058	970	882	804
10	1254	1705	1705	1676	1607	1450	1313	1186	1058	931	813	706
11	1245	2058	2078	2058	2009	1901	1803	1725	1646	1568	1490	1421
12	1617	2411	2401	2362	2274	2087	1940	1793	1656	1529	1411	1313
13	1803	3009	3018	2979	2901	2705	2568	2440	2313	2185	2068	1980
14	1950	3224	3254	3185	3077	2783	2597	2421	2254	2097	1940	1813
15	1137	1725	1734	1705	1646	1490	1372	1274	1176	1078	1000	921
16	461	2195	2234	2205	2136	1970	1813	1666	1539	1421	1323	1254
17	1450	2568	2607	2577	2489	2274	2068	1872	1705	1539	1392	1274
18	1705	3567	3645	3606	3508	3254	3048	2852	2656	2470	2303	2146

TABELA 4.3 VALORES DAS VARIÁVEIS FLUIDODINAMICAS E TÉRMICAS OBTIDOS ATRAVES DO MODELO DE SIMULAÇÃO PARA TESTES COM PARTICULAS SÓLIDAS DE DIÂMETRO UNIFORME.

No. do	ϵ	v_f	v_s	Re_f 10^{-4}	Re_s	f_s 10^2	β_v 10^3	t_{eq}	λ	h	Nu
Teste	-	m/s	m/s	-	-	-	-	$^{\circ}C$	-	$W/m^2 \ ^{\circ}C$	-
1	0,99891	13,3	10,5	2,34	12,49	3,40	1,088	112,1	-1,5816	233,67	0,906
2	0,99881	13,0	10,3	2,39	12,79	3,44	1,194	97,9	-1,1133	153,37	0,607
3	0,99836	13,1	10,3	2,36	12,84	3,43	1,625	99,3	-1,1881	131,62	0,518
4	0,99953	17,5	13,9	3,00	15,75	2,98	0,471	127,0	-1,0735	335,16	1,280
5	0,99902	17,2	13,7	3,03	15,88	3,01	0,980	112,6	-1,1965	245,58	0,950
6	0,99863	17,0	13,6	3,03	15,87	3,02	1,373	109,6	-1,2345	200,17	0,777
7	0,99935	22,7	18,1	3,85	20,04	2,64	0,650	130,5	-1,1773	403,69	1,528
8	0,99882	22,3	17,8	3,94	20,47	2,66	1,179	115,5	-1,1699	276,82	1,066
9	0,99839	13,4	7,5	2,39	69,82	3,99	1,611	112,4	-1,7424	458,47	4,575
10	0,99747	13,2	7,3	2,38	69,41	4,03	2,537	106,6	-2,0696	386,44	3,877
11	0,99839	17,6	10,1	2,99	83,60	3,47	0,608	132,9	-1,1439	685,77	6,673
12	0,99863	17,6	10,1	2,97	82,98	3,46	1,173	132,8	-1,5872	668,41	6,476
13	0,99946	23,0	13,6	3,82	103,30	3,02	0,541	143,8	-1,2208	1017,66	9,746
14	0,99894	22,6	13,3	3,87	104,66	3,04	1,064	129,3	-1,0314	601,26	5,847
15	0,99763	13,6	4,6	2,41	228,95	5,04	2,377	115,5	-0,7617	286,15	6,151
16	0,99809	17,5	6,5	3,01	270,40	4,27	1,909	127,1	-0,7432	424,78	8,980
17	0,99674	17,3	6,4	3,02	272,00	4,29	3,273	119,1	-0,8113	318,67	6,794
18	0,99857	23,9	9,6	3,99	341,45	3,55	1,431	141,4	-0,8374	795,49	16,521

para:

$$4,71 \cdot 10^{-4} < \beta_v < 3,27 \cdot 10^{-3},$$

e

$$13 < Re_s < 340.$$

O erro médio os entre valores obtidos experimentalmente e os calculados pela expressão foi de 16,98%, para um coeficiente de correlação de 0,96648.

A Tabela 4.4 reúne os parâmetros obtidos pelos diferentes autores para a equação $Nu = a \beta_v^b Re_s^c$, que permite o cálculo do coeficiente de transferência de calor gás-sólidos, e indica as faixas de aplicação. As faixas de concentração volumétricas das partículas sólidas β_v e do número de Reynolds Re_s não são coincidentes, sendo que os valores correspondentes ao presente trabalho cobrem resultados relativos a partículas de menor diâmetro, de interesse nas aplicações de craqueamento catalítico de gasóleo pesado e de pirólise de finos de xisto.

Os dados experimentais obtidos possibilitaram um maior detalhamento da transferência de calor na zona de aceleração, com 7 leituras de temperatura do fluido no primeiro metro de tubulação, contra 5 de KACZMARZYK e BANDROWSKI, 3 de JESUS e 2 de VALENTIN.

A Figura 4.1 apresenta os dados experimentais e as respectivas curvas de ajuste dos diversos autores e do presente trabalho para toda a faixa de valores disponíveis de β_v . A Figura 4.2 mostra os mesmos resultados para a faixa de β_v de interesse do presente trabalho.

TABELA 4.4. PARAMETROS PARA O CALCULO DO COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR GAS-SOLIDOS

AUTORES	PARAMETROS			β_v $\frac{3}{m^3/m}$	Re_s	MATERIAL DAS PARTICULAS SOLIDAS ESFERICAS	d_s μm	D m
	a	b	c					
CHUKHANOV (1971)	0,0060	-0,43	0,8	-	-	-	-	-
KACZMARZYK e BANDROWSKI (1980)	0,00144	-0,5984	0,8159	0,00025-0,05000	180-1800	Cerâmica	700; 1330; 1560; 1830; 2090; 2560.	0,06
KACZMARZYK e BANDROWSKI (1980)	0,03600	-0,4805	0,7722	0,00035-0,00250	180-1800	Cerâmica	700; 1330; 1560; 1830; 2090; 2560.	0,06
VALENTIN (1986)	0,00020	-0,4547	1,2982	0,00044-0,01850	90-1250	Vidro	240; 400; 1000; 1200; 1700.	0,052
JESUS (1987)	0,00715	-0,5984	0,8159	0,00140-0,00540	360-600	Vidro	1000.	0,052
ESTE TRABALHO	0,001285	-0,5724	0,9816	0,00047-0,00327	13-340	Vidro	135; 346; 750.	0,052

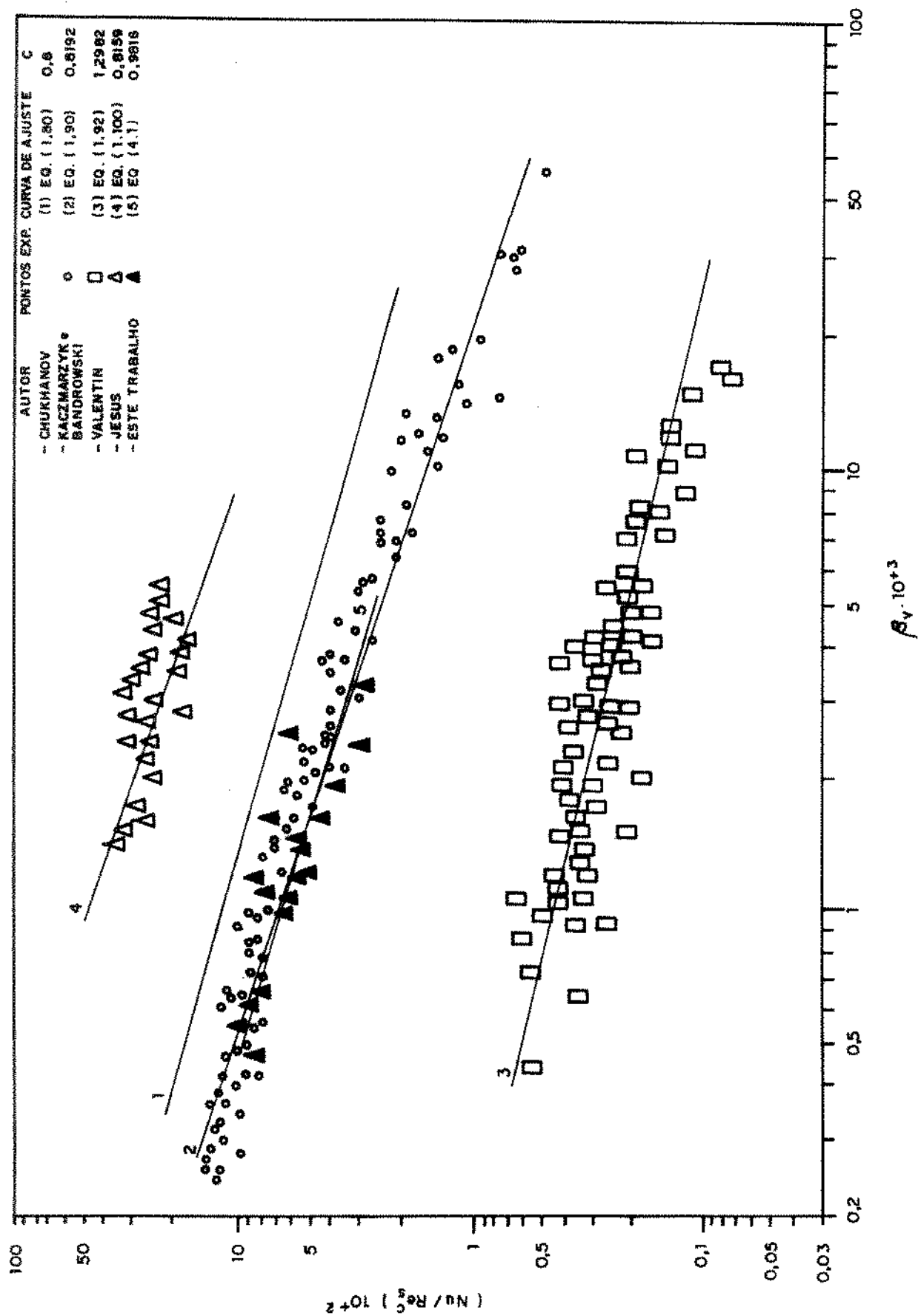


FIG. 4.1. DADOS EXPERIMENTAIS E CURVA DE AJUSTE PARA TODA FAIXA DE VALORES DISPONÍVEIS DE β_v .

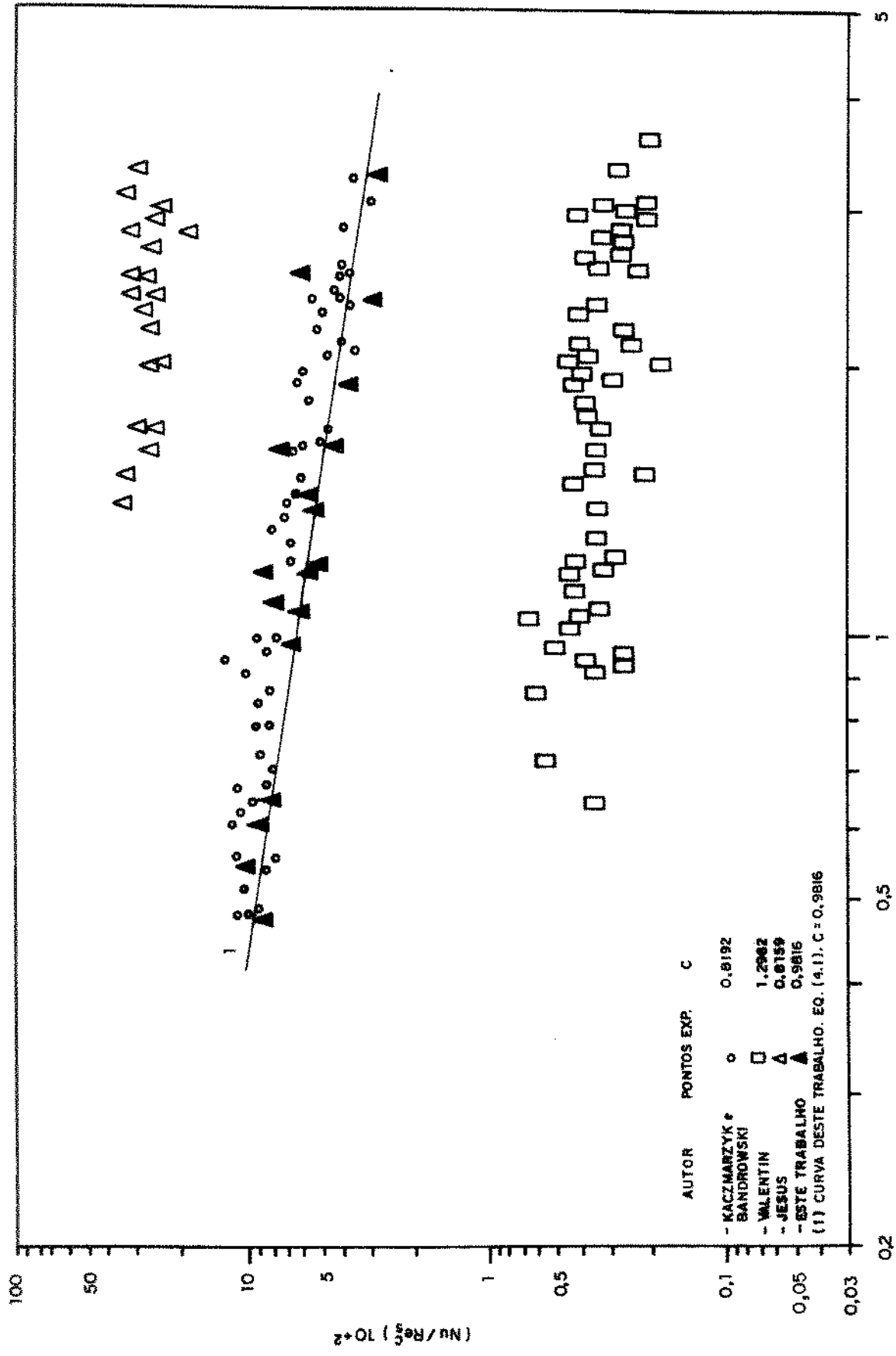


FIG. 4.2. DADOS EXPERIMENTAIS PARA A FAIXA DE VALORES DE β_v , UTILIZADA NESTE TRABALHO.

A Figura 4.3 compara os dados experimentais dos vários autores e mostra a curva geral de ajuste obtida por regressão para toda a faixa de valores de β_v , a saber:

$$Nu = 0,006337 \beta_v^{-0,4316} Re_s^{0,8033} \quad (4.2)$$

para:

$$0,00025 < \beta_v < 0,05,$$

e

$$13 < Re_s < 1800$$

O erro médio é de 78,87%, para um coeficiente de correlação de 0,02972.

Para a faixa de β_v de interesse no presente trabalho foi obtida a correlação:

$$Nu = 0,039341 \beta_v^{-0,0708} Re_s^{0,8892} \quad (4.3)$$

para:

$$0,00047 < \beta_v < 0,00327,$$

e

$$13 < Re_s < 1750$$

O erro médio obtido foi de 73,32%, para um coeficiente de correlação de 0,46120. A Figura 4.4 apresenta a correlação e a comparação dos dados experimentais para este caso.

Com base nos resultados apresentados nas Figuras 4.3 e 4.4, observa-se que os valores de número de Nusselt obtidos pelo presente trabalho foram maiores que os obtidos por KACZMARZYK e

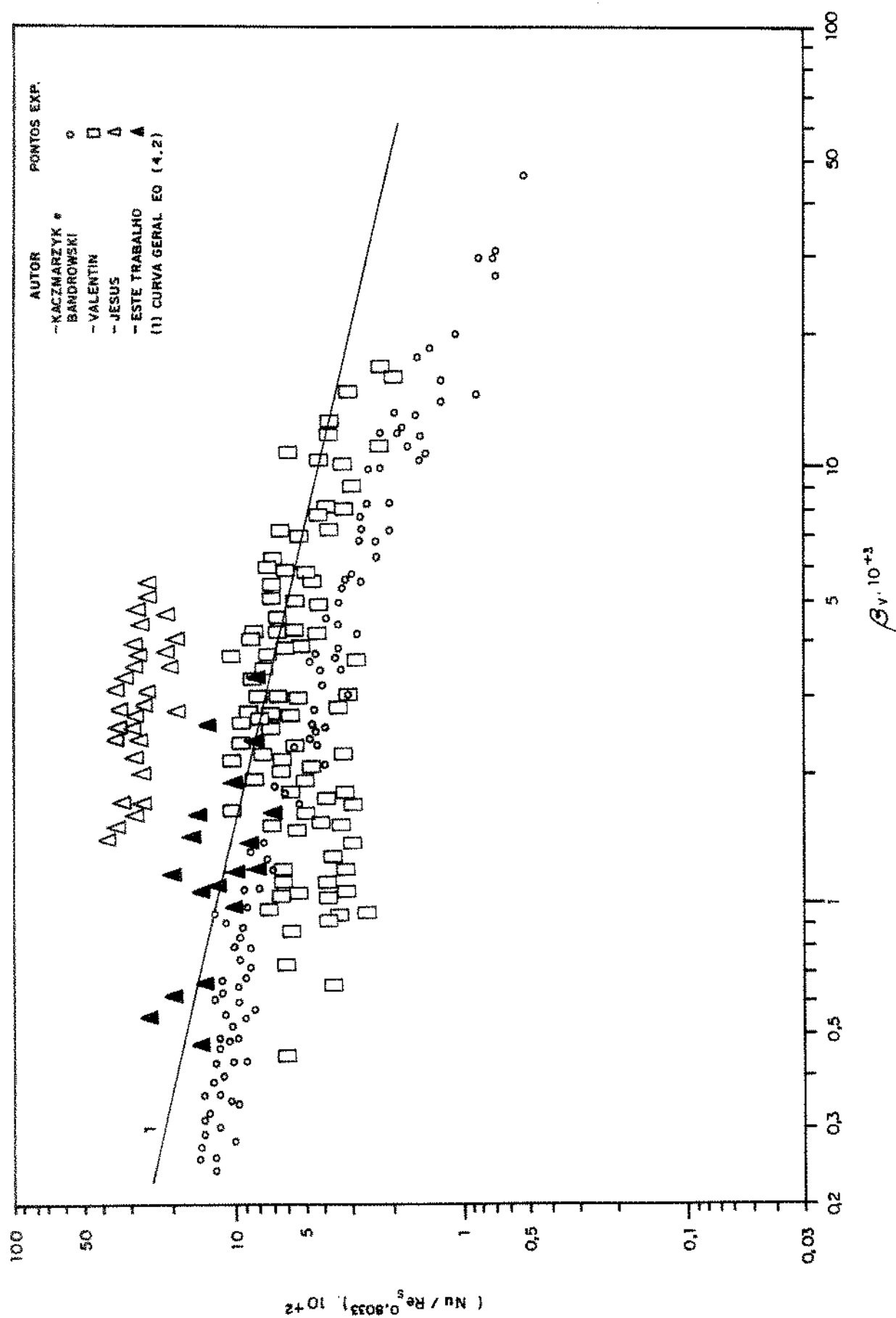


FIG. 4.3. COMPARAÇÃO DOS DADOS EXPERIMENTAIS E CURVA GERAL DE AJUSTE PARA TODA A FAIXA DE VALORES DISPONÍVEIS DE β_v .

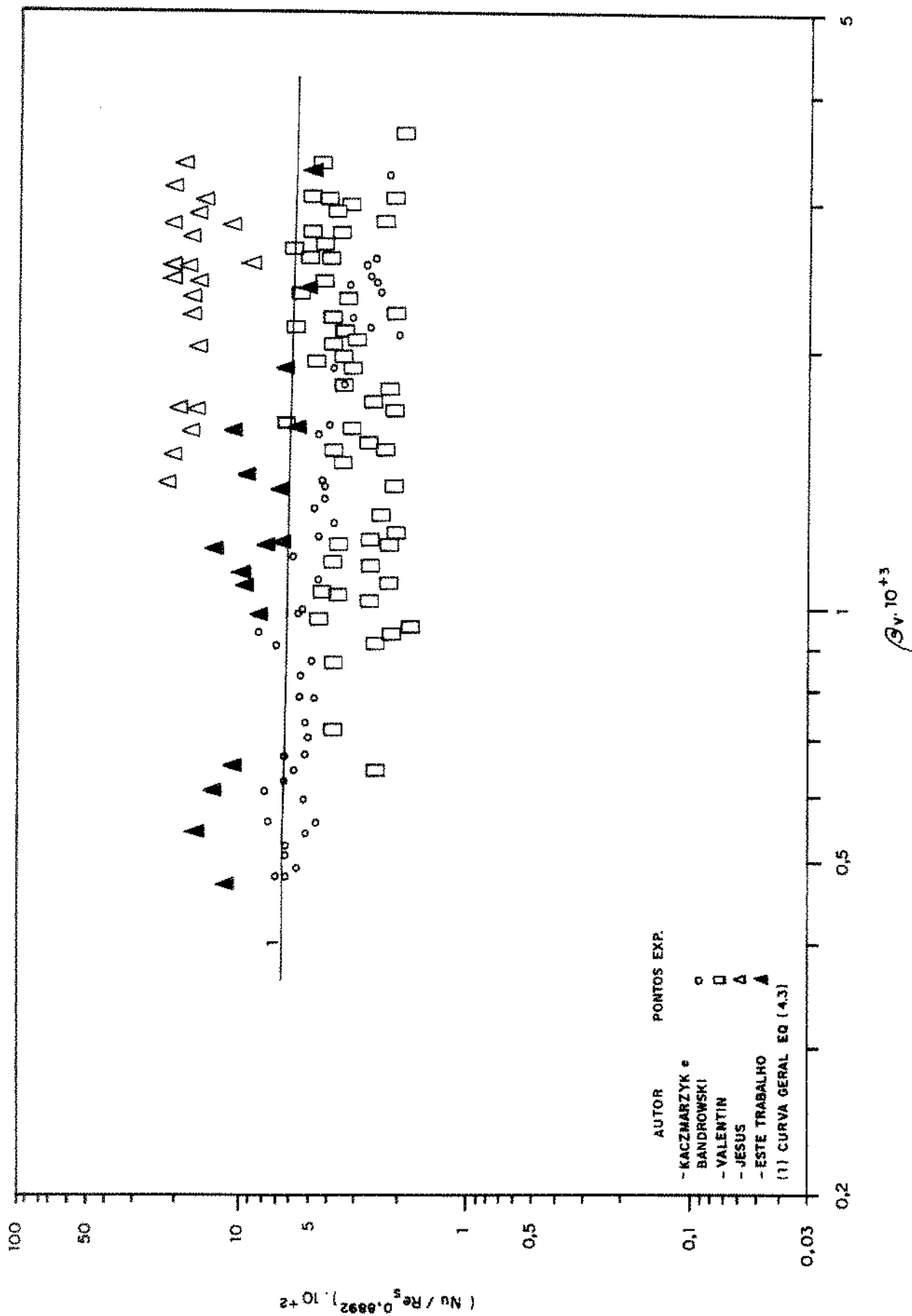


FIG. 4.4. COMPARAÇÃO DOS DADOS EXPERIMENTAIS E CURVA GERAL DE AJUSTE PARA A FAIXA DE β_v , UTILIZADA NESTE TRABALHO.

BANDROWSKI (1980) e VALENTIN (1986). Este resultado pode ser devido ao fato de que o presente trabalho levou em consideração a região de aceleração no cálculo de Nu, na qual levantou um maior número de pontos experimentais de temperatura.

As Figuras 4.3 e 4.4 mostram também que os valores de Nu são diferentes para cada autor. Uma explicação para tanto poderia ser a sugerida por JESUS (1987), de que os resultados obtidos para Nu dependem da correlação utilizada para o fator de atrito partículas sólidas-parede. A correlação empregada no presente trabalho foi obtida através do correlacionamento de dados experimentais próprios.

4.1.2. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A Tabela 4.5 apresenta resultados de alguns testes característicos, onde Δt_f e Δt_s correspondem ao resfriamento do fluido e ao aquecimento das partículas sólidas, respectivamente, desde a alimentação de sólidos até a saída do tubo de transporte, enquanto o Δp se refere à perda de pressão entre a cota $x = 0,31m$ e a saída do tubo.

Tabela 4.5 RESULTADOS EXPERIMENTAIS PARA PARTICULAS SÓLIDAS DE DIAMETRO UNIFORME. A POROSIDADE FOI OBTIDA POR SIMULAÇÃO

No. do Teste	d_s	$\dot{m}_f$	$\dot{m}_s$	Δp	$\varepsilon(x=4,02m)$	Δt_f	Δt_s
	μm	kg/h	kg/h	Pa	-	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$
1	135	80,9	223,1	480,0	0,99889	61,2	31,8
3	135	81,1	326,7	862,0	0,99824	69,1	23,5
5	135	104,7	260,7	813,0	0,99895	61,7	36,6
8	135	135,8	229,0	951,0	0,99932	49,0	40,6
16	750	105,3	241,3	980,0	0,99796	47,9	28,8

A comparação dos testes 1 e 3, para partículas de mesmo diâmetro e mesma descarga de fluido, mostra que o aumento da descarga de sólidos causa um aumento da perda de pressão e da troca térmica, resultando num maior resfriamento do fluido, pois o aumento da concentração das partículas sólidas, que causa uma redução do Nu , é compensado pelo aumento da área de transferência de calor gás-sólido, por unidade de volume. O aumento da perda de pressão é resultante basicamente da componente gravitacional relativo à fase sólida e do atrito entre as partículas sólidas e a parede do tubo de transporte.

Nos testes 1 e 8, com partículas de mesmo diâmetro e mesma descarga de sólidos, o aumento da descarga de fluido causa um aumento da perda de pressão, decorrente das perdas devido ao atrito. A troca térmica aumenta, conforme pode ser observado pelo crescimento de Δt_s , pois apesar da redução da concentração de sólidos, que diminui a área de transferência de calor por unidade de volume, há um aumento de Nu , causado pela redução de β_v e pelo aumento do número de Reynolds.

Os testes 5 e 16 têm praticamente as mesmas descargas de fluido e de sólidos, mas o diâmetro das partículas sólidas varia de 135 para 750 μm . A troca térmica cai, pois basicamente há uma redução da área de transferência de calor por unidade de volume do tubo de transporte.

4.1.3. SIMULAÇÃO DA FLUIDODINAMICA E DA TRANSFERENCIA DE CALOR PARA SUSPENSÕES COM PARTICULAS DE DIAMETROS UNIFORMES

Os valores do número de Nusselt obtidos para as suspensões de partículas de diâmetro uniforme foram utilizados na simulação

da fluidodinâmica e da transferência de calor gás-partículas sólidas, onde se considerou o escoamento na região de aceleração, conforme o modelo I, discutido no capítulo anterior.

A simulação mostra que, para testes com partículas sólidas de um mesmo diâmetro, o aumento de $\dot{m}_S'$, mantida constante $\dot{m}_F'$, traz um aumento da perda de pressão e da transferência de calor.

As figuras 4.5 a 4.13 apresentam os resultados obtidos para três corridas representativas, com partículas de diâmetros diferentes, correspondentes aos testes 8, 10 e 15. Nestas corridas a simulação se inicia no ponto de alimentação de sólidos, conforme discutido em 2.3.3. As figuras 4.14 a 4.22 iniciam a simulação a partir da cota $x = 0,26m$.

Para cada teste são apresentados os perfis teórico e experimental das temperaturas do fluido e das partículas sólidas, bem como das pressões ao longo do comprimento do tubo de transporte.

As temperaturas do fluido são bem simuladas pelos dois critérios. No caso da temperatura das partículas sólidas a confirmação da simulação só é possível na saída do tubo de transporte, com resultados satisfatórios.

No caso das curvas de distribuição de pressão a adoção do primeiro critério foi em geral, o que melhor simulou o fenômeno, com maior aproximação dos dados experimentais. Esta aproximação é ainda melhor quanto menores as partículas, a menos do trecho inicial, até $x = 0,31 m$, onde ocorre o efeito do ejeter.

O segundo critério só é adequado para as partículas de maior diâmetro. Ele considera que as partículas na cota inicial de

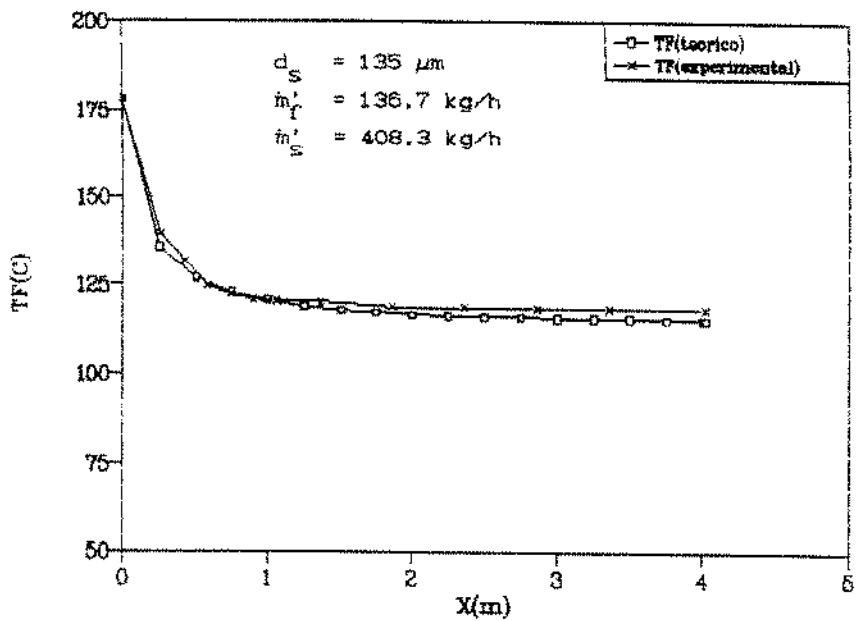


FIG. 4.5. TEMP. FLUIDO x COMPRIMENTO
Comparativo. No. Teste: 8

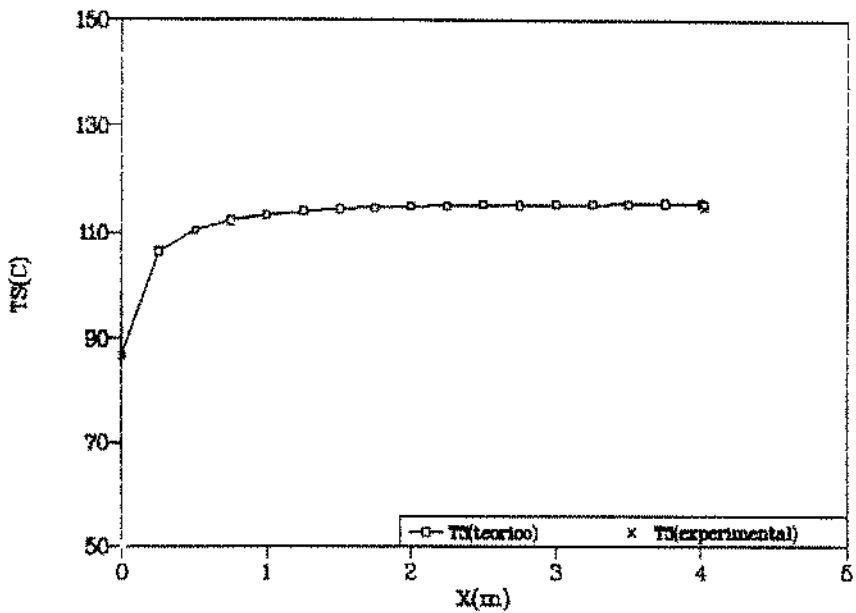


FIG. 4.6. TEMP. SOLIDOS x COMPRIMENTO
Comparativo. No. Teste: 8

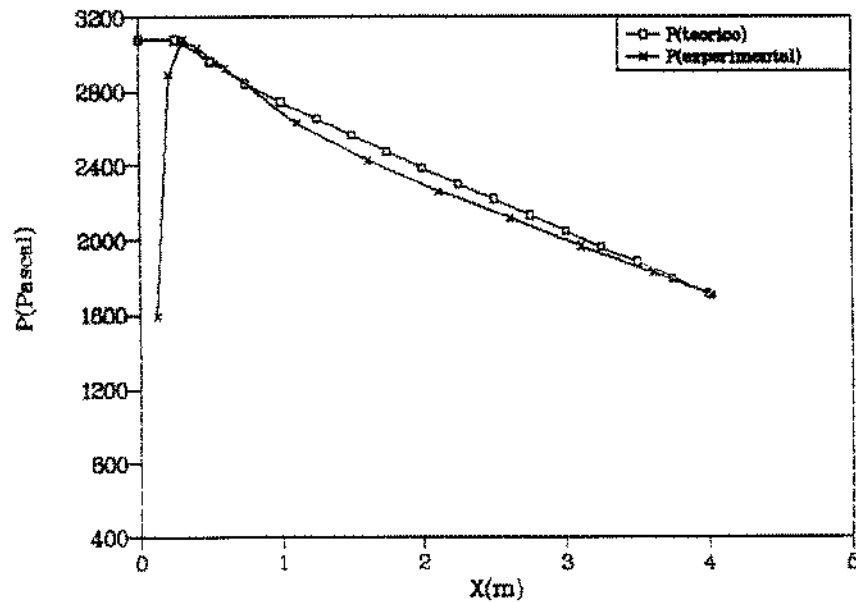


FIG. 4.7. PRESSAO MAN. FLUIDO x COMPRIMENTO
Comparativo. No. Teste: 8

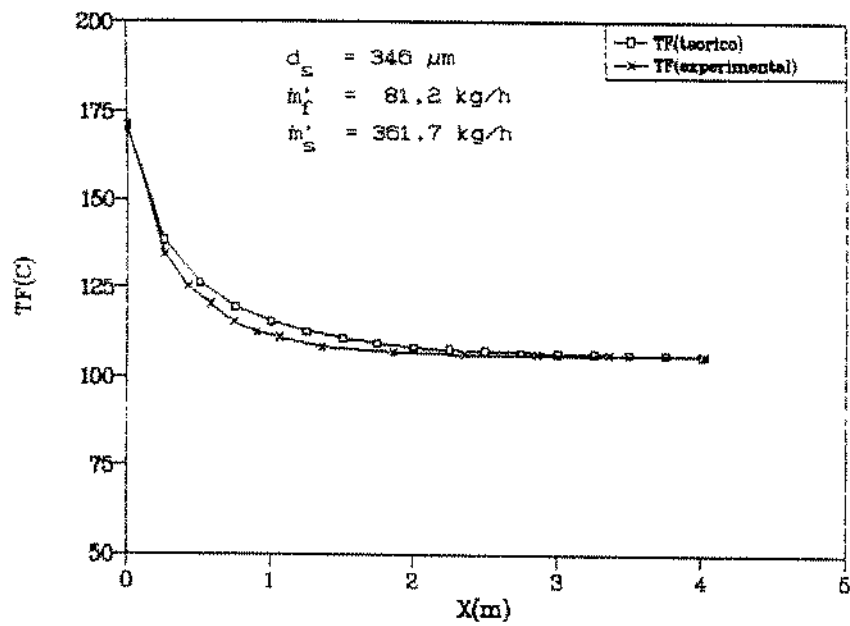


FIG. 4.8. TEMP. FLUIDO x COMPRIMENTO
Comparativo. No. Teste: 10

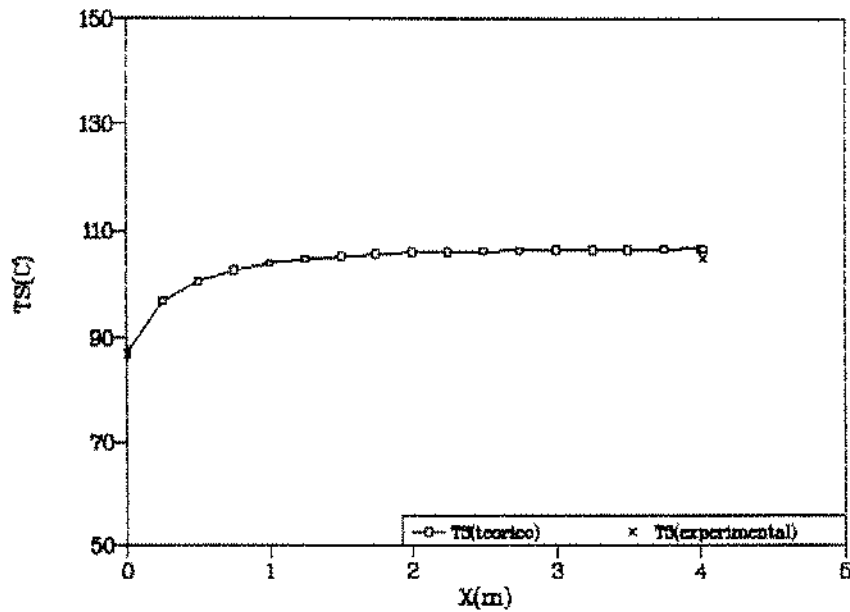


FIG. 4.9. TEMP. SOLIDOS x COMPRIMENTO
Comparativo. No. Teste: 10

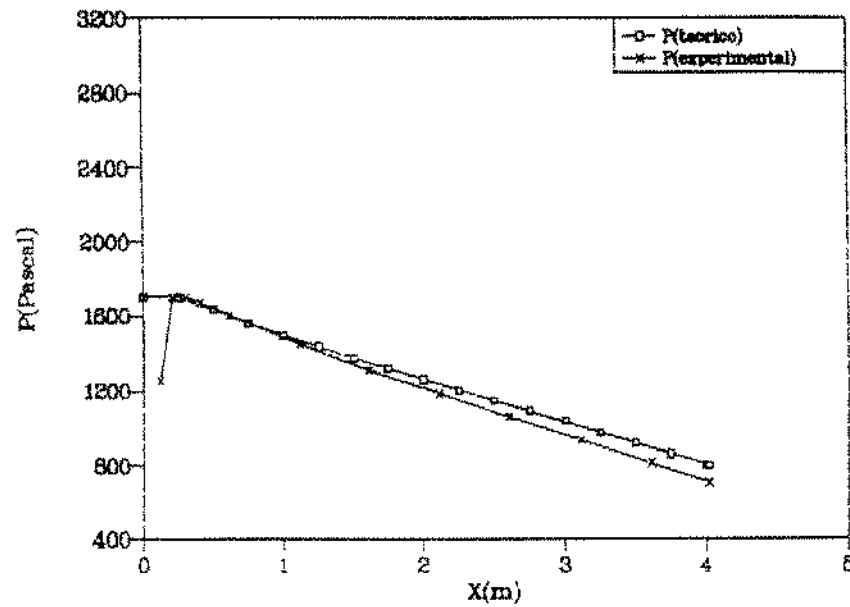


FIG. 4.10. PRESSAO MAN. FLUIDO x COMPRIMENTO
Comparativo. No. Teste: 10

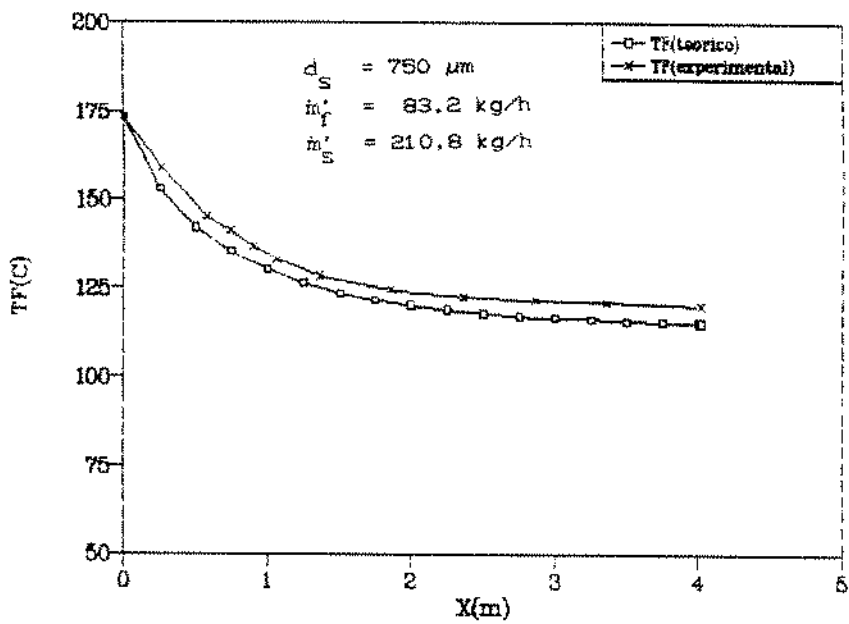


FIG. 4.11. TEMP. FLUIDO x COMPRIMENTO
Comparativa No. Teste: 15

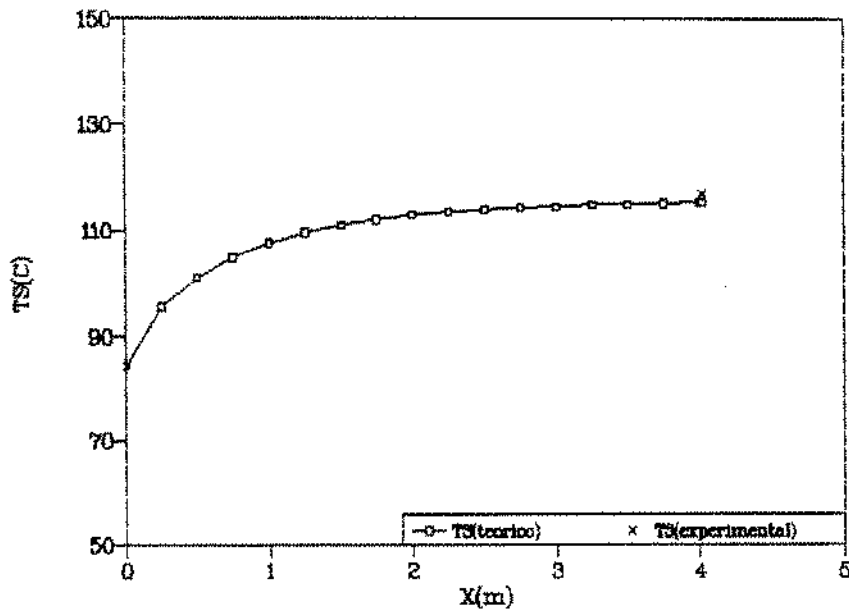


FIG. 4.12. TEMP. SOLIDOS x COMPRIMENTO
Comparativa No. Teste: 15

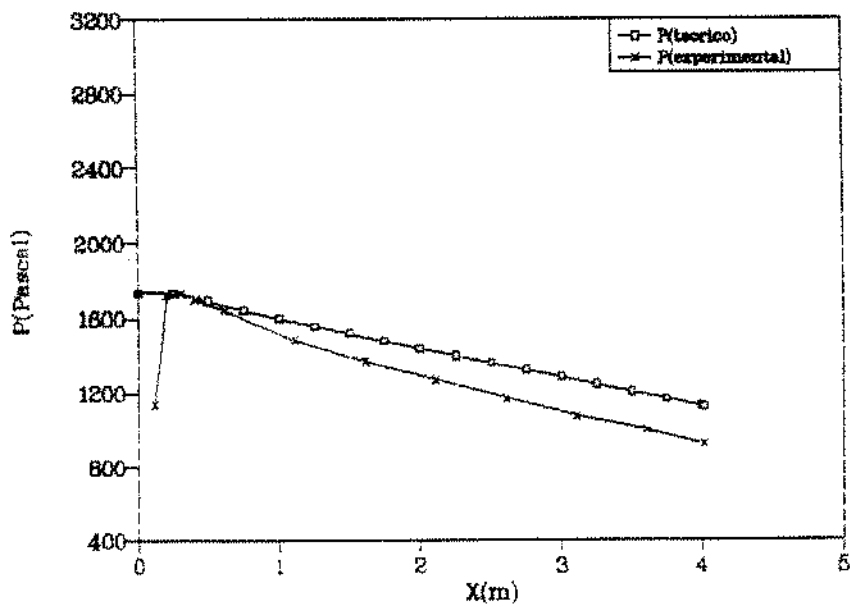


FIG. 4.13. PRESSAO MAN. FLUIDO x COMPRIMENTO
Comparativa No. Teste: 15

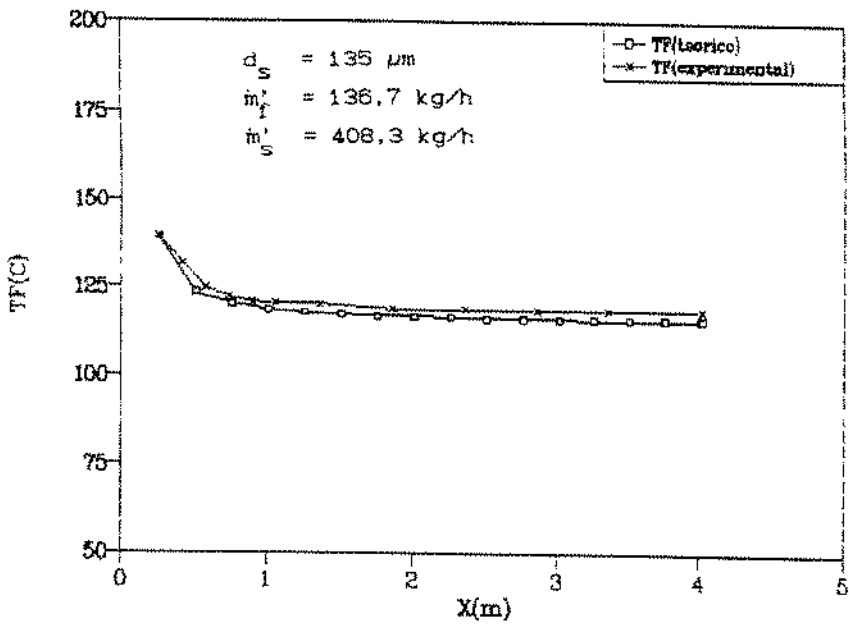


FIG. 4.14. TEMP. FLUIDO x COMPRIMENTO
Comparativo. No. Teste: 8

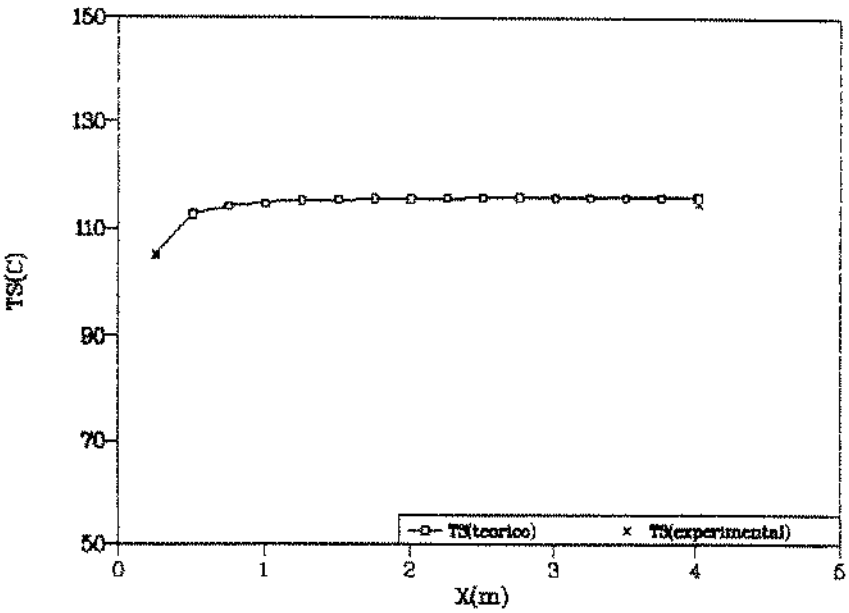


FIG. 4.15. TEMP. SOLIDOS x COMPRIMENTO
Comparativo. No. Teste: 8

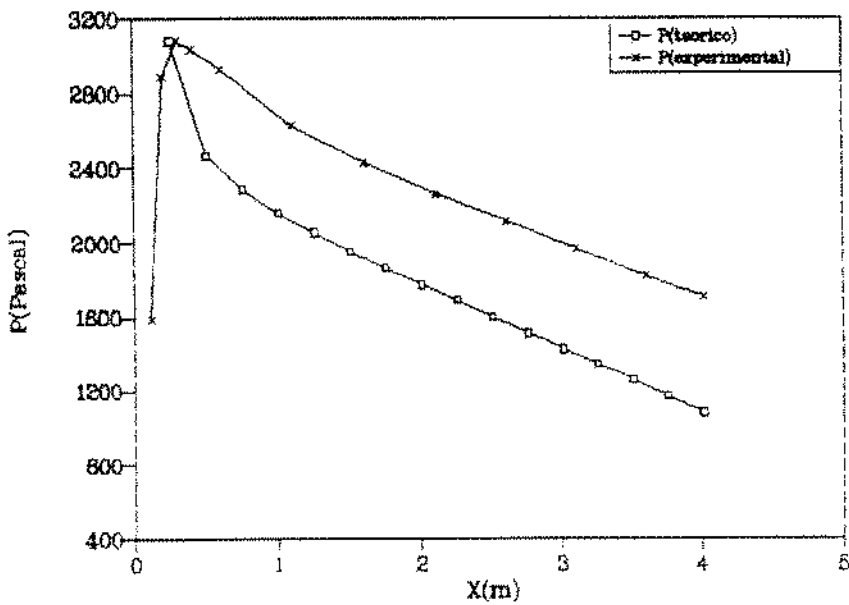


FIG. 4.16. PRESSAO MAN. FLUIDO x COMPRIMENTO
Comparativo. No. Teste: 8

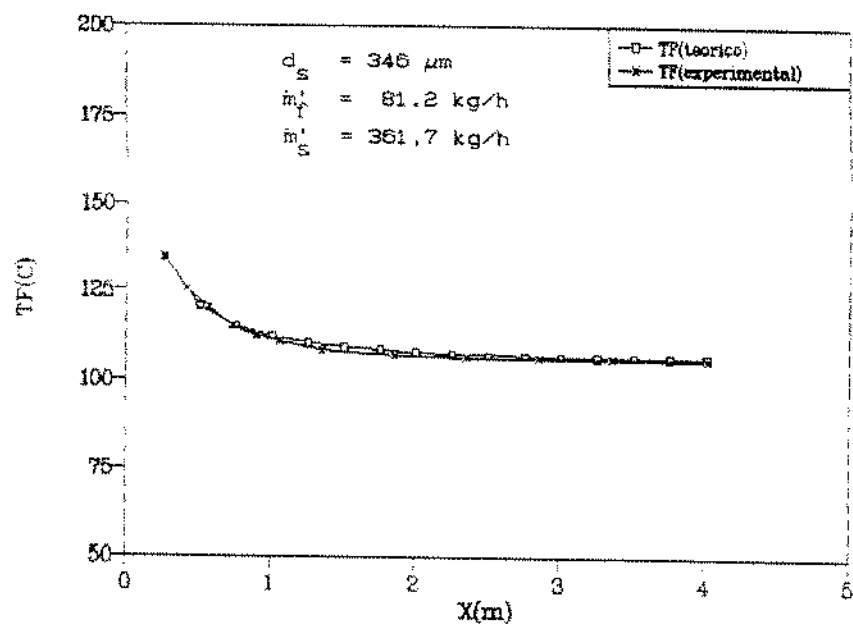


FIG. 4.17. TEMP. FLUIDO x COMPRIMENTO
Comparativo. No. Teste: 10

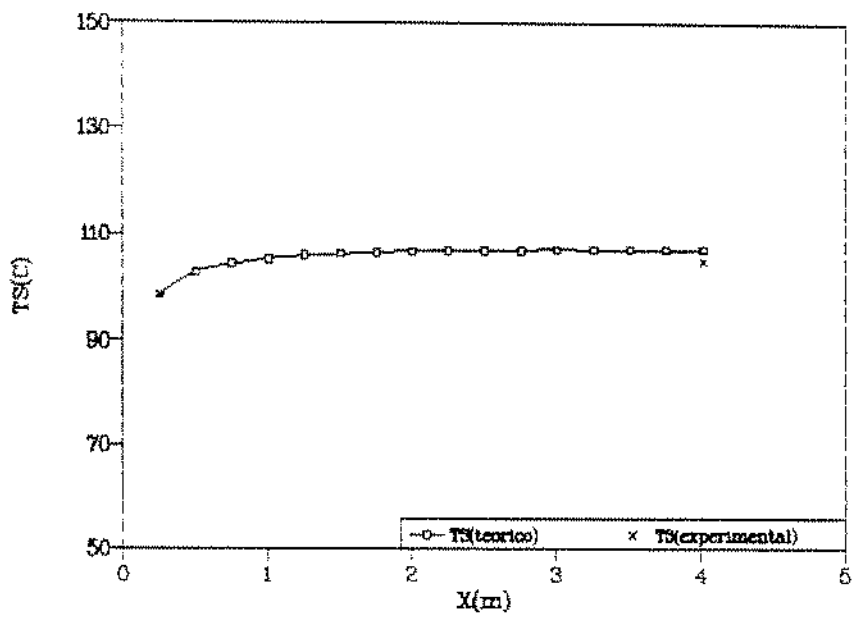


FIG. 4.18. TEMP. SOLIDOS x COMPRIMENTO
Comparativo. No. Teste: 10

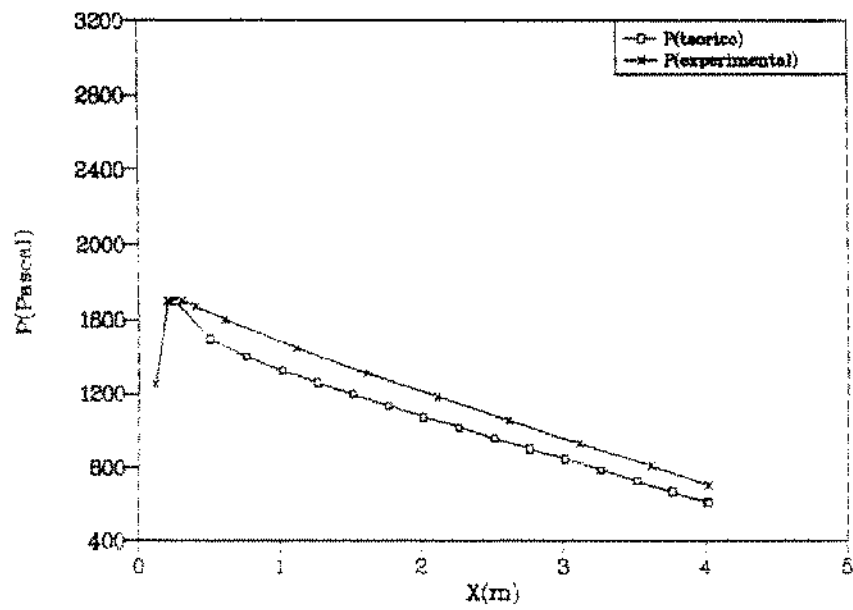


FIG. 4.19. PRESSAO MAN. FLUIDO x COMPRIMENTO
Comparativo. No. Teste: 10

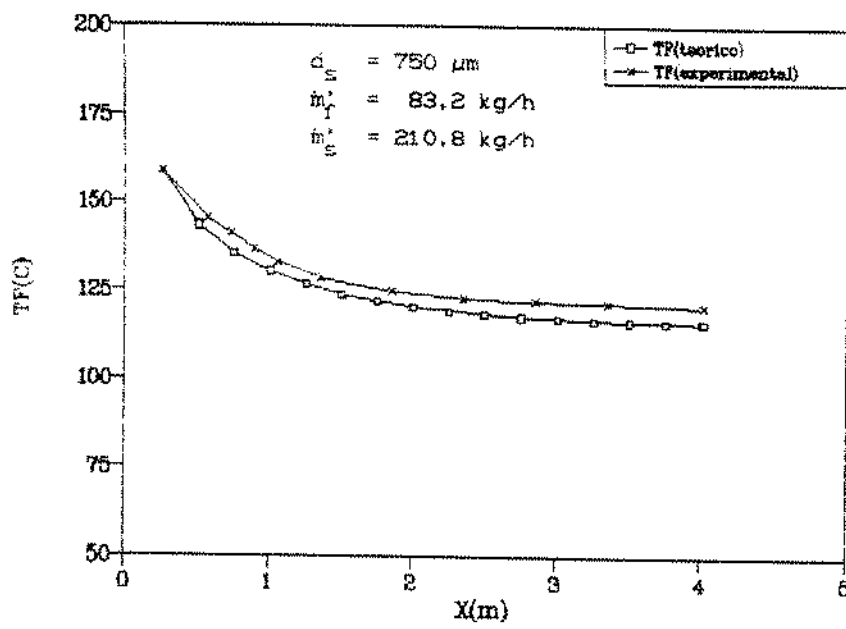


FIG. 4.20. TEMP. FLUIDO x COMPRIMENTO
Comparativo. No. Teste: 15

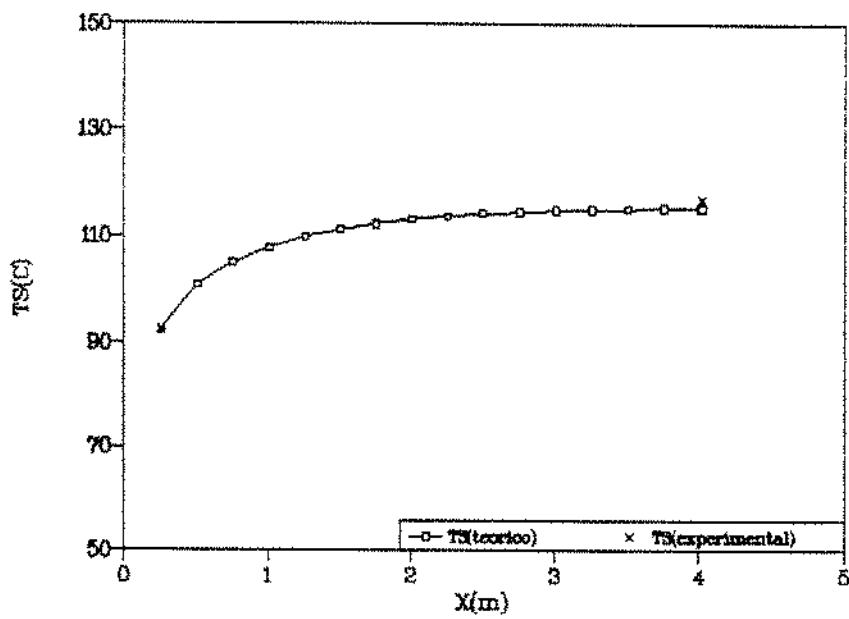


FIG. 4.21. TEMP. SOLIDOS x COMPRIMENTO
Comparativo. No. Teste: 15

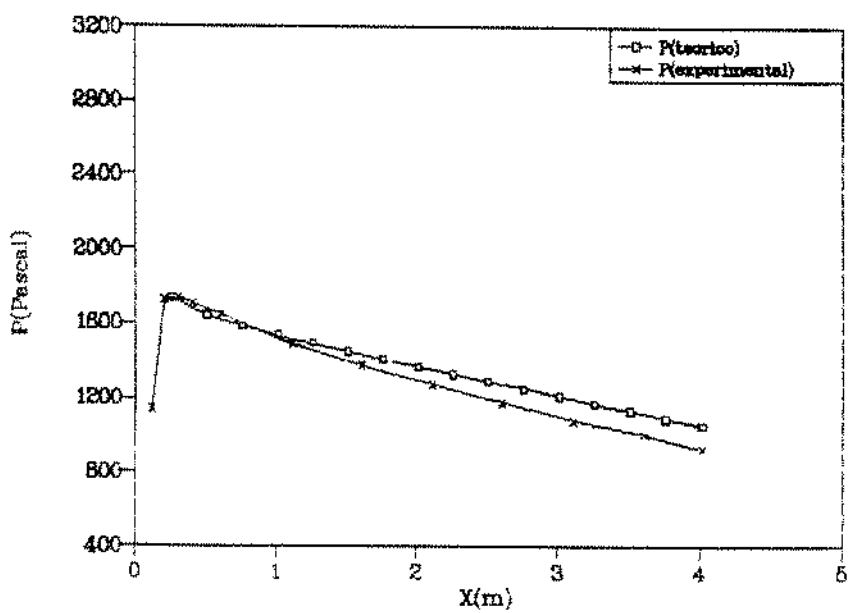


FIG. 4.22. PRESSAO MAN. FLUIDO x COMPRIMENTO
Comparativo. No. Teste: 15

simulação, $x = 0,26$ m, estão com a mesma velocidade do ponto de alimentação de sólidos, o que não corresponde ao fenômeno, pois as partículas na realidade chegam na cota $x = 0,26$ m com uma velocidade maior do que a que tinham no ponto de alimentação. O modelo, no entanto, simula bem a velocidade do fluido em $x = 0,26$ m. A partir deste ponto apenas é que o modelo começa a considerar a aceleração das partículas, quando, na realidade, a aceleração se iniciou no ponto de alimentação. O modelo prevê, portanto, uma perda de pressão maior, necessária para prover a maior aceleração demandada, do que a que ocorre na realidade. Este efeito é tanto maior quanto menor o diâmetro das partículas sólidas, porque estas sofrem maior aceleração pelo fluido no trecho de influência do ejetor, chegando em $x = 0,26$ m com uma velocidade bem maior do que a existente no ponto de alimentação.

Os resultados completos da simulação (iniciando no ponto de alimentação de sólidos), correspondentes às 18 corridas experimentais, se encontram, em forma de tabela no Anexo 13, e podem ser comparadas aos dados experimentais das Tabelas 2.7 e 4.2.

4.2. SUSPENSÕES COM MISTURAS BINÁRIAS DE PARTÍCULAS SÓLIDAS

4.2.1. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A Tabela 4.6 apresenta os diâmetros das partículas d_{s1} e d_{s2} que compõem a mistura, bem como as frações mássicas das partículas no ponto de alimentação, e as descargas do fluido e do sólido. As descargas de fluido foram obtidas a partir da Tabela 2.8, conforme procedimento descrito no Anexo 1. Os subscritos 1 e 2 se referem sempre às partículas de menor e maior diâmetro, respectivamente.

TABELA 4.6 VALORES DOS DIAMETROS, DAS FRAÇÕES MASSICAS DAS PARTÍCULAS SÓLIDAS E DAS DESCARGAS DO FLUIDO E SÓLIDOS, PARA OS TESTES COM MISTURAS BINÁRIAS.

No. DO	d_{s1}	d_{s2}	x_{o1}	x_{o2}	$\dot{m}_f$	$\dot{m}_s$	$R_d = \dot{m}_s/\dot{m}_f$
TESTE	μm	μm	-	-	kg/h	kg/h	-
19	135	346	0,2	0,8	81,0	111,6	1,38
20	135	346	0,2	0,8	80,8	243,3	3,01
21	135	346	0,2	0,8	80,7	401,7	4,98
22	135	346	0,5	0,5	80,8	134,5	1,66
23	135	346	0,5	0,5	80,8	231,2	2,86
24	135	346	0,5	0,5	79,2	347,2	4,38
25	135	346	0,8	0,2	80,3	126,7	1,58
26	135	346	0,8	0,2	79,0	235,3	2,98
27	135	346	0,5	0,5	104,2	254,4	2,44
28	135	346	0,5	0,5	104,6	385,6	3,69
29	135	346	0,8	0,2	105,0	195,4	1,86
30	135	346	0,8	0,2	137,1	180,3	1,32
31	135	346	0,8	0,2	136,8	328,2	2,40
32	135	750	0,2	0,8	80,0	325,1	4,06
33	135	750	0,2	0,8	80,9	331,5	4,10
34	135	750	0,5	0,5	81,3	140,2	1,72
35	135	750	0,5	0,5	81,1	377,7	4,66
36	135	750	0,8	0,2	80,8	131,2	1,62
37	135	750	0,8	0,2	80,9	240,3	2,97
38	135	750	0,8	0,2	80,9	339,2	4,19
39	135	750	0,5	0,5	106,0	166,4	1,57

TABELA 4.8 (CONT.)

No. DO	d _{s1}	d _{s2}	X _{o1}	X _{o2}	m _f	m _s	R _d = m _s /m _f
TESTE	µm	µm	-	-	kg/h	kg/h	-
40	135	750	0,8	0,2	105,9	255,0	2,41
41	135	750	0,8	0,2	136,1	192,7	1,42
42	135	750	0,8	0,2	136,1	289,8	2,13
43	346	750	0,2	0,8	81,6	229,9	2,82
44	346	750	0,8	0,2	80,9	102,8	1,27
45	346	750	0,8	0,2	81,3	226,6	2,79
46	346	750	0,8	0,2	83,9	330,5	3,94
47	346	750	0,2	0,8	103,7	363,0	3,50
48	346	750	0,8	0,2	105,0	352,6	3,36

A Tabela 4.7 traz as pressões ao longo do tubo de transporte, obtidas a partir da tabela 2.9, utilizando o procedimento descrito no Anexo 8.

As medidas da temperatura do fluido ao longo do tubo de transporte estão na Tabela 2.10, bem como as temperaturas de entrada e de saída da mistura de partículas sólidas.

A Tabela 4.8 apresenta os principais parâmetros de um conjunto de testes representativos. A relação entre as variáveis é analisada a seguir a partir da comparação dos resultados destes testes.

- a. Testes 19 e 21 - O aumento de $\dot{m}'_s$, mantidos constantes os valores de d_{s1} , d_{s2} , X_{o1} , X_{o2} e $\dot{m}'_f$, causa um aumento de Δp , pelo aumento da contribuição gravitacional, bem como da troca térmica para o sólido.
- b. Testes 25 e 26 - A alteração da composição mássica dos sólidos na entrada, de $X_{o1} = 0,2$ para $X_{o1} = 0,8$, não modifica as tendências observadas numa comparação semelhante à do item anterior (item a).
- c. Testes 29 e 30 - O aumento da descarga de fluido para descargas de sólidos mantidas aproximadamente iguais resulta numa maior perda de pressão e numa maior troca térmica.

TABELA 4.7 MEDIDAS EXPERIMENTAIS DO PERFIL DE PRESSÃO MONOMÉTRICA (EM PASCAL), AO LONGO DO TUBO DE TRANSPORTE PARA TESTES COM MISTURAS BINÁRIAS.

No. DO TESTE	COTA DAS TOMADAS DE PRESSÕES (m)											
	0,12	0,21	0,31	0,41	0,61	1,11	1,61	2,11	2,61	3,11	3,61	4,02
19	803	1156	1176	1156	1127	1049	990	931	872	813	764	715
20	1068	1431	1421	1401	1362	1205	1107	1009	921	833	745	667
21	1382	1715	1705	1676	1588	1392	1225	1068	921	784	657	539
22	832	999	1009	989	969	871	812	753	694	645	596	557
23	960	1215	1235	1215	1156	1058	970	892	814	736	667	608
24	1019	1342	1352	1342	1283	1107	999	891	793	695	597	548
25	823	1039	1049	1039	1029	941	882	823	774	725	686	657
26	950	1244	1254	1234	1205	1058	950	872	794	716	647	588
27	1391	1950	1970	1941	1872	1705	1568	1441	1323	1215	1117	1029
28	1480	2107	2146	2126	2018	1822	1665	1508	1361	1234	1116	998
29	1215	1715	1735	1715	1666	1529	1431	1343	1255	1177	1099	1050
30	1118	2421	2519	2509	2460	2274	2127	2009	1891	1783	1685	1607
31	1372	2754	2891	2862	2784	2539	2353	2196	2049	1912	1785	1687
32	1088	1411	1431	1411	1372	1205	1087	979	881	793	705	627
33	1245	1715	1715	1695	1675	1518	1371	1234	1097	970	843	745
34	656	921	931	931	902	833	764	705	646	597	558	519
35	402	1558	1597	1577	1479	1332	1195	1068	950	852	764	686
36	804	1078	1088	1088	1059	990	931	872	813	764	715	666
37	882	1205	1215	1195	1156	1058	970	882	804	735	676	617
38	989	1332	1352	1332	1244	1097	960	842	744	666	597	538

TABELA 4.7 (CONT.)

No. DO TESTE	COTA DAS TOMADAS DE PRESSÕES (m)											
	0,12	0,21	0,31	0,41	0,61	1,11	1,61	2,11	2,61	3,11	3,61	4,02
39	989	1724	1744	1724	1675	1557	1459	1361	1273	1195	1136	1077
40	1058	1793	1842	1832	1783	1665	1547	1439	1331	1233	1145	1067
41	1411	2548	2597	2577	2499	2332	2205	2078	1951	1824	1706	1588
42	1519	2675	2724	2704	2586	2380	2204	2047	1890	1743	1606	1469
43	980	1470	1480	1460	1411	1264	1166	1068	980	892	814	755
44	686	1107	1127	1107	1078	1009	950	901	852	803	764	725
45	1068	1489	1499	1460	1421	1303	1195	1097	1009	931	853	784
46	1255	1794	1833	1794	1735	1559	1412	1275	1148	1030	922	824
47	1646	2489	2528	2499	2401	2185	1989	1822	1665	1518	1381	1254
48	1529	2333	2372	2333	2255	2039	1863	1696	1539	1382	1235	1088

TABELA 4.8. RESULTADOS EXPERIMENTAIS PARA SUSPENSÕES DE MISTURAS BINÁRIAS

No. do Teste	d_{s1}	d_{s2}	x_{o1}	x_{o2}	$\dot{m}'_f$	$\dot{m}'_s$	Δp	Δt_f	Δt_s
	μm	μm	-	-	kg/h	kg/h	Pa	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$
19	135	346	0,2	0,8	81,0	111,6	461,0	53,8	45,3
20	135	346	0,2	0,8	80,8	243,3	754,0	61,9	29,3
21	135	346	0,2	0,8	80,7	401,7	1166,0	65,4	15,3
25	135	346	0,8	0,2	80,3	126,7	392,0	52,0	36,4
26	135	346	0,8	0,2	79,0	235,3	666,0	55,4	31,3
29	135	346	0,8	0,2	105,0	195,4	685,0	47,0	38,6
30	135	346	0,8	0,2	137,1	181,3	912,0	45,4	38,6
33	135	750	0,2	0,8	80,9	331,5	970,0	68,8	19,3
36	135	750	0,8	0,2	80,8	131,2	422,0	53,3	32,9
38	135	750	0,8	0,2	80,9	339,2	814,0	67,5	23,0

- d. Testes 20 e 26; 33 e 38 - Para mesmas descargas de fluido e de partículas sólidas, o aumento da fração mássica das partículas de menor diâmetro causa um pequeno aumento da troca térmica fluido-sólido, como se pode observar pelo aumento de Δt_s . Era de se esperar também um aumento no valor experimental de Δt_f , conforme previsto nos resultados da simulação, discutidos no item seguinte. Os resultados experimentais, no entanto, não exibem a tendência esperada, o que se poderia, tentativamente, explicar admitindo que o sistema efetivamente não teria alcançado a operação em regime permanente. Neste caso, uma mistura com maior proporção de finos aumentaria a troca térmica da suspensão com a parede, que atuaria como uma fonte de calor para o fluido que, portanto, sofreria um menor decréscimo de temperatura.
- e. Testes 25 e 36 - Nestes testes são mantidos aproximadamente iguais as descargas de sólidos e de fluidos, bem como a fração mássica, na entrada, das partículas de menor diâmetro. A alteração no tamanho da partícula maior de $d_{s2} = 345$ para $750 \mu\text{m}$ traz uma pequena redução da transferência de calor para o sólido, o que corresponde aos valores da simulação discutida no próximo item.

f. Testes 36 e 38 - A variação das condições explorada nestes dois testes corresponde à dos testes 25 e 26 do item b. Independentemente da relação entre os diâmetros das partículas que compõem a mistura, um aumento da descarga de sólidos, mantidas constantes as outras variáveis, trouxe um aumento da transferência de calor e da perda de pressão.

A complexidade dos fenômenos envolvidos no escoamento com mistura de partículas dificulta a completa explicação das tendências observadas, o que incentiva fortemente a proposição de um modelo a partir de equações fundamentais.

4.2.2. SIMULAÇÃO DA FLUIDODINAMICA E DA TRANSFERENCIA DE CALOR GAS-SÓLIDOS PARA MISTURAS BINÁRIAS

Apresenta-se a seguir os resultados correspondentes aos modelos estudados, detalhados no Capítulo 3. O modelo III é o mais completo, na medida em que leva em conta os choques entre as partículas de tamanhos diferentes. O modelo II, como se viu anteriormente, considera a existência da mistura, embora não leva em conta o choque entre as partículas. O modelo I, por sua vez, substitui a mistura binária por uma suspensão de partículas de tamanho uniforme equivalente, cujo diâmetro é o diâmetro de Sauter da mistura estudada.

Apenas os modelos II e III individualizam as partículas e, portanto, permitem o acompanhamento das velocidades, temperaturas e concentrações volumétricas das partículas de diferentes tamanhos ao longo do tubo de transporte.

Foram realizadas simulações correspondentes aos 30 testes experimentais, cujos resultados se encontram nos Anexos 14, 15 e 16, para os modelos I, II e III, respectivamente.

a) Modelo III

As figuras 4.23 a 4.32 apresentam os resultados obtidos pelo modelo III para o teste 23, que é um exemplo representativo dos demais testes realizados. As curvas experimentais de t_f e p ao longo do tubo de transporte, bem como as temperaturas médias da mistura de partículas sólidas t_{sm} , na entrada e na saída do tubo, estão também representadas, para permitir a comparação com os resultados do modelo.

A Figura 4.23 mostra as distribuições experimental e simulada da temperatura do fluido ao longo do tubo de transporte, enquanto a Figura 4.24 traz o perfil da temperatura média dos sólidos, que pode ser comparada ao valor experimental na saída do tubo. Pode-se observar a variação acentuada das temperaturas no primeiro metro do tubo, correspondente à região de escoamento acelerado.

A Figura 4.25 apresenta os perfis teórico e experimental da pressão ao longo do tubo de transporte. A queda mais acentuada da pressão, que deveria ter ocorrido na região de aceleração, não chegou a acontecer devido ao efeito da presença do ejeter.

As demais figuras trazem resultados obtidos apenas na simulação. A Figura 4.26 mostra o perfil da velocidade de fluido

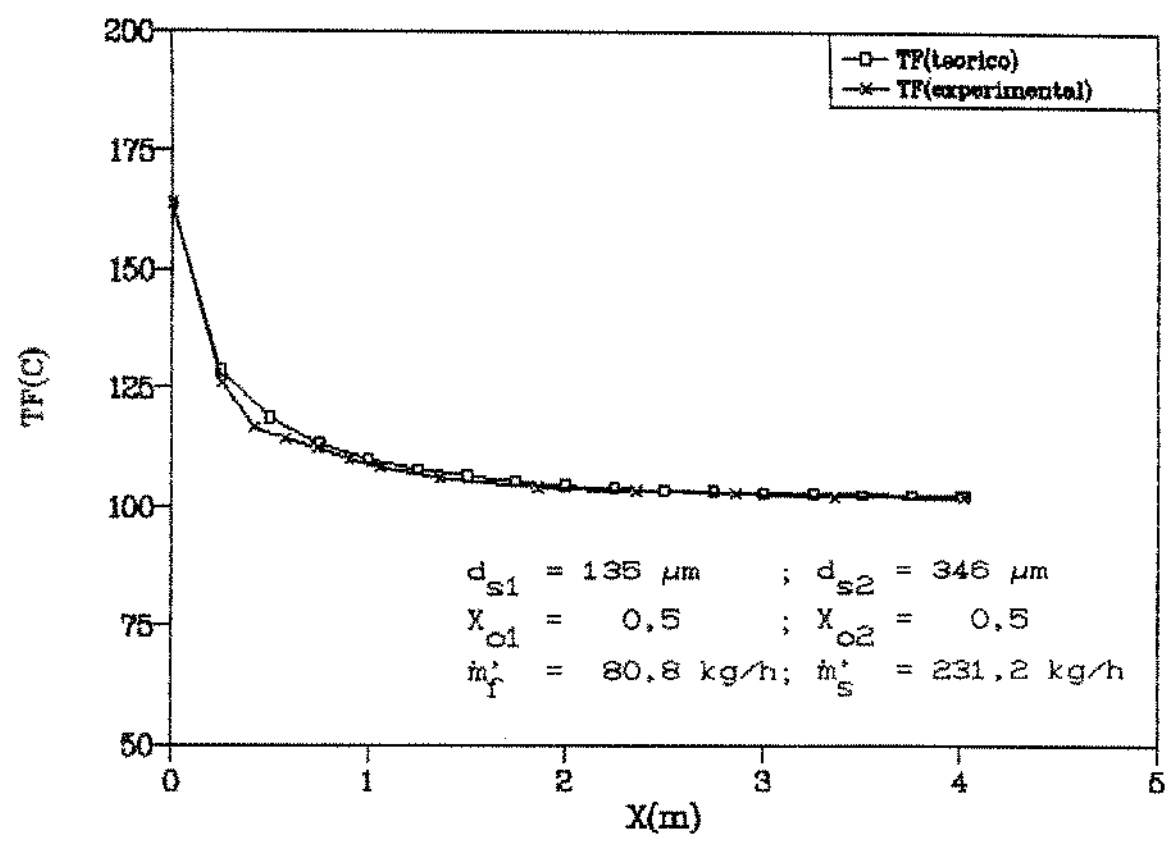


FIG. 4.23. TEMP. FLUIDO x COMPRIMENTO
Comparativo. No. Teste: 23

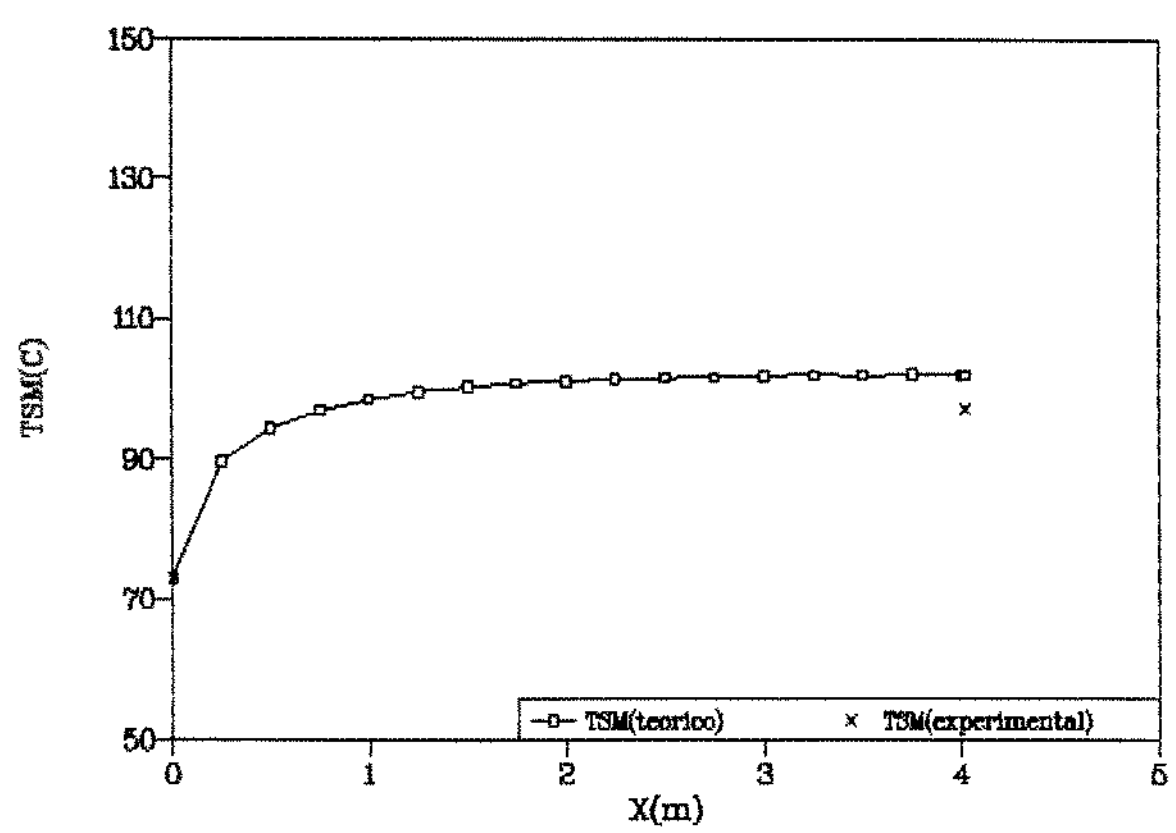


FIG. 4.24. TEMP. SOLIDOS x COMPRIMENTO
Comparativo. No. Teste: 23

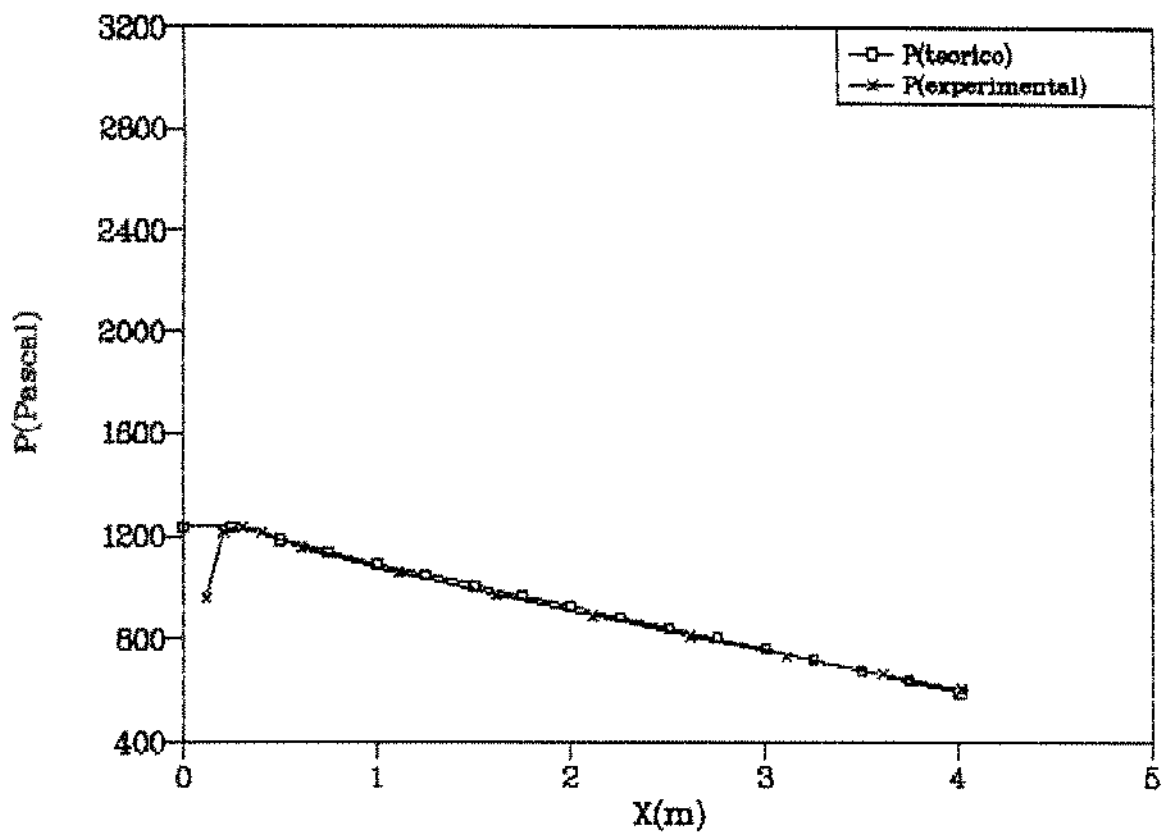


FIG. 4.25. PRESSAO MAN. FLUIDO x COMPRIMENTO
Comparativo. No. Teste: 23

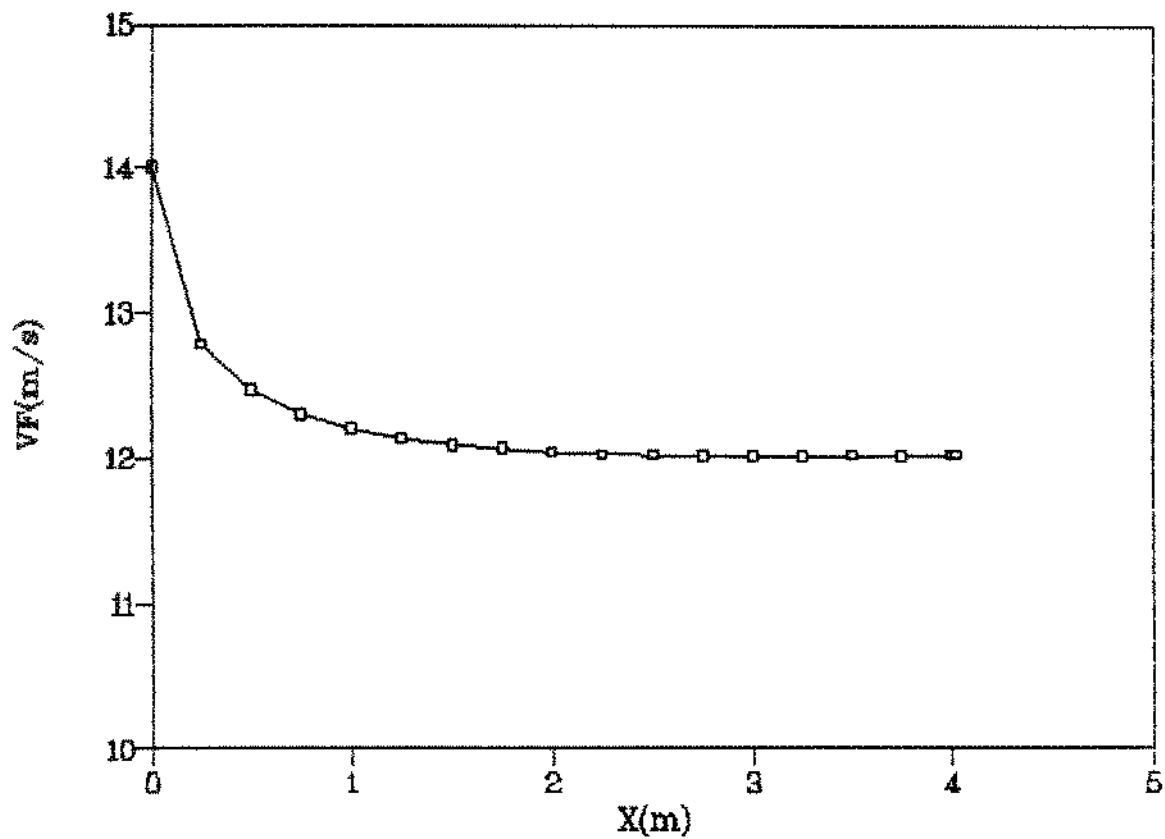


FIG. 4.26. VEL. FLUIDO x COMPRIMENTO
No. Teste: 23

v_f enquanto a Figura 4.27 mostra as velocidades das partículas sólidas de menor diâmetro v_{s1} e de maior diâmetro v_{s2} . Em ambas as figuras observa-se a variação acentuada das velocidades do fluido e das partículas na região de aceleração. As partículas menores atingem uma velocidade maior do que as maiores. Após a zona de aceleração as velocidades do fluido e das partículas praticamente não se alteram. Um exame mais detalhado dos resultados, no entanto, mostra que, em alguns testes pode ocorrer um pequeno aumento de v_f , no trecho final do tubo, acompanhado de uma redução de v_{s1} e v_{s2} , devido à variações da massa específica do fluido ρ_f .

A Figura 4.28 compara a velocidade do fluido com as das partículas sólidas, permitindo observar que a velocidade de escorregamento é elevada na zona de aceleração, concorrendo para a melhor troca de calor neste trecho.

A Figura 4.29 mostra a razão Y_1/Y_{o1} para as partículas menores. Esta razão é uma medida do grau de segregação destas partículas ao longo do tubo de transporte. A figura mostra uma queda da razão na região da entrada de sólidos, devido à maior velocidade das partículas menores relativamente às maiores neste trecho. O grau de segregação diminui ao longo do tubo de transporte devido à redução da diferença de velocidade entre as partículas 1 e 2.

A Figura 4.30 mostra o perfil de temperatura do fluido ao longo do tubo de transporte. A Figura 4.31 apresenta os perfis de temperatura das partículas sólidas de menor diâmetro t_{s1} e de maior diâmetro t_{s2} , bem como a temperatura do fluido ao longo do tubo de transporte. A Figura 4.32 detalha a distribuição de temperatura das partículas sólidas. As partículas menores se

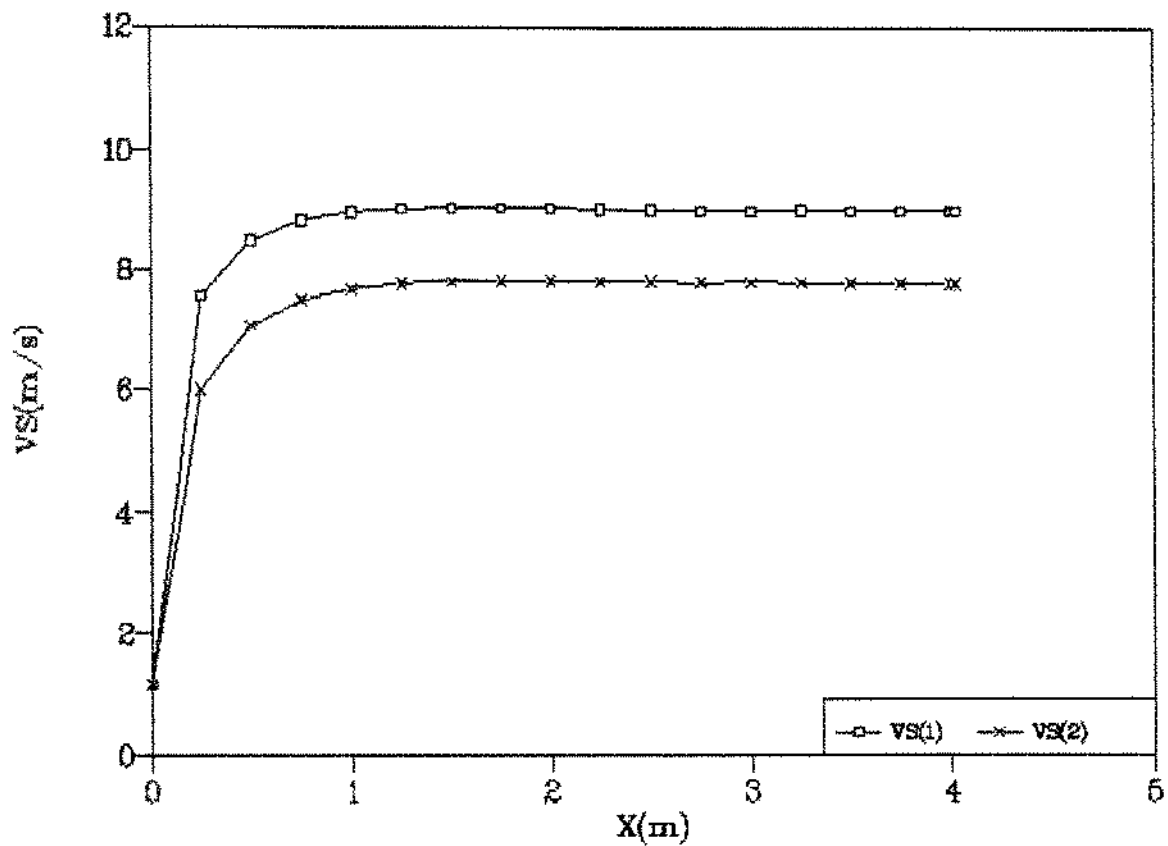


FIG. 4.27. VEL. SOLIDOS x COMPRIMENTO
No. Teste: 23

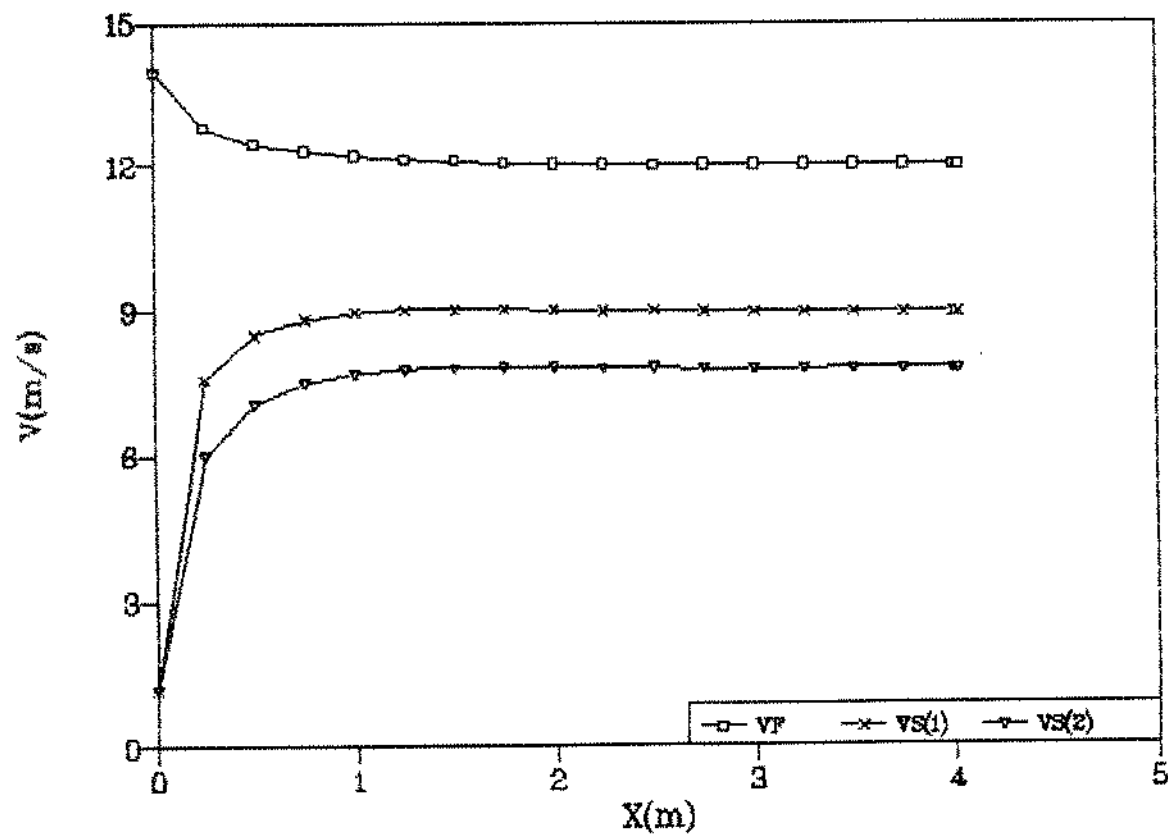


FIG. 4.28. VEL. x COMPRIMENTO
No. Teste: 23

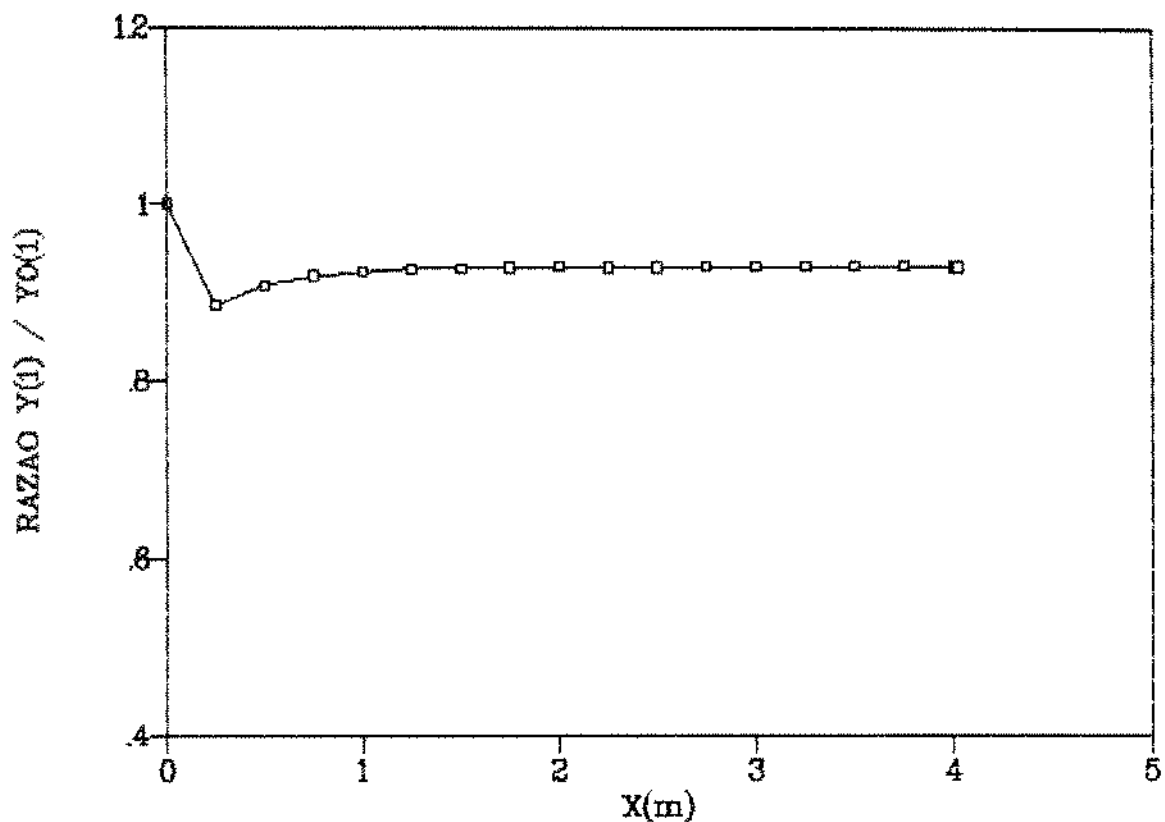


FIG. 4.29. RAZAO $Y(1) / Y0(1)$ x COMPRIMENTO
No. Teste: 23

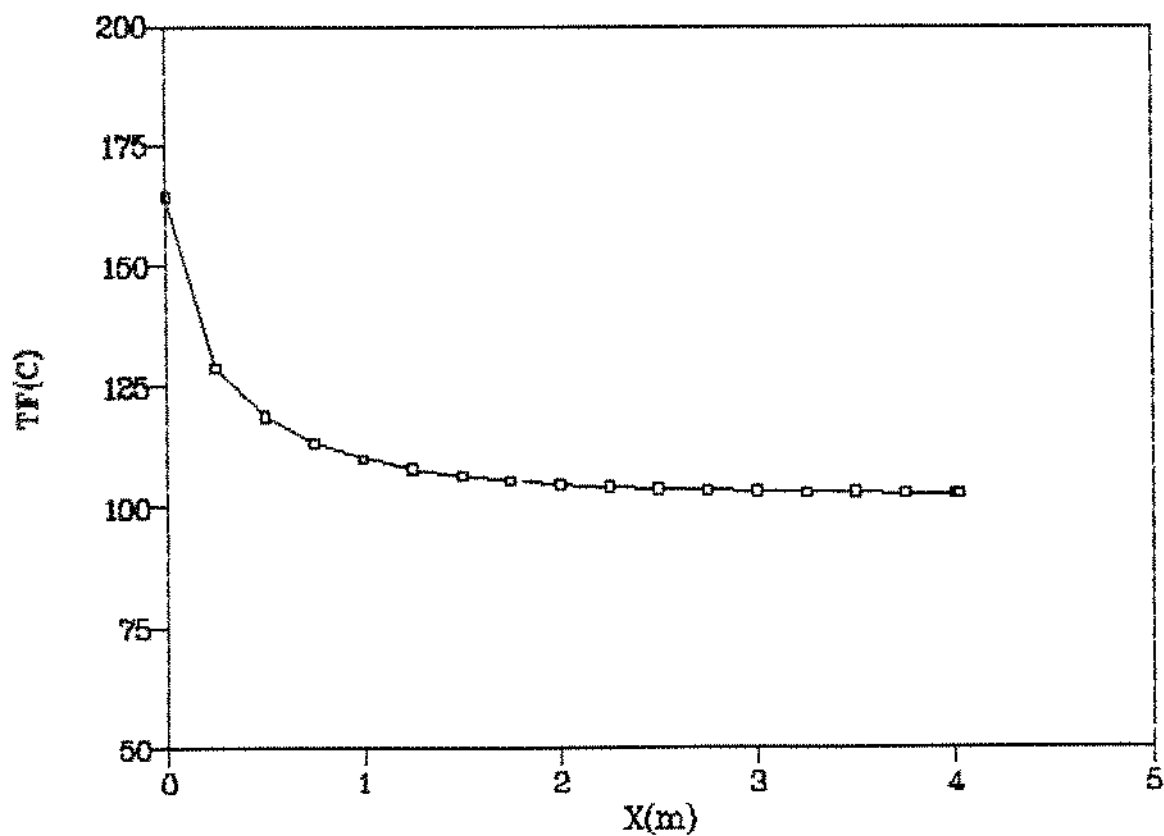


FIG. 4.30. TEMP. FLUIDO x COMPRIMENTO
No. Teste: 23

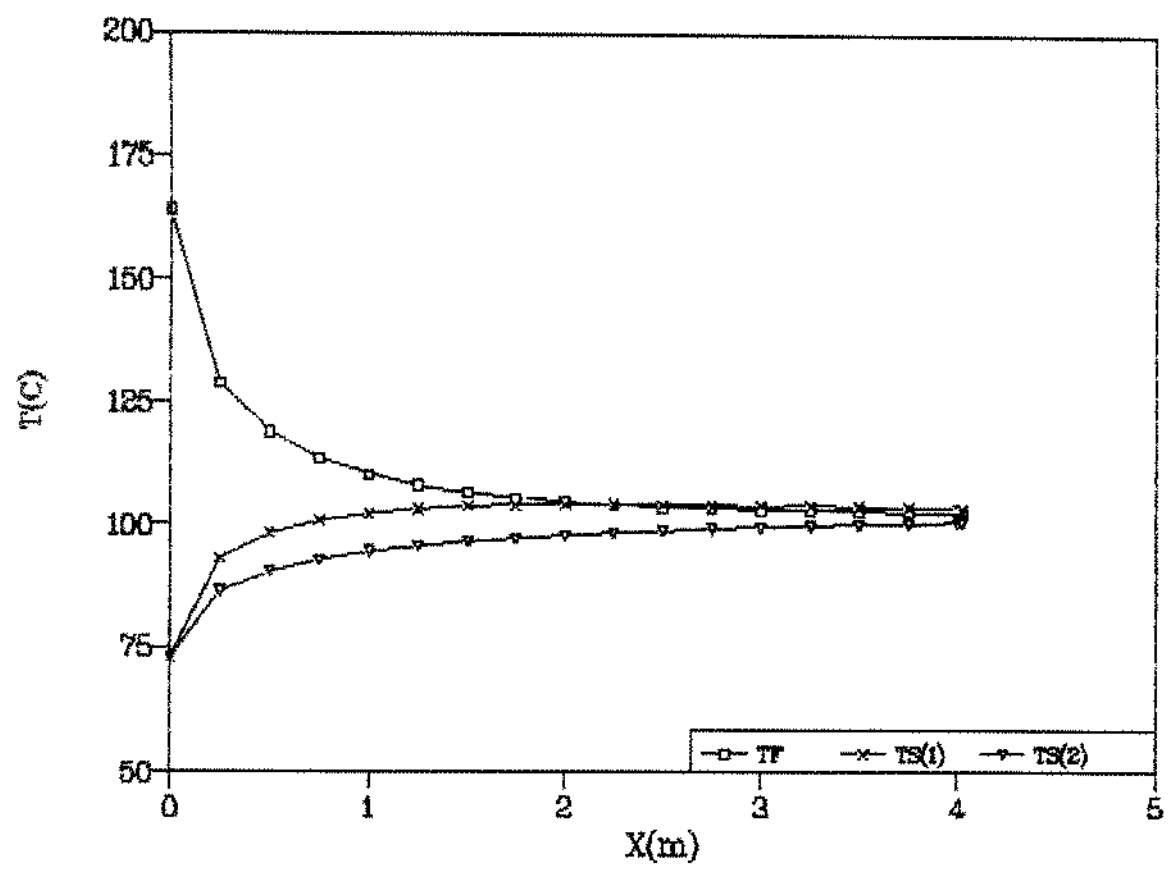


FIG. 4.31. TEMP. x COMPRIMENTO
No. Teste: 23

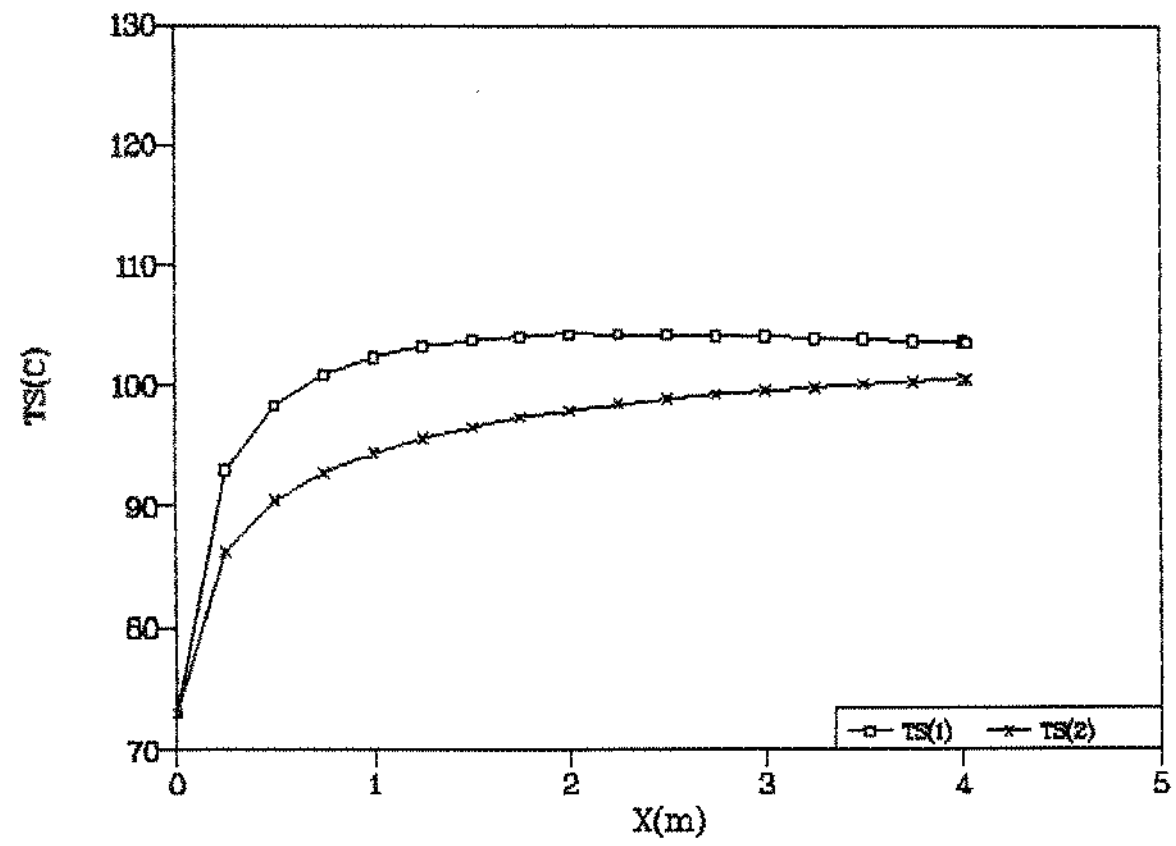


FIG. 4.32. TEMP. SOLIDOS x COMPRIMENTO
No. Teste: 23

aquecem mais rápido, basicamente por possuírem uma maior área de transferência de calor por unidade do volume do tubo. Elas atingem no teste em consideração, a temperatura do fluido, que continua cedendo calor para as partículas maiores. Este processo causa a redução da temperatura do fluido a valores inferiores ao das partículas menores, que passam a se resfriar ao ceder calor para o fluido.

b) Comparação dos Modelos I, II e III

Para efeito de análise e comparação dos modelos, considerou-se os testes 25, 33, 36 e 38, cujas características permitem avaliar o efeito de mistura e do choque.

As Figuras 4.33, 4.34 e 4.35 mostram a comparação dos valores de t_f , t_{sm} e p , respectivamente, do teste 25 para os três modelos, bem como os dados experimentais correspondentes. Como se pode observar, não há diferença significativa entre os resultados fornecidos pelos modelos, que aproximam bem os dados experimentais.

As Figuras 4.36 a 4.38, 4.39 a 4.41 e 4.42 a 4.44 correspondem aos testes 33, 36 e 38, respectivamente, e confirmam a observação anterior. Com base nos dados experimentais obtidos não é possível verificar diferenças significativas entre os modelos. Os resultados completos fornecidos pela simulação, incluindo as velocidades, as temperaturas e as concentrações volumétricas das partículas sólidas individualizadas, são de difícil medida experimental. Seu conhecimento, no entanto, é de grande interesse na compreensão e simulação de processos que envolvem reações químicas, e justificam o maior detalhamento dos modelos propostos, de maneira a analisar a necessidade de levar em

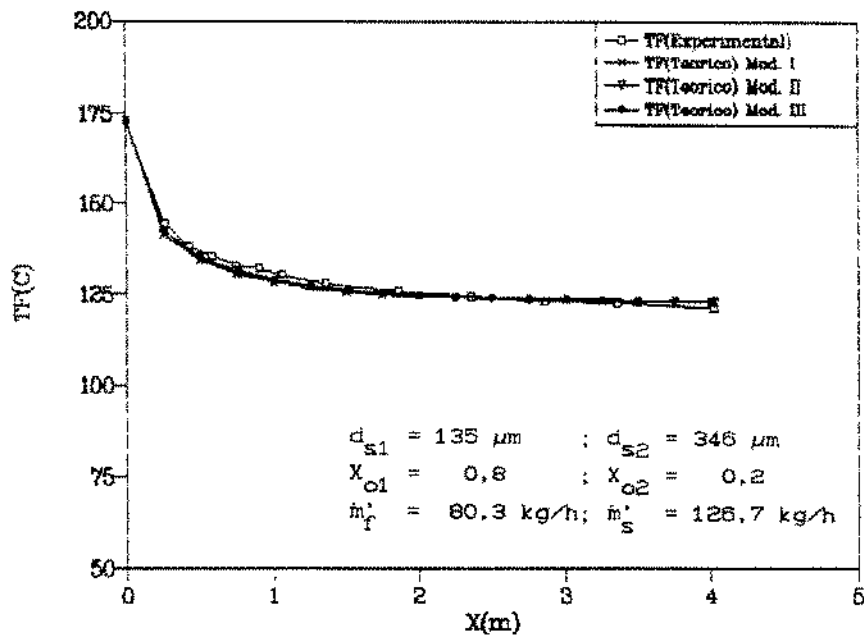


FIG. 4.33. TEMP. FLUIDO x COMPRIMENTO
Comparativo - Val. Exp. e Mod. I, II e III. No. Teste: 25

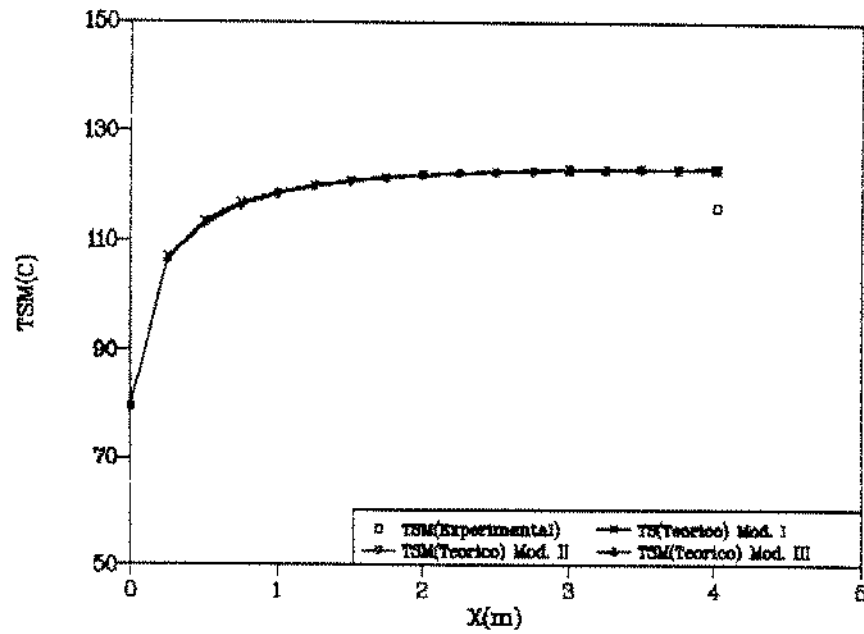


FIG. 4.34. TEMP. SOLIDOS x COMPRIMENTO
Comparativo - Val. Exp. e Mod. I, II e III. No. Teste: 25

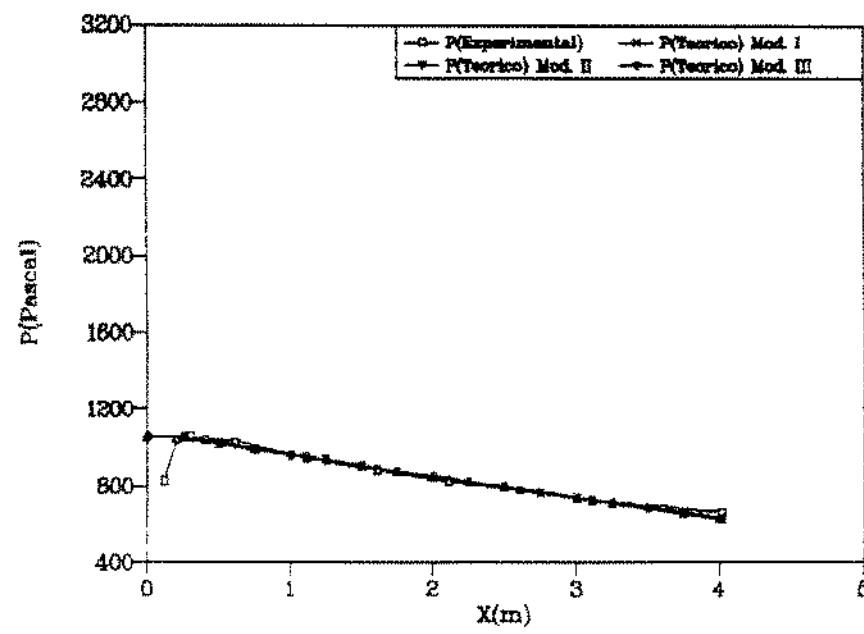


FIG. 4.35. PRESSAO MAN. FLUIDO x COMPRIMENTO
Comparativo - Val. Exp. e Mod. I, II e III. No. Teste: 25

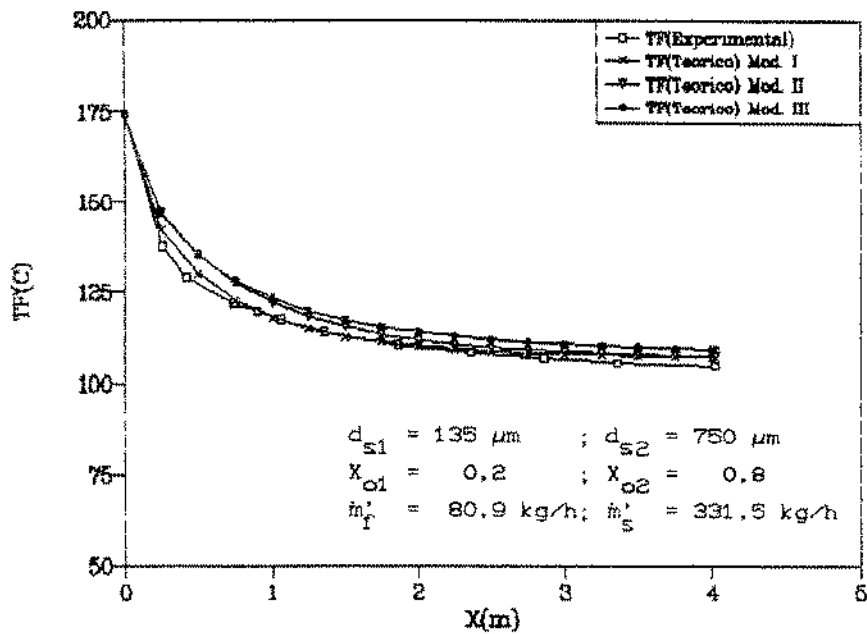


FIG. 4.36. TEMP. FLUIDO x COMPRIMENTO
Comparativo - Val. Exp. e Mod. I, II e III. No. Teste: 33

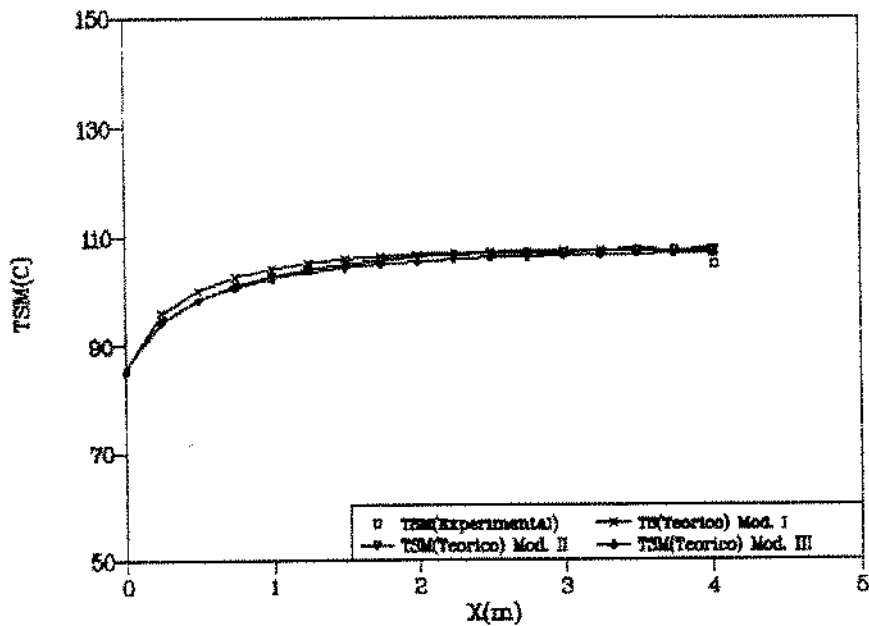


FIG. 4.37. TEMP. SOLIDOS x COMPRIMENTO
Comparativo - Val. Exp. e Mod. I, II e III. No. Teste: 33

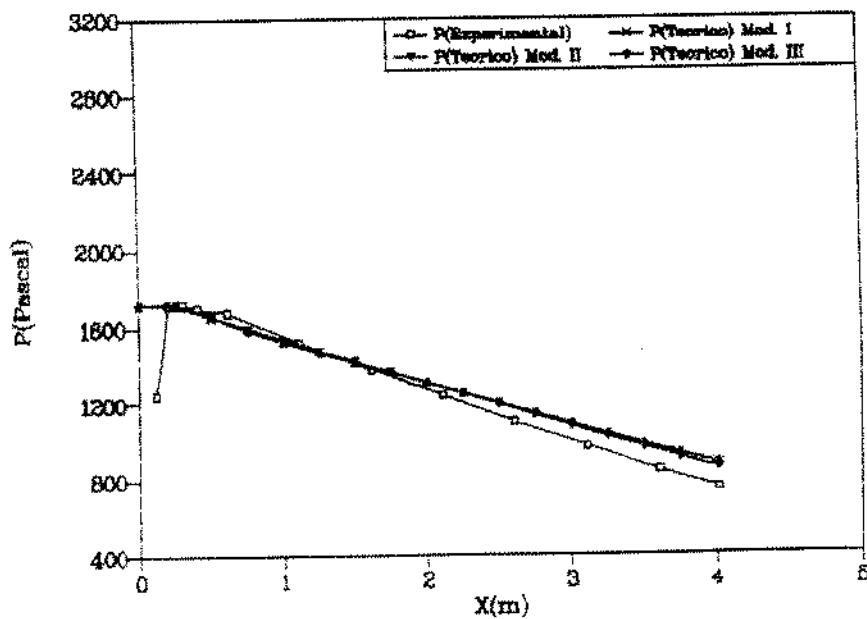


FIG. 4.38. PRESSAO MAN. FLUIDO x COMPRIMENTO
Comparativo - Val. Exp. e Mod. I, II e III. No. Teste: 33

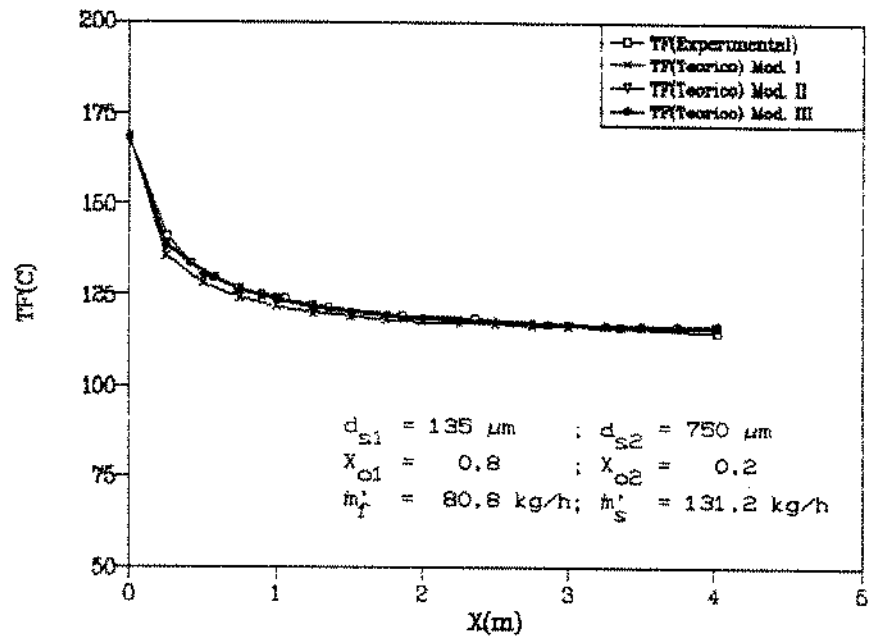


FIG. 4.39. TEMP. FLUIDO x COMPRIMENTO
Comparativo - Val. Exp. e Mod. I, II e III No. Teste: 36

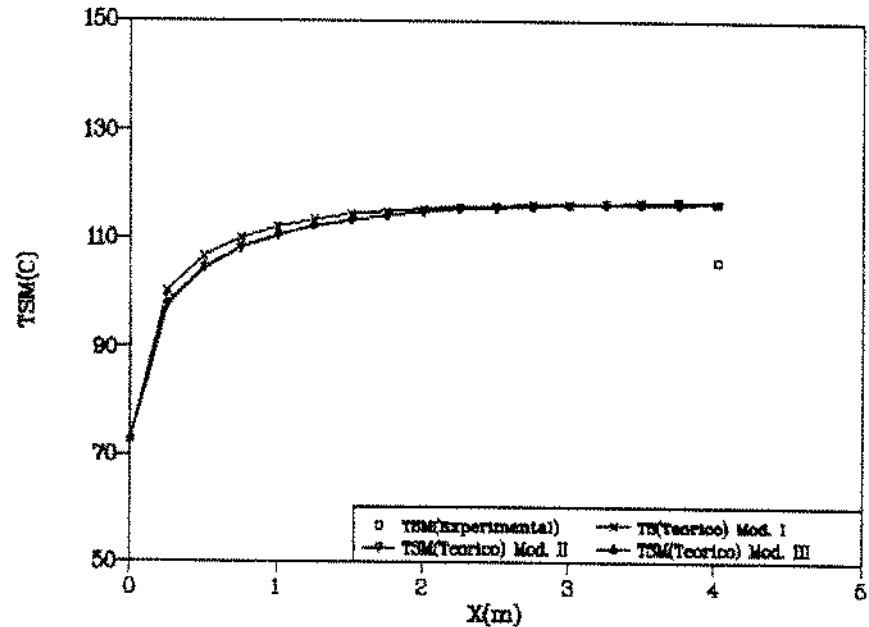


FIG. 4.40. TEMP. SOLIDOS x COMPRIMENTO
Comparativo - Val. Exp. e Mod. I, II e III No. Teste: 36

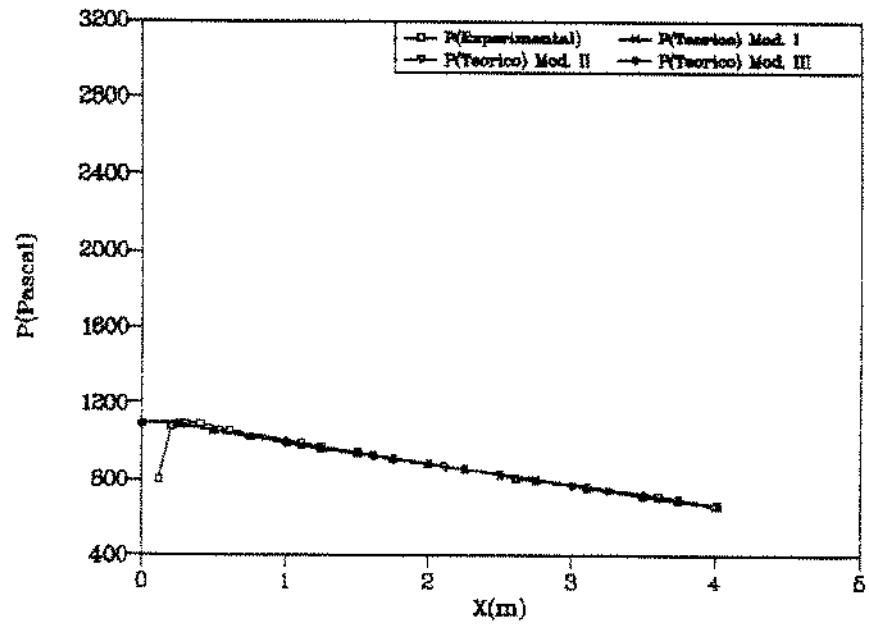


FIG. 4.41. PRESSAO MAN. FLUIDO x COMPRIMENTO
Comparativo - Val. Exp. e Mod. I, II e III No. Teste: 36

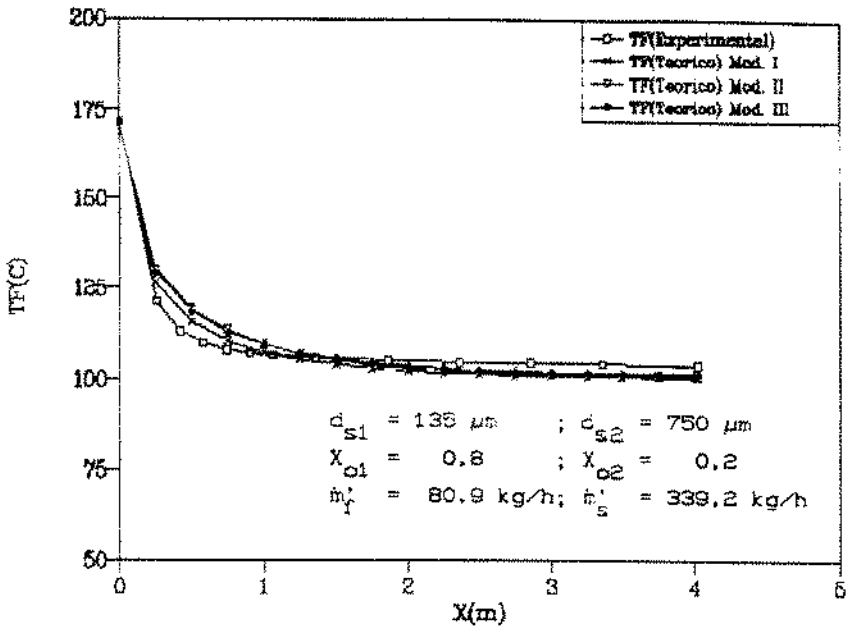


FIG. 4.42. TEMP. FLUIDO x COMPRIMENTO
Comparativo - Val. Exp. e Mod. I, II e III No. Teste: 38

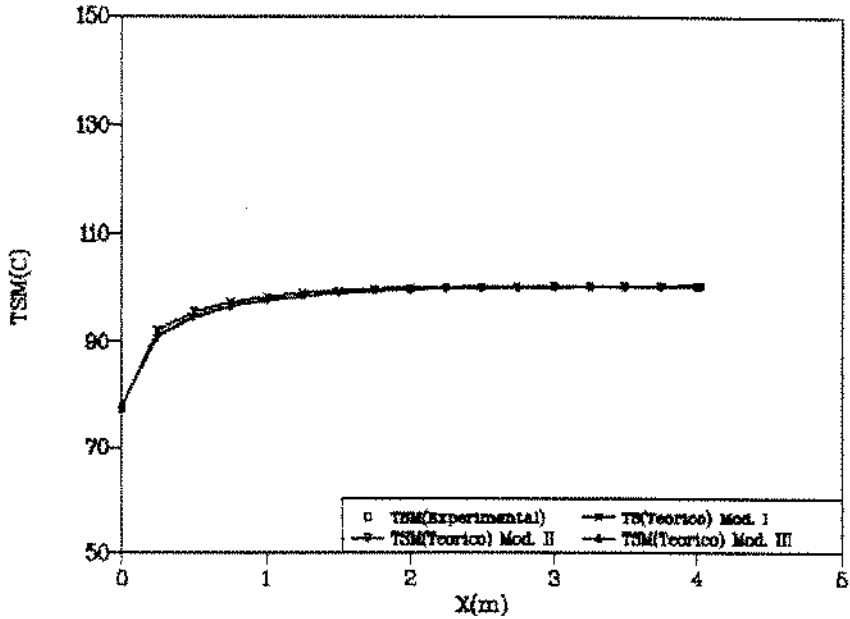


FIG. 4.43. TEMP. SOLIDOS x COMPRIMENTO
Comparativo - Val. Exp. e Mod. I, II e III No. Teste: 38

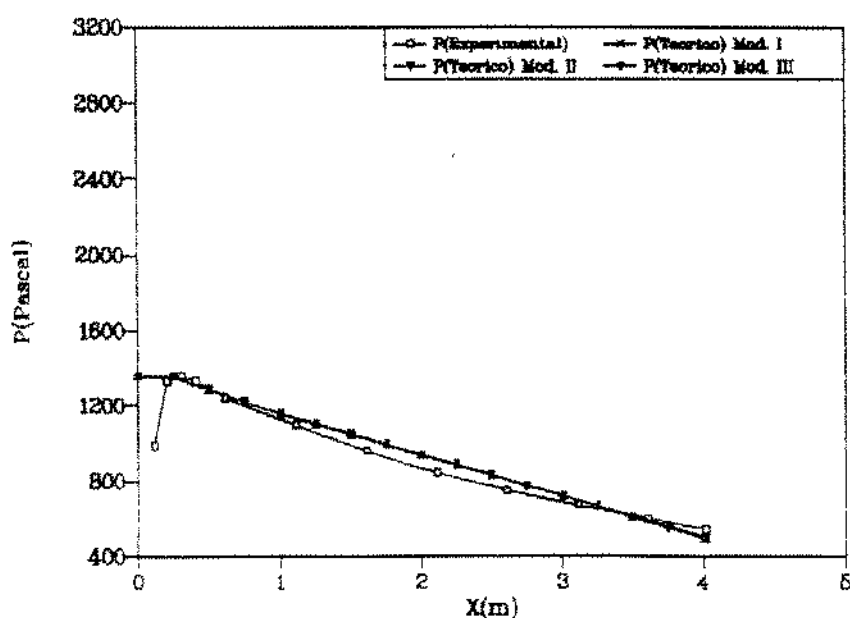


FIG. 4.44. PRESSAO MAN. FLUIDO x COMPRIMENTO
Comparativo - Val. Exp. e Mod. I, II e III No. Teste: 38

conta todos os fenômenos que se imaginam envolvidos, com o maior grau de complexidade decorrente.

As curvas de v_{s1} e v_{s2} , correspondentes aos testes 25 e 36, são mostradas nas Figuras 4.45 e 4.46, e permitem analisar o efeito da variação do diâmetro da maior partícula, que passa de 346 a 750 μm , mantidas constantes as demais variáveis.

Como se pode observar na Figura 4.45, as velocidades previstas para a menor partícula são menores no modelo III do que as previstas pelo modelo II, devido à transferência de quantidade de movimento no choque. Com relação à maior partícula ocorre o fenômeno inverso. A velocidade calculada pelo modelo I, correspondente a uma partícula de diâmetro médio sem choque, se situa neste, e nos demais testes, entre as velocidades $v_{s1}(\text{II})$, e $v_{s2}(\text{II})$, previstas pelo modelo II. As mesmas observações são válidas para o teste 36, como se pode observar na Figura 4.46.

A comparação das figuras 4.45 e 4.46 mostra que o aumento de d_{s2} causa um menor aumento de $v_{s2}(\text{III})$. A redução de $v_{s1}(\text{III})$ ao longo do tubo de transporte é maior no segundo caso, mas a diferença entre os dois casos é pouco significativa, devido à grande concentração inicial das partículas menores.

Para avaliar o efeito da concentração volumétrica das partículas menores foi feita a comparação dos testes 38 e 33, onde X_{o1} passa de 0,8 para 0,2. As curvas das velocidades das partículas sólidas estão nas Figuras 4.47 e 4.48. Quando se diminui a concentração das partículas pequenas, observa-se uma redução mais significativa da variação de sua velocidade ao longo do tubo de transporte. A simulação pelo modelo II não é sensível a este fenômeno.

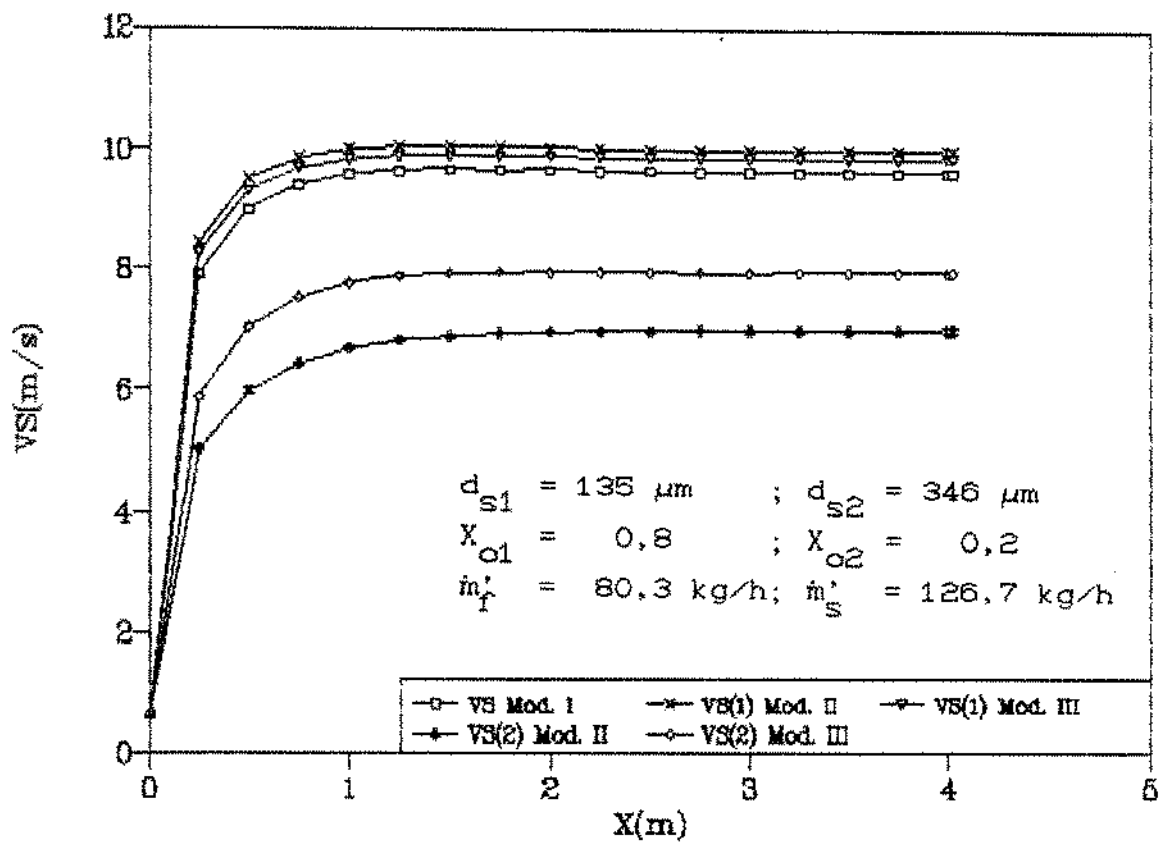


FIG. 4.45. VEL. SOLIDOS x COMPRIMENTO
Comparativo entre Modelos I, II e III. No. Teste: 25

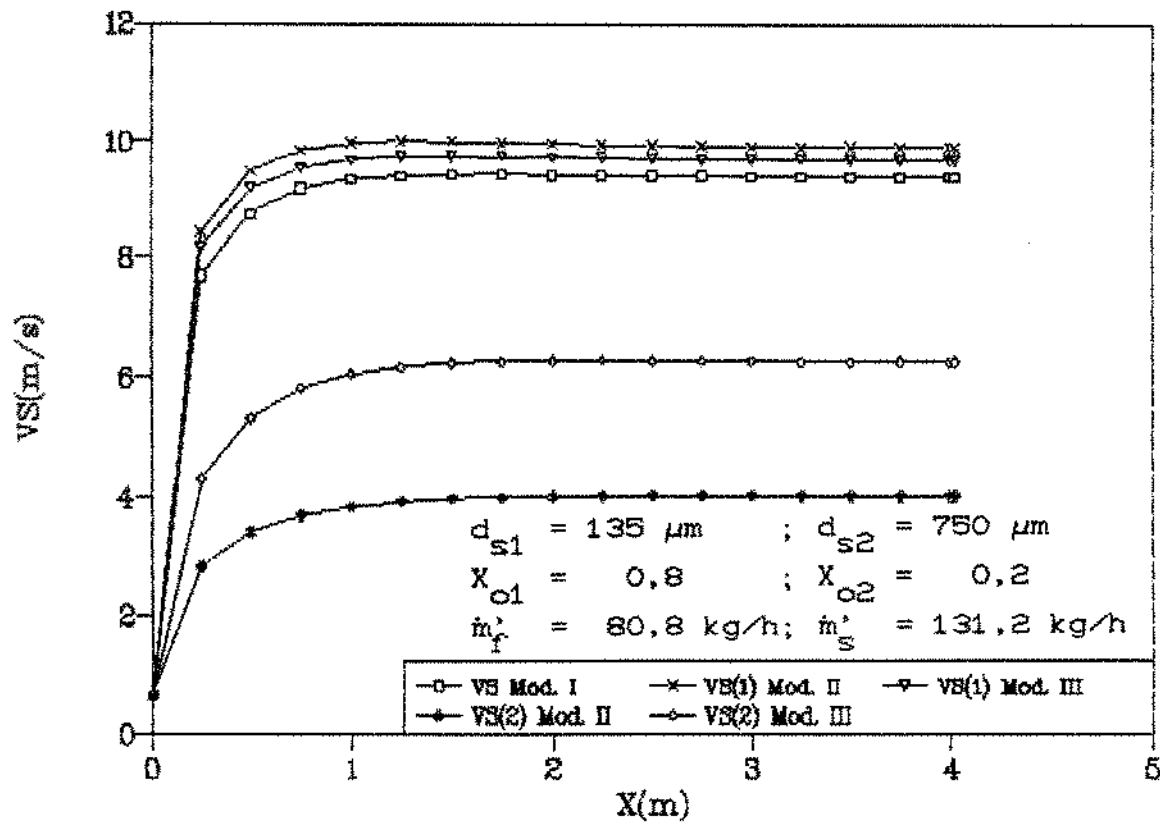


FIG. 4.46. VEL. SOLIDOS x COMPRIMENTO
Comparativo entre Modelos I, II e III. No. Teste: 36

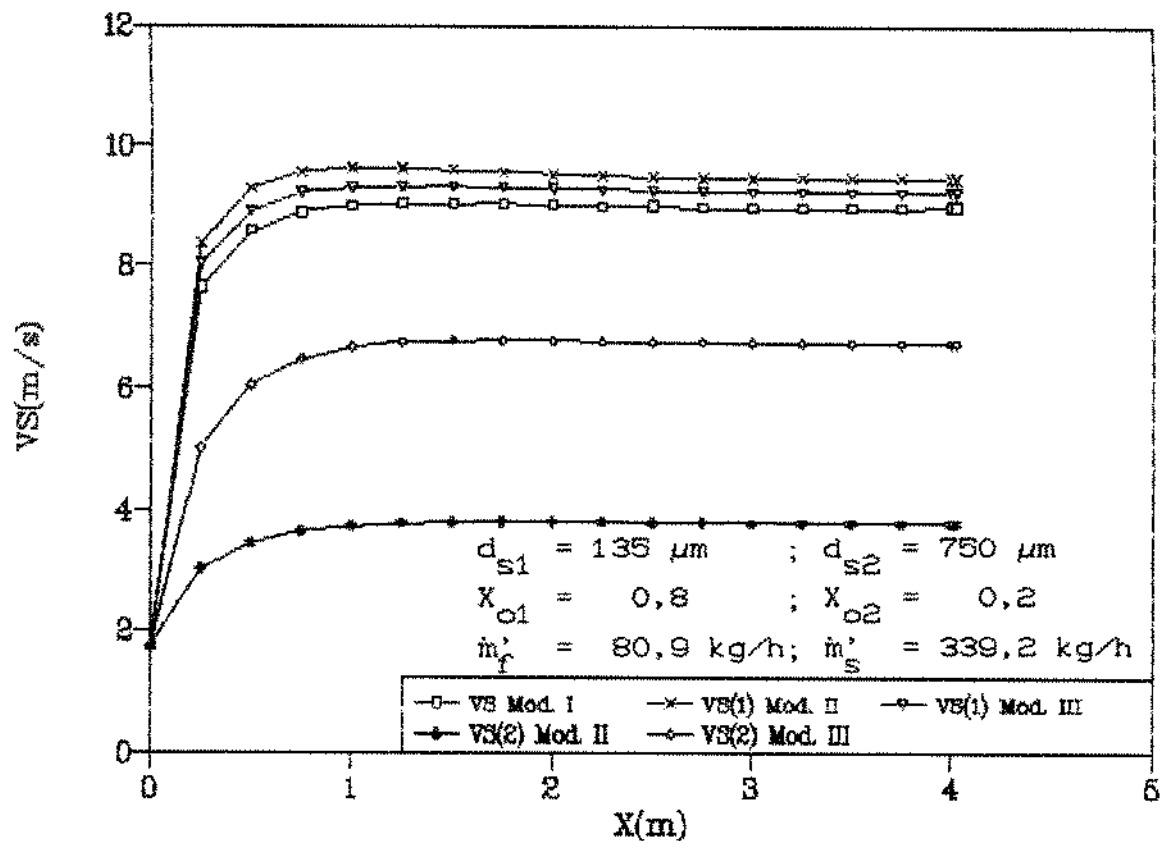


FIG. 4.47. VEL. SOLIDOS x COMPRIMENTO
Comparativo entre Modelos I, II e III. No. Teste: 38

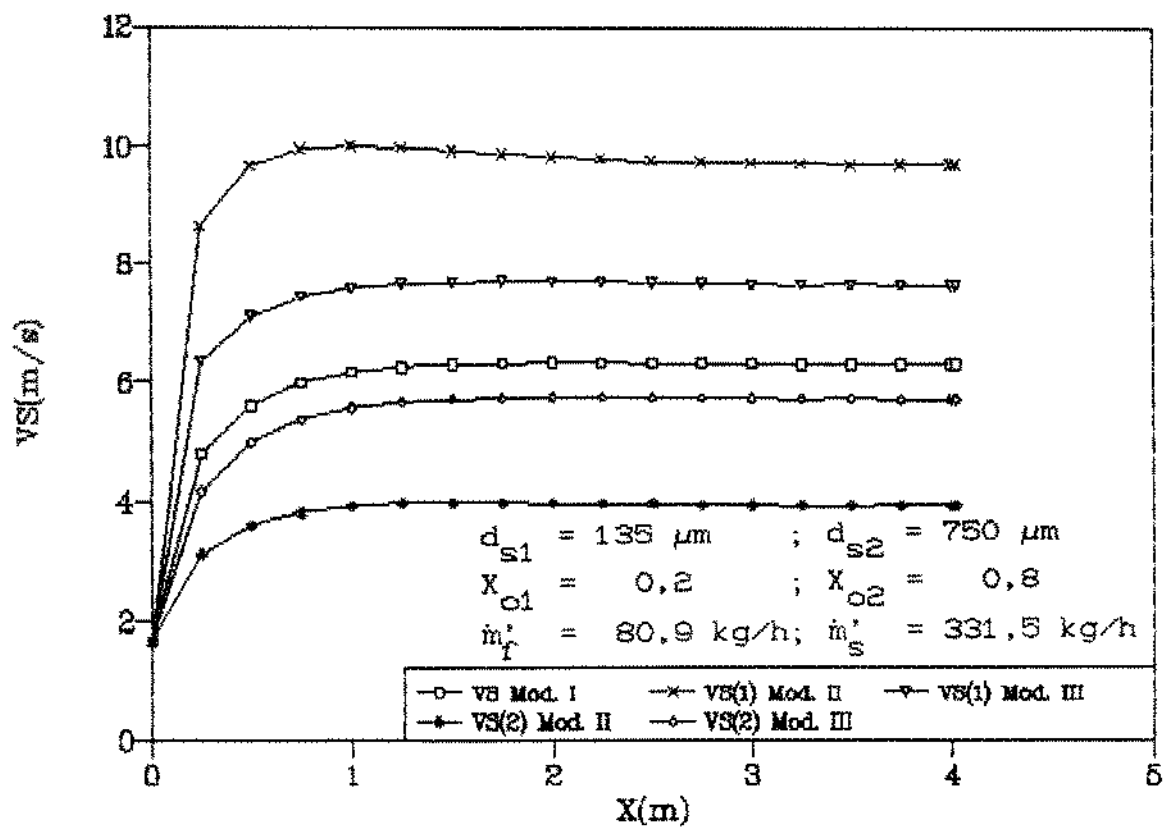


FIG. 4.48. VEL. SOLIDOS x COMPRIMENTO
Comparativo entre Modelos I, II e III. No. Teste: 33

A comparação dos testes 36 e 38 permite verificar que não há alteração significativa das velocidades quando se aumenta a descarga de sólidos, mantidos constantes as demais variáveis, conforme é possível observar nas Figuras 4.46 e 4.47.

As Figuras 4.49, 4.50, 4.51 e 4.52 apresentam a variação da relação Y_1/Y_{o1} ao longo do tubo de transporte para os testes 25, 33, 36 e 38, respectivamente. Em todos os casos o grau de segregação calculado pelo modelo III é menor do que o obtido pela aplicação do modelo II, pois este não leva em consideração os choques.

O aumento de d_{s2} , cujo efeito pode ser avaliado ao comparar as Figuras 4.49 e 4.51, causa um aumento da segregação, que é mais significativo no valor fornecido pelo modelo II.

A redução da concentração das partículas de menor diâmetro, cujo efeito pode ser observado pela comparação das Figuras 4.52 e 4.50, causa um aumento da segregação. Novamente este efeito é mais significativo no valor fornecido pelo modelo II.

Comparando as Figuras 4.51 e 4.52 se verifica que com o aumento da descarga de sólidos, mantidas constantes as demais variáveis, há uma queda do grau de segregação, não detectado pelo modelo II.

As Figuras 4.53, 4.54, 4.55 e 4.56 trazem as temperaturas dos sólidos ao longo do tubo de transporte para os testes 25, 33, 36 e 38, respectivamente. A temperatura das partículas maiores é menor do que a das partículas menores conforme a previsão do modelo III, o que nem sempre ocorre no modelo II. Dependendo das condições de processo, as temperaturas t_{s1} e t_{s2} podem convergir antes de deixar o tubo de transporte.

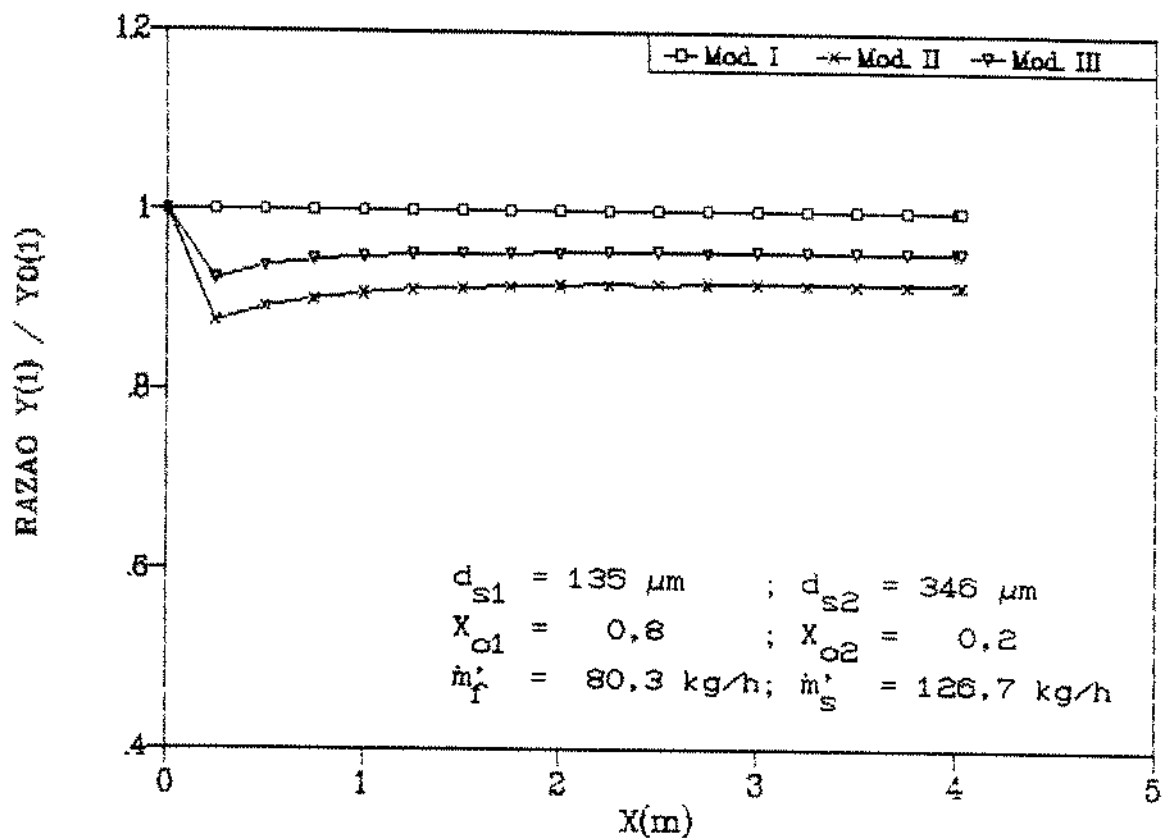


FIG. 4.49. RAZAO $Y(1) / Y_0(1)$ x COMPRIMENTO
Comparativo entre Modelos I, II e III. No. Teste: 25

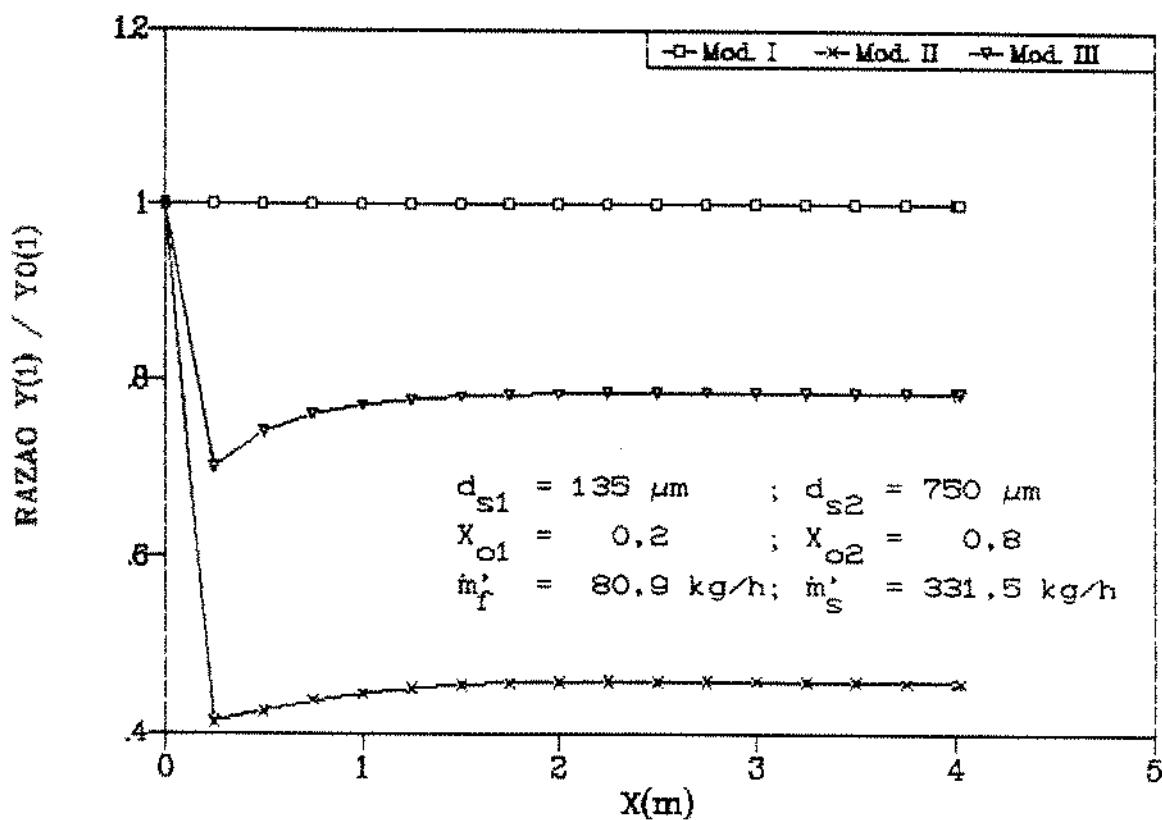


FIG. 4.50. RAZAO $Y(1) / Y_0(1)$ x COMPRIMENTO
Comparativo entre Modelos I, II e III. No. Teste: 33

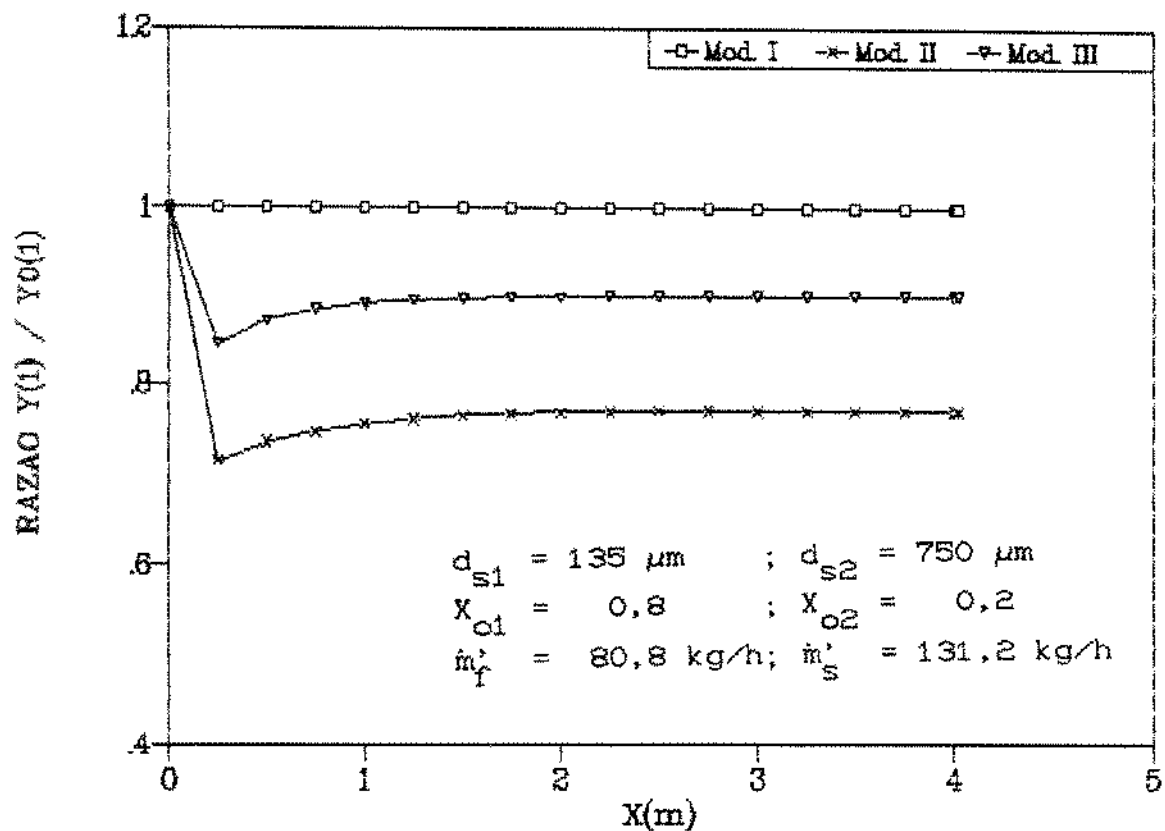


FIG. 4.51. RAZAO $Y(1) / Y_0(1)$ x COMPRIMENTO
Comparativo entre Modelos I, II e III. No. Teste: 36

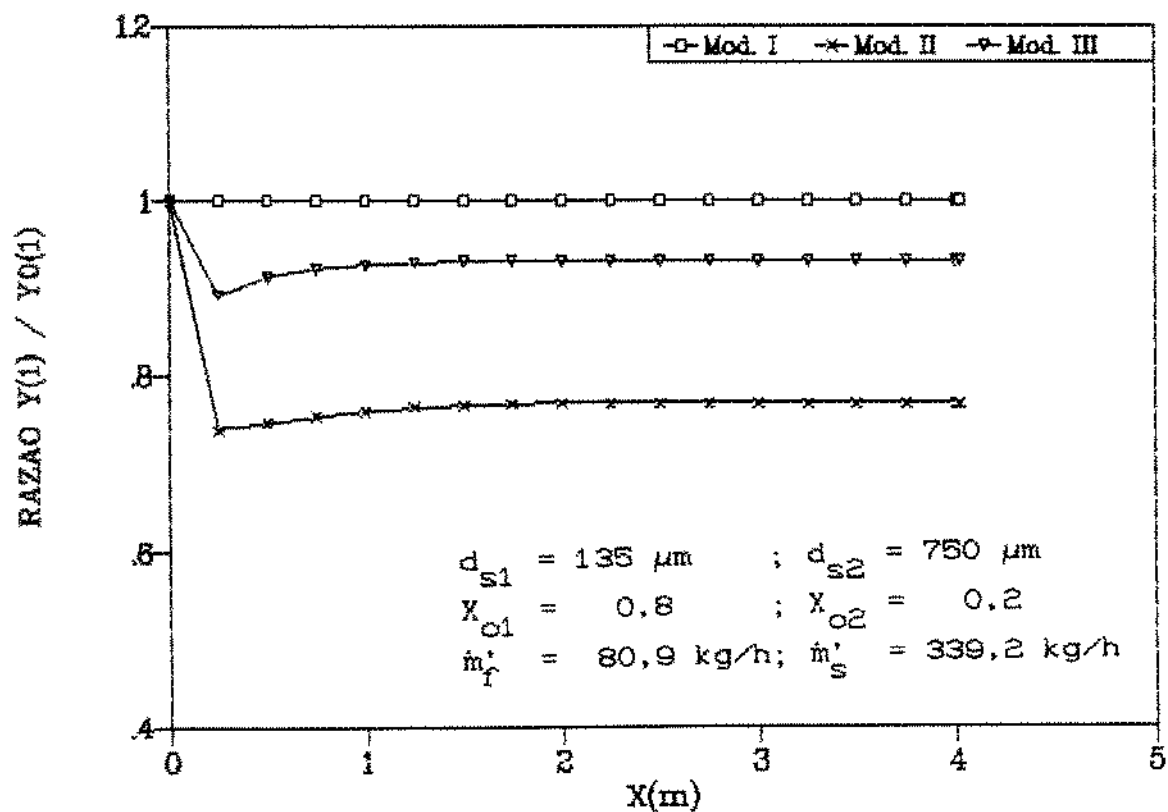


FIG. 4.52. RAZAO $Y(1) / Y_0(1)$ x COMPRIMENTO
Comparativo entre Modelos I, II e III. No. Teste: 38

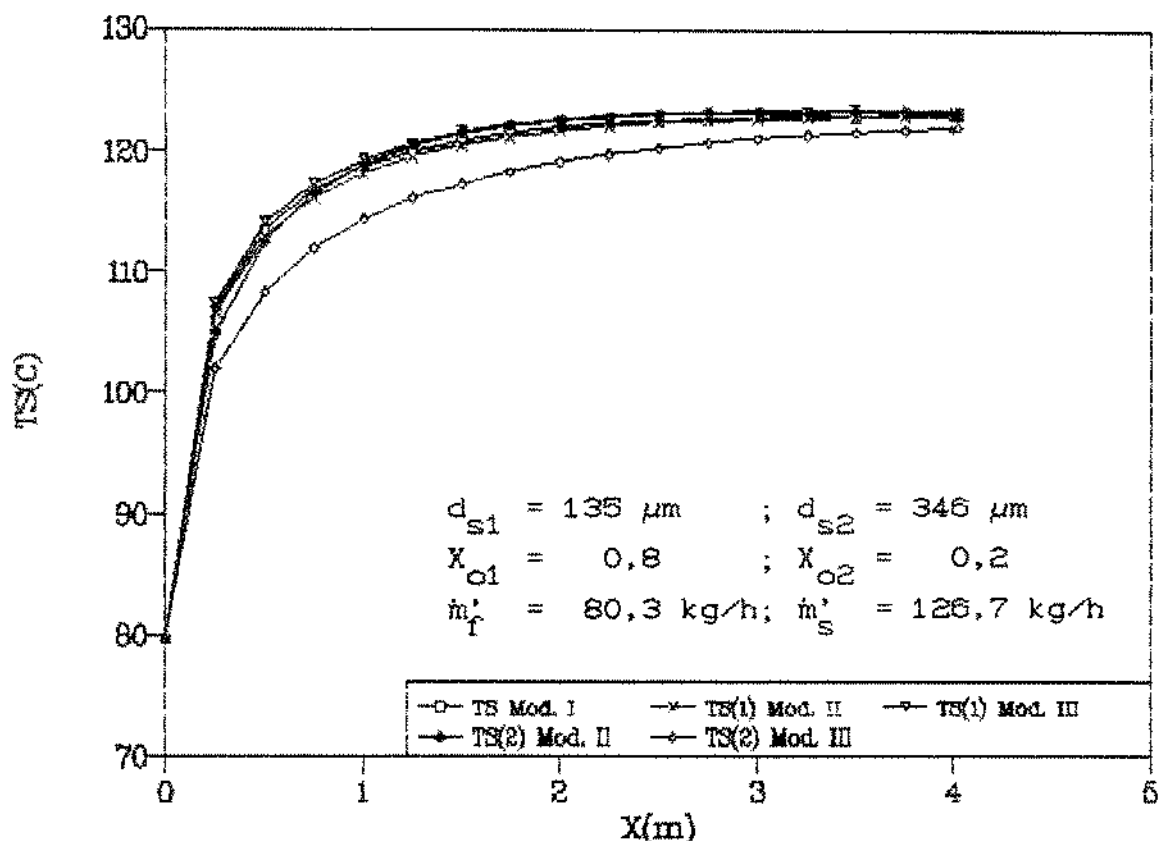


FIG. 4.53. TEMP. SOLIDOS x COMPRIMENTO
Comparativo entre Modelos I, II e III. No. Teste: 25

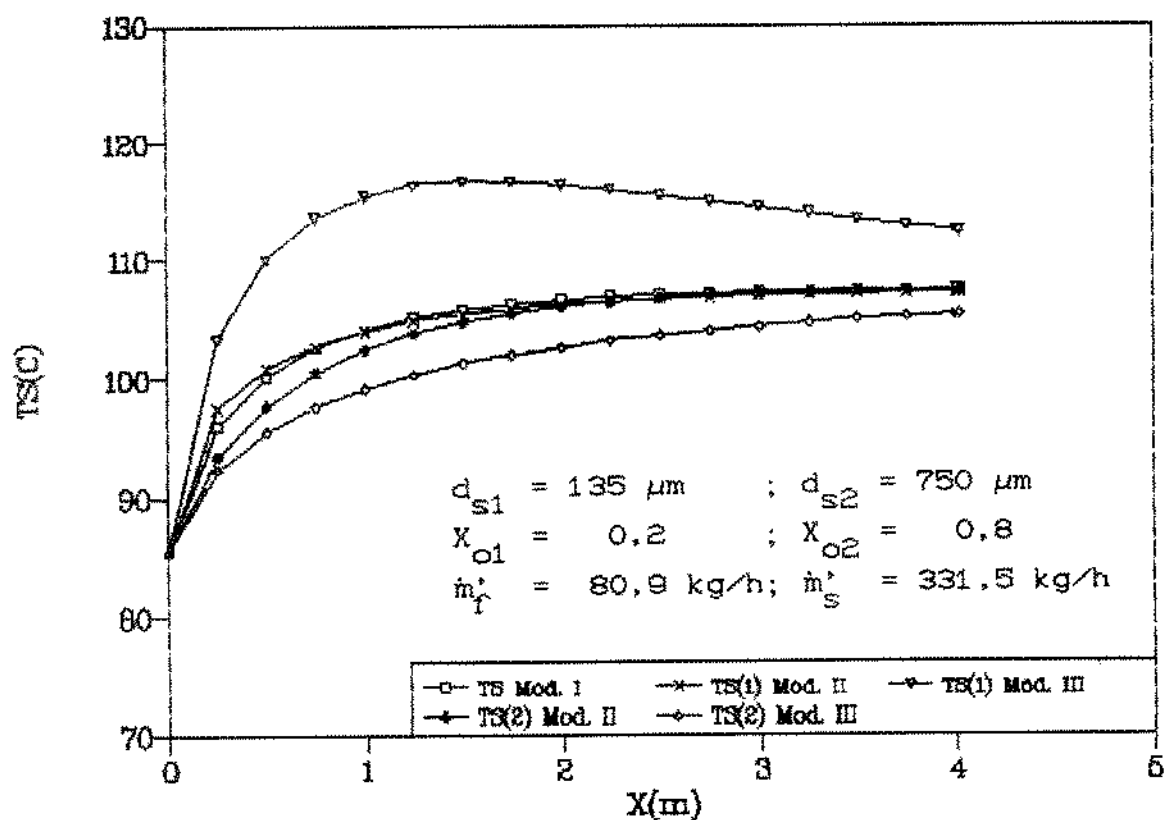


FIG. 4.54. TEMP. SOLIDOS x COMPRIMENTO
Comparativo entre Modelos I, II e III. No. Teste: 33

O aumento de d_{s2} , analisado pela comparação das Figuras 4.53 e 4.55, causa uma variação pequena na troca térmica das partículas 1 e 2 na avaliação dos modelos II e III.

O efeito da diminuição da concentração X_{o1} pode ser verificado pela comparação das Figuras 4.56 e 4.54. Há um aumento da variação das temperaturas $t_{s1}(\text{III})$ e $t_{s2}(\text{III})$, e uma menor diminuição de $t_f(\text{III})$. O calor transferido é menor, o que também é previsto pelo modelo II.

O aumento da descarga de sólidos m'_s é analisada pela comparação das Figuras 4.55 e 4.56, correspondentes aos testes 36 e 38, respectivamente. A temperatura das partículas sofre um aumento menor, e há um ganho no calor transferido. As variações das temperaturas ao longo do tubo de transporte são maiores na avaliação do modelo II, conforme foi mencionado anteriormente.

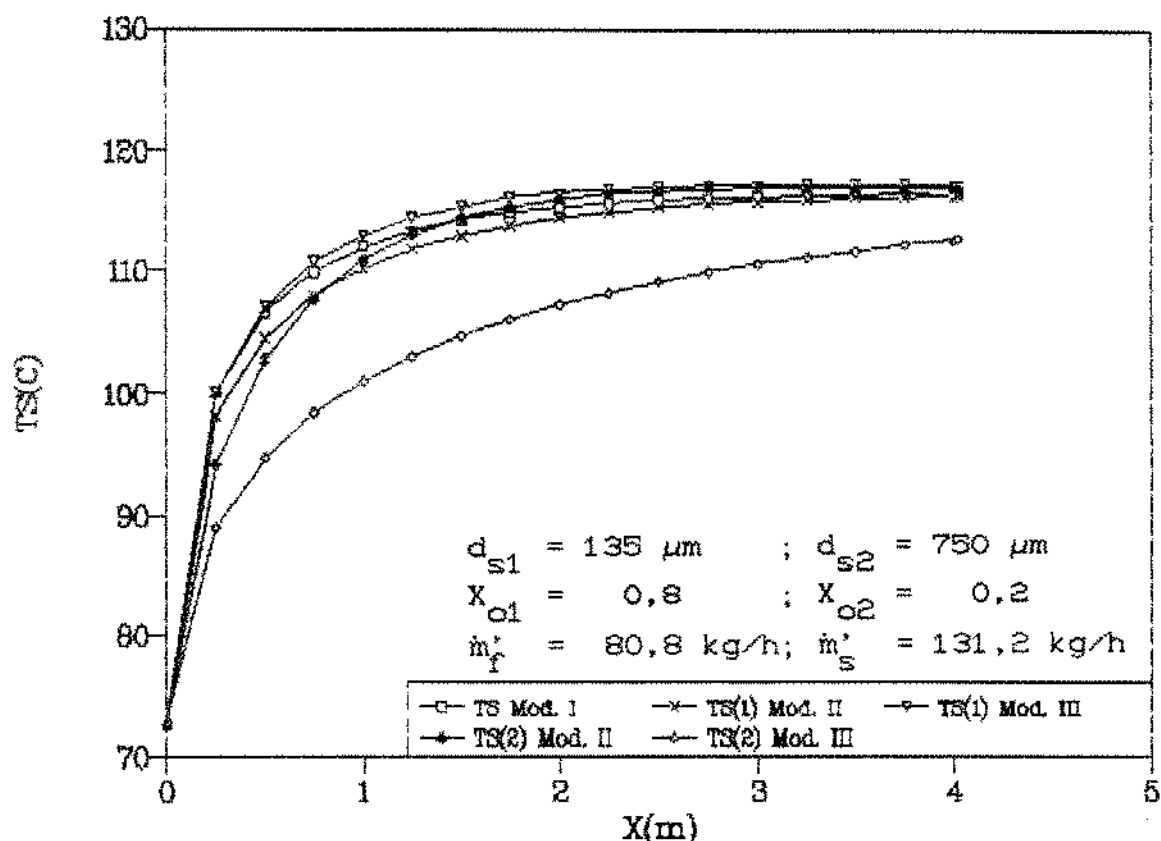


FIG. 4.55. TEMP. SOLIDOS x COMPRIMENTO
Comparativo entre Modelos I, II e III. No. Teste: 36

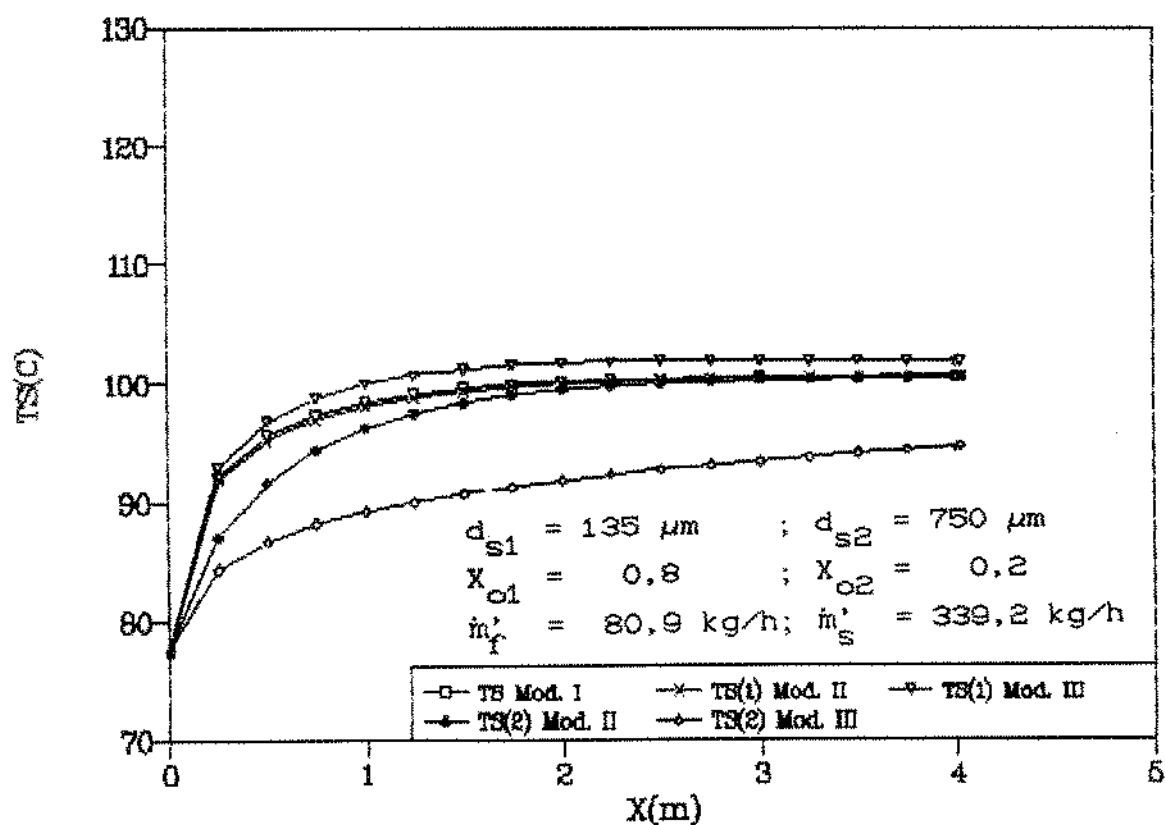


FIG. 4.56. TEMP. SOLIDOS x COMPRIMENTO
Comparativo entre Modelos I, II e III. No. Teste: 38

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. CONCLUSÕES

O presente trabalho contém o estudo teórico e experimental da fluidodinâmica e da troca térmica gás-sólidos no transporte pneumático vertical ascendente de partículas sólidas de tamanho uniforme e de misturas binárias, levando em conta o choque entre as partículas de diferentes diâmetros.

A Unidade Piloto, projetada e construída para a execução dos testes, mostrou-se adequada para a obtenção dos dados experimentais de fluidodinâmica e troca térmica, ao longo do tubo de transporte, com destaque para o número de pontos de medida de pressão e temperatura na região de escoamento acelerado, que permitiram uma informação mais detalhada da mesma.

Os dados experimentais obtidos mostraram que na região de escoamento acelerado, a troca de calor entre o gás e as partículas sólidas foi mais acentuada do que na região de escoamento estabelecido, devido aos grandes gradientes de velocidade e de temperatura do fluido e dos sólidos, e da concentração volumétrica dos sólidos. Em razão disso, estabeleceu-se a necessidade de levar em conta a região de aceleração no modelo de simulação.

Foram obtidos os coeficientes de transferência de calor gás-sólidos no transporte de partículas de tamanho uniforme, que foram utilizados nas simulações desenvolvidas para o escoamento de suspensões gasosas contendo partículas sólidas de diâmetro uniforme, bem como para misturas binárias. A correlação obtida para o coeficiente de transferência de calor gás-sólidos foi comparada

com as expressões de outros autores, mostrando valores ligeiramente superiores devido ao fato de que na sua obtenção foi levado em conta a região de escoamento acelerado.

DISCUSSÃO DOS MODELOS DE SIMULAÇÃO DOS FENÔMENOS

- Escoamento com partículas do tamanho uniforme

- . Analisando experimentalmente os perfis de pressão e temperatura do fluido e as temperaturas inicial e final do sólido, no tubo de transporte, e comparou-se os resultados com os valores teóricos obtidos através do modelo para determinação do número de Nusselt. Verificou-se que o modelo representa relativamente bem o fenômeno estudado.

- Escoamento com mistura binária de partículas sólidas

Neste caso foram utilizados três modelos, denominados modelos I, II e III.

- . O modelo I considerou a mistura binária de partículas como um sistema equivalente de partículas de tamanho uniforme, de diâmetro igual ao diâmetro médio de Sauter da mistura, e ignorou a segregação de partículas que ocorre no tubo de transporte.
- . O modelo II levou em consideração a mistura de partículas, mas admitiu não haver interação entre elas. A tendência de segregação calculada com este modelo foi maior do que a observada experimentalmente. O modelo III, assim como o II, considerou mistura de partículas, e também o choque entre elas, isto é, a força que as partículas menores e mais velozes transferiram para as maiores durante o choque, fazendo com que o efeito de segregação não fosse tão pronunciado como no modelo II.

Os modelos de simulação para partículas sólidas de diâmetros uniformes e misturas binárias, foram formulados a partir das equações fundamentais que representam os fenômenos físicos envolvidos, e consideraram as regiões de escoamento acelerado e estabelecido.

Comparando os dados experimentais dos perfis de temperatura e pressão do fluido e as temperatura de entrada e saída do sólido no tubo de transporte, com os valores fornecidos pelos três modelos, verificou-se não haver diferença significativa entre eles. No entanto, para compreensão e simulação dos processos que envolvem reações químicas com mistura de partículas sólidas é necessário um modelo que leve em conta todos os fenômenos que se imaginam envolvidos, com o maior grau de complexidade decorrente. Nestes casos o modelo III é o mais indicado, pois além de considerar o choque entre as partículas, ele fornece as velocidades, temperaturas e concentrações volumétricas das partículas sólidas individualizadas.

5.2. RECOMENDAÇÕES

- Otimizar o sistema de alimentação de sólidos, com utilização de alimentador tipo rosca sem fim, pois este deve permitir um melhor controle da descarga de sólidos;
- Desenvolver método de medida da temperatura dos sólidos ao longo do tubo de transporte;
- Pesquisar meios para separação de partículas, de diferentes diâmetros, no topo do tubo de transporte, de forma a permitir a determinação das temperaturas das diversas faixas granulométricas;

- Estudar a fluidodinâmica e a transferência de calor gás-sólidos, no transporte pneumático vertical, considerando a mistura com mais do que duas partículas de diâmetros diferentes, levando em consideração os choques entre elas;
- Medir experimentalmente a segregação das partículas no tubo de transporte, e
- Simular o efeito do ejetor.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- . ARASTOPOUR, H., GIDASPOW, D., "Vertical Pneumatic Conveying Using Four Hidrodynamic Models", Ind. Eng. Chem. Fundam., Vol. 18, no. 2, pp. 123-130, 1979.
- . ARASTOPOUR, H., GIDASPOW, D., "Analysis of IGT Pneumatic Conveying Data and Fast Fluidization Using a Thermo-hydrodynamic Model", Powder Technology, 22, pp. 77-87, 1979.
- . BANDROWSKI, J., KACZMARZYK, G., "Gas-to-Particle Heat Transfer in Vertical Pneumatic Conveying of Granular Materials", Chemical Enginnering Science. Vol. 33, no. 10, pp. 1303-1310, 1978.
- . CAPES, C.E., NAKAMURA, K., "Vertical Pneumatic Conveying: An Experimental Study With Particles in the Intermediate and Turbulent Flow Regimes", the Canadian Journal of Chemical Engineering, vol. 15, pp. 31-38, february, 1973.
- . CARNAHAN, B., LUTHER, H.A., WILKES, J.O., " Aplied Numerical Methods", John Wiley & Sons, Inc., pp. 361-380, 1969.
- . CHUKHANOV, Z.F., "Heat and Mass Transfer Between Gas and Granular Material - Part II", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 13, pp. 1805-1817, 1970.
- . CHUKHANOV, Z.F., "Heat and Mass Transfer Between Gas and Granular Material - Part III", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 14, pp. 337-351, 1971.
- . CRANE, Co., "Flow of Fluids Through Valves, Fittings and Pipe", 1976.
- . FURNAS, C.C., "Heat Transfer from a Gas Stream to a Bed of Broken Solids - II", Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 22, no. 7, pp. 721-729, July, 1930.
- . HAIR, A.R., SMITH, K.L., "The Behaviour of Mixed Size Particles in Pneumatic Conveying", Mechanical & Chemical Engineering Transactions, pp. 19-23, May, 1972.
- . JESUS, J.M., "Transferência de Calor Gás-Sólido no Transporte Pneumático", Tese de Mestrado em Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos, 1987.
- . KACZMARZYK, G., BANDROWSKI, J., "Gas-Solid Heat Transfer Coefficient in Vertical Pneumatic Transport", International Chemical Engineering, Vol. 20, no. 1, pp. 98-109, January, 1980.
- . KMIEC, A., LESCHONSKI, K., "Acceleration of Solid Phase During Pneumatic Conveying in Vertical Pipes", Chemical Engineering Journal, = 1984.

- . LEUNG, L.S., WILES, R.J., NICKLIN, D.J., "Correlation for Predicting Choking Flowrates in Vertical Pneumatic Conveying", Ind. Eng. Chem., Process Des. Develop., Vol. 10, no. 2, pp. 183-189, 1971.
- . LEUNG, L.S., WILES, R.J., "A Quantitative Design Procedure for Vertical Pneumatic Conveying Systems", Ind. Eng. Chem., Process. Des. Dev., Vol. 15, no. 4, pp. 552-557, 1976.
- . LUIKOV, A.V., "Heat and Mass Transfer in Capillary - Porous Bodies", Pergamon Press, 1986, Citado em ROCHA, S.C.S., "contribuição ao estudo da secagem pneumática vertical: simulação e influência do coeficiente de transferência de calor gás-partícula", tese de Doutorado em Engenharia Química, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1988.
- . MUSCHELKNAUTZ, E., "Theoretische und experimentelle Untersuchungen über die Druckverluste pneumatischer Förderleitungen unter besonderer Berücksichtigung des Einflusses von Gutreibung und Gutgewicht", V.D.I. - Forschungsheft, 476, 32p. 1959. (in German).
- . NAKAMURA, K., CAPESE, C.E., "Relationship Between Particle Hold-up and Velocities of Gas and Particles in a Vertical Pneumatic Conveying Line", J. Res. Assoc. Powder. Tech., vol. 10, no. 9. 1973a (in Japanese).
- . NAKAMURA, K., CAPESE, C.E., "Vertical Pneumatic Conveying: A Theoretical Study of Uniform and Annular Particle Flow Models", The Canadian Journal of Chemical Engineering, vol. 51, pp. 39-46, February, 1973b.
- . NAKAMURA, K., CAPESE, C.E., "Vertical Pneumatic Conveying of Binary Particle Mixtures", Fluidization Technology, Vol. II, Editor Dale L. Keairns, Copyright By Hemisphere Publishing Corporation, pp. 159-184, 1976.
- . PLANOVSKIJ, A.N., MUSHTAYEV, V.I., ULYANOV, V.N., "Sushka Dispersnykh Materialov Khimicheskoi Promyshlennosti", Khimia, Moscow, 1979, Citado em ROCHA, S.C.S., "Contribuição ao Estudo da Secagem Pneumática Vertical: Simulação e Influência do Coeficiente de Transferência de Calor Gás-Partícula", Tese de Doutorado em Engenharia Química, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1988.
- . SARTORI, D.J.M., "Transferência de Calor em Leito Deslizante", Tese de Doutorado em Engenharia Química, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Maio de 1986.
- . SILVA, M.G.C., "Dinâmica do Transporte Pneumático Vertical de Partículas", Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Química, FEC, UNICAMP, Campinas, Junho de 1984.

- . SERGHIDES, T.K., "Estimate Friction fator Accurately", Chemical Engineering, pp. 63-64, March 5, 1984.
- . SPINK, L.K., "Principles and Practice of Flow Meter Engineering", Ninth Edition, the Foxbor Company, Foxbor, Massachusetts, USA, 1967.
- . STRUMILLO, C., "Podstawy Teorii e Techniki Suszenia", WTN, Warszawa, 1975, Citado em ROCHA, S.C.S., "Contribuição ao Estudo da Secagem Pneumática Vertical: Simulação e Influência do Coeficiente de Transferência de Calor Gás-Partícula", Tese de Doutorado em Engenharia Química, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1988.
- . VALENTIN, L.M.T., "Transferência de Calor no Transporte Vertical de Partículas", Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Química, FEC, UNICAMP, Campinas, Abril de 1986.
- . VOGT, E.G., WHITE, R.R., "Friction in the Flow of Suspensions", Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 40, No.9, pp. 1731-1738, September, 1948.
- . WHITAKER, S., "Forced Convection Heat Transfer Correlations for Flow in Pipes, Past Flat Plats, Single Cylinders, Single Spheres, and for Flow in Packed Beds and Tube Bundles", A.I.Ch.E. Journal Vol.2, no.2, pp. 361-371, March, 1972.
- . YANG, W.C., "Estimating the Solid Particle Velocity in Vertical Pneumatic Conveying Lines", Ind. Eng. Chem. Fundam., Vol. 12, no.3, pp. 349-352, 1973.
- . YANG, W.C., "Correlations for solid Friction Factors in Vertical and Horizontal Pneumatic Conveyings", A.I.Ch.E., Journal, Vol. 20, no.3, pp. 605-607, May, 1974.
- . YANG, W.C., "A Mathematical Definition of Choking Phenomenon and a Mathematical Model for Predicting Choking Velocity and Choking Voidage", A.I.Ch.E. Journal, vol. 21, no. 5, pp. 1013-1015, September, 1975.
- . YANG, W.C., "A Correlation for Solid Friction Factor in Vertical Pneumatic Conveying Lines", A.I.Ch.E. Journal, Vol. 24, No. 3, pp. 548-552, May, 1978a.
- . YANG, W.C., "Study on Segregattion Modelling of Particles in Dilute Phase Vertical Pneumatic Transport Lines", Fourth International Conference on the Pneumatic Transport of Solids in Pipes, June 26-28, Paper B2, pp. 21-31, 1978b.
- . ZENS, F.A., OTHMER, D.F., "Fluidization and Fluid-Particle Systems", Reinhold Chemical Engineering Series, New York, pp. 315-350, 1960.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL
DA TESE DEFENDIDA POR LUÍZ CARLOS
CASAVECHA E APROVADA PELA
COMISSÃO JULGADORA EM 28 / 10 / 1993
Leonardo Spaldstein Jr
ORIENTADOR

ESTUDO DA FLUIDODINÂMICA E DA TROCA
TÉRMICA GAS-SÓLIDOS NO TRANSPORTE
PNEUMÁTICO VERTICAL ASCENDENTE DE
MISTURAS DE PARTÍCULAS SÓLIDAS.

VOLUME II - ANEXOS DA TESE

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

FACULDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECANICA
DETF - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA TERMICA E DE FLUIDOS

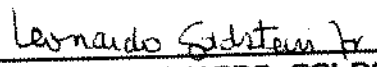
TESE DE: MESTRADO

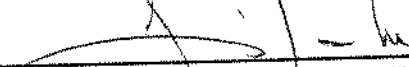
TITULO DA TESE: ESTUDO DA FLUIDODINAMICA E DA TROCA
TERMICA GAS-SOLIDOS NO TRANSPORTE
PNEUMATICO VERTICAL ASCENDENTE DE
MISTURAS DE PARTICULAS SOLIDAS.

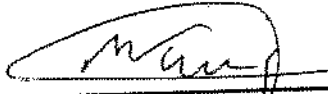
AUTOR: LUIZ CARLOS CASAVECHIA

ORIENTADOR: LEONARDO GOLDSTEIN JR.

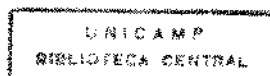
APROVADO POR:


PROF. DR. LEONARDO GOLDSTEIN JR., Presidente


PROF. DR. SILVIA AZUCENA NEBRA DE PEREZ


PROF. DR. SATOSHI TOBINAGA

CAMPINAS - SP - BRASIL
1993



INDICE

i

		Página
ANEXO 1	Medida da Descarga do Fluido	1
ANEXO 2	Transformação de Milivolts em Graus Centígrados	5
ANEXO 3	Análise Granulométrica das Esferas de Vidro como Adquiridas	9
ANEXO 4	Análise Granulométrica das Esferas de Vidro após serem Peneiradas	13
ANEXO 5	Medida da Temperatura das Partículas Sólidas na Saída do Tubo de Transporte	15
ANEXO 6	Balanço de Energia numa Suspensão Gás-Sólidos, Contendo Partículas Sólidas de Diâmetro Uniforme	18
ANEXO 7	Soluções das Equações de Conservação de Energia	24
ANEXO 8	Determinação do Perfil de Pressão ao Longo do Tubo de Transporte, a Partir dos Diferenciais de Pressão	33
ANEXO 9	Propriedades Físicas do Ar	37
ANEXO 10	Balanço de Energia numa Suspensão Gás-Sólidos Contendo uma Mistura de Partículas Sólidas	39
ANEXO 11	Variação da Velocidade do Fluido ao Longo do Tubo de Transporte	45
ANEXO 12	Listagem do Programa de Computador para Simulação	48
ANEXO 13	Resultados da Simulação dos Testes Experimentais com Partículas Sólidas de Diâmetro Uniforme	66
ANEXO 14	Resultados da Simulação dos Testes Experimentais c/ Misturas Binárias Utilizando o Modelo I	76
ANEXO 15	Resultados da Simulação dos Testes Experimentais com Misturas Binárias Utilizando o Modelo II	92
ANEXO 16	Resultados da Simulação dos Testes Experimentais com Misturas Binárias Utilizando o Modelo III	108

LISTA DE FIGURAS

Número	Título	Página
A5.1	Calorímetro para Medida da Temperatura das Partículas Sólidas na Saída do Separador Gravitacional	17
A6.1	Esquema para o Transporte Pneumático Vertical Ascendente de Partículas Sólidas de Diâmetro Uniforme	19
A8.1	Diagrama Esquemático da Medida de Diferencial de Pressão no Tubo de Transporte	35
A10.1	Esquema para o Transporte Pneumático Vertical Ascendente de Mistura de Partículas Sólidas	40

LISTA DE TABELAS

Número	Título	Página
A2.1	Transformação de Milivolts em Graus Centígrados, conforme a Norma DIN 43710, para Termopar Ferro-Constantan, considerando a Temperatura de Referência igual a 0 °C	7
A3.1	Análises Granulométricas e Diâmetros Médios de Sauter das Esferas de Vidro, como Adquiridas	10
A4.1	Análises Granulométricas e Diâmetros Médios de Sauter das Esferas de Vidro após serem Pe-neiradas	14
A8.1	Cálculo da Pressão Manométrica Experimental ao Longo do Tubo de Transporte	36
A13.1	Perfis das Variáveis Fluidodinâmicas e Térmicas Obtidos por Modelo de Simulação para Tes-tes com Partículas Sólidas de Diâmetro Uni-forme	67
A14.1	Perfis das Variáveis Fluidodinâmicas e Térmicas Obtidos por Modelo de Simulação, para Misturas Binárias, considerando o Diâmetro Médio das Partículas	77
A15.1	Perfis das Variáveis Fluidodinâmicas e Térmicas Obtidos por Modelo de Simulação, para Misturas Binárias, Considerando o Efeito de Mistura e sem Choques entre as Partículas ...	93
A16.1	Perfis das Variáveis Fluidodinâmicas e Térmicas Obtidos por Modelo de Simulação, para Misturas Binárias, Considerando o Efeito de Mistura e os Choques entre as Partículas ...	109

ANEXO 1
MEDIDA DE DESCARGA DE FLUIDO

MEDIDA DA DESCARGA DO FLUIDO

O cálculo da descarga do fluido, conforme SPINK (1967), é feito pela equação abaixo:

$$\dot{m}_f = 3.472 S D^2 F_c Y_m \left(\Delta P_P \rho_{fp} \right)^{0.5} \quad (A1.1)$$

onde:

S = parâmetro da equação (A1.1);

ΔP_P = diferencial de pressão na placa de orifício;

ρ_{fp} = massa específica do fluido à montante da placa de orifício;

F_c = fator de correção do número de Reynolds, e

Y_m = fator de expansão.

CALCULO DE S

$$S = K_L \beta^2 \quad (A1.2)$$

$$\beta = d_{of}/D \quad (A1.3)$$

$$K_L = 0.598 + 0.01 \beta + 1.947 \cdot 10^{-5} \left(10 \beta \right)^{4.425} \quad (A1.4)$$

onde:

β = razão entre o diâmetro do orifício da placa de orifício do fluido pelo diâmetro interno da tubulação onde está instalada a placa.

CALCULO DE Y_m

$$Y_m = 1 - \left(0.41 + 0.35 \beta^4 \right) X' / k \quad (A1.5)$$

$$X' = \left(10 \Delta P_P \right) / P_P \quad (A1.6)$$

$$k = C_{Pf} / C_{vf} \quad (A1.7)$$

onde:

P_P = pressão à montante da placa de orifício, e

C_{vf} = calor específico do fluido a volume constante.

Para o ar tem-se:

$$k = 1,4$$

CÁLCULO DE FC

$$F_c = K / K_t \quad (A1.8)$$

$$K = K_o \left[1 + E_f \beta / Re_f \right] \quad (A1.9)$$

$$K_o = K_{on} / K_{od} \quad (A1.10)$$

$$K_{on} = K_{o1} + K_{o2} - K_{o3} + K_{o4} \quad (A1.11)$$

$$K_{o1} = \left(0,5993 + \frac{1,778}{D} 10^{-4} \right) + \left(0,364 + \frac{0,0121}{\sqrt{D}} \right) \beta^4 \quad (A1.12)$$

$$K_{o2} = 0,4 \left[1,6 - \frac{0,0254}{D} \right]^5 \left(0,07 + \frac{0,0127}{D} - \beta \right)^{5/2} \quad (A1.13)$$

$$K_{o3} = \left(0,009 + \frac{8,636 \times 10^{-4}}{D} \right) \left(0,5 - \beta \right)^{3/2} \quad (A1.14)$$

$$K_{o4} = \left[\frac{0,0419}{D^2} + 3 \right] \left(\beta - 0,7 \right)^{5/2} \quad (A1.15)$$

$$K_{od} = 1 + 1,5 \cdot 10^{-5} E_{f1} \quad (A1.16)$$

$$E_{f1} = 830 - 5000 \beta + 9000 \beta^2 - 4200 \beta^3 + \frac{84,468}{\sqrt{D}} \quad (A1.17)$$

$$E_f = 0,03937 d_{of} E_{f1} \quad (A1.18)$$

O cálculo da descarga de fluido é iterativo, uma vez que para o cálculo de F_c é necessário o conhecimento da descarga de fluido.

ANEXO 2

TRANSFORMAÇÃO DE MILIVOLTS EM GRAUS CENTIGRADOS

TRANSFORMAÇÃO DE MILIVOLTS EM GRAUS CENTÍGRADOS

Para a transformação de milivolts, indicados pelos termopares ferro-constantan (tipo J) em graus centígrados t_f , foi utilizado um polinômio de quarta ordem, oriundo de uma regressão dos valores contidos na tabela A2.1 do catálogo da firma Consistec Controle e Sistemas de Automação Ltda.

$$t_f = 6,434631 \cdot 10^{-2} + 19,09831(fem) - 8,748138 \cdot 10^{-2}(fem)^2 + \\ - 1,598938 \cdot 10^{-3}(fem)^3 + 2,378884 \cdot 10^{-4}(fem)^4 \quad (A2.1)$$

para fem de 0,0 a 12,7 mV, onde fem é a força eletromotriz ou tensão termo elétrica.

O coeficiente de correlação da equação é = 0,9999994.

TABELA A2.1- TRANSFORMAÇÃO DE MILIVOLTS EM GRAUS CENTIGRADOS, CONFORME A NORMA DIN 43710, PARA TERMOPAR FERRO-CONSTANTAN, CONSIDERANDO A TEMPERATURA DE REFERENCIA IGUAL A 0°C

t	fem	t	fem	t	fem	t	fem	t	fem	t	fem
°C	mV	°C	mV	°C	mV	°C	mV	°C	mV	°C	mV
0,0	0,00	35	1,84	70	3,73	105	5,64	140	7,59	175	9,55
1,0	0,05	36	1,90	71	3,78	106	5,70	141	7,65	176	9,61
2,0	0,10	37	1,95	72	3,84	107	5,75	142	7,70	177	9,66
3,0	0,16	38	2,00	73	3,89	108	5,81	143	7,76	179	9,72
4,0	0,21	39	2,06	74	3,95	109	5,87	144	7,81	180	9,77
5,0	0,26	40	2,11	75	4,00	110	5,92	145	7,87	181	9,83
6,0	0,31	41	2,16	76	4,05	111	5,97	146	7,93	182	9,89
7,0	0,36	42	2,22	77	4,11	112	6,03	147	7,98	183	9,94
8,0	0,42	43	2,27	78	4,16	113	6,08	148	8,04	184	10,00
9,0	0,47	44	2,33	79	4,22	114	6,14	149	8,09	185	10,05
10,0	0,52	45	2,38	80	4,27	115	6,19	150	8,15	186	10,11
11,0	0,57	46	2,43	81	4,32	116	6,25	151	8,21	187	10,17
12,0	0,63	47	2,49	82	4,38	117	6,30	152	8,26	188	10,22
13,0	0,68	48	2,54	83	4,43	118	6,36	153	8,32	189	10,28
14,0	0,73	49	2,60	84	4,49	119	6,42	154	8,37	190	10,33
15,0	0,78	50	2,65	85	4,54	120	6,47	155	8,43	191	10,39
16,0	0,84	51	2,70	86	4,60	121	6,53	156	8,49	192	10,45
17,0	0,89	52	2,76	87	4,65	122	6,58	157	8,54	193	10,50
18,0	0,94	53	2,81	88	4,71	123	6,64	158	8,60	194	10,56
19,0	1,00	54	2,87	89	4,77	124	6,69	159	8,65	195	10,61
20,0	1,05	55	2,92	90	4,82	125	6,75	160	8,71	196	10,67
21,0	1,10	56	2,97	91	4,87	126	6,81	161	8,77	197	10,73

TABELA A2.1 (CONT.)

t	fem	t	fem	t	fem	t	fem	t	fem	t	fem
°C	mV	°C	mV	°C	mV	°C	mV	°C	mV	°C	mV
22,0	1,16	57	3,03	92	4,93	127	6,86	162	8,82	198	10,78
23,0	1,21	58	3,08	93	4,98	128	6,92	163	8,88	199	10,84
24,0	1,26	59	3,14	94	5,04	129	6,97	164	8,93	200	10,89
25,0	1,31	60	3,19	95	5,09	130	7,03	165	8,99	201	10,95
26,0	1,37	61	3,24	96	5,15	131	7,09	166	9,05	202	11,01
27,0	1,42	62	3,30	97	5,20	132	7,14	167	9,10	203	11,06
28,0	1,47	63	3,35	98	5,26	133	7,20	168	9,16	204	11,12
29,0	1,53	64	3,41	99	5,32	134	7,25	169	9,21	205	11,17
30,0	1,58	65	3,46	100	5,37	135	7,31	170	9,27	206	11,23
31,0	1,63	66	3,51	101	5,42	136	7,37	171	9,33	207	11,29
32,0	1,69	67	3,57	102	5,48	137	7,42	172	9,38	208	11,34
33,0	1,74	68	3,62	103	5,53	138	7,48	173	9,44	209	11,40
34,0	1,79	69	3,68	104	5,59	139	7,53	174	9,49	210	11,45

ANEXO 3

ANALISE GRANULOMETRICA DAS ESFERAS DE VIDRO COMO ADQUIRIDAS

TABELA A3.1. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA E DIÂMETROS MÉDIOS DE SAUTER DAS ESFERAS DE VIDRO, COMO ADQUIRIDAS.

A - MATERIAL: Especificação AD

ABERTURA DA PENEIRA (mm)	PENEIRA MESH (TYLER)	PERCENTAGEM EM MASSA RETIDA NA PENEIRA
0,297	48	-
0,250	60	0,09
0,210	65	13,55
0,177	80	43,51
0,149	100	18,42
0,105	150	18,90
0,088	170	1,05
0	prato	4,30
Diâmetro Médio de Sauter = 159 μm		

B - MATERIAL: Especificação AC

ABERTURA DA PENEIRA (mm)	PENEIRA MESH (TYLER)	PERCENTAGEM EM MASSA RETIDA NA PENEIRA
0,354	42	-
0,297	48	0,54
0,250	60	5,30
0,210	65	24,35
0,177	80	60,19
0,149	100	7,41
0,105	150	2,01
0,088	170	1,05
0	prato	0,05
Diâmetro Médio de Sauter = 200 μm		

C - MATERIAL: Especificação AA

ABERTURA DA PENEIRA (mm)	PENEIRA MESH (TYLER)	PERCENTAGEM EM MASSA RETIDA NA PENEIRA
0,841	20	-
0,707	24	4,30
0,595	28	6,75
0,500	32	11,74
0,420	35	24,11
0,354	42	12,22
0,297	48	13,84
0,250	60	14,38
0,210	65	9,83
0,177	80	2,54
0	prato	0,15
Diâmetro Médio de Sauter = 365 μ m		

D - MATERIAL: Especificação A-72

ABERTURA DA PENEIRA (mm)	PENEIRA MESH (TYLER)	PERCENTAGEM EM MASSA RETIDA NA PENEIRA
1,19	14	-
1,00	16	0,35
0,841	20	67,15
0,707	24	29,68
0,595	28	2,39
0,500	32	0,28
0,420	35	-
0,354	42	-
0,297	48	-
0	prato	-
Diâmetro Médio de Sauter = 726 μ m		

E - MATERIAL: Especificação A-100

ABERTURA DA PENEIRA (mm)	PENEIRA MESH (TYLER)	PERCENTAGEM EM MASSA RETIDA NA PENEIRA
1,68	10	-
1,41	12	-
1,19	14	-
1,00	16	23,40
0,841	20	76,39
0,707	24	0,13
0,595	28	-
0,500	32	-
0,420	35	-
-	prato	-
Diâmetro Médio de Sauter = 957 μ m		

ANEXO 4

ANALISE GRANULOMETRICA DAS ESFERAS DE VIDRO APOS SEREM PENEIRADAS

TABELA A4.1. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA E DIÂMETROS MÉDIOS DE SAUTER DAS ESFERAS DE VIDRO APÓS SEREM PENEIRADAS

A - MATERIAL: Faixa Granulométrica - 0,232 + 0,187 mm

ABERTURA DA PENEIRA (mm)	PENEIRA MESH (TYLER)	PERCENTAGEM EM MASSA RETIDA NA PENEIRA
0,210	65	-
0,177	80	43,21
0,149	100	31,33
0,105	150	19,98
0	prato	4,95
Diâmetro Médio de Sauter = 150 μ m		

B - MATERIAL: Faixa Granulométrica - 0,50 + 0,364 mm

ABERTURA DA PENEIRA (mm)	PENEIRA MESH (TYLER)	PERCENTAGEM EM MASSA RETIDA NA PENEIRA
0,595	28	-
0,500	32	1,83
0,420	35	60,51
0,354	42	30,58
0,297	48	4,23
0	prato	2,28
Diâmetro Médio de Sauter = 413 μ m		

C - MATERIAL: Faixa Granulométrica - 0,83 + 0,73 mm

ABERTURA DA PENEIRA (mm)	PENEIRA MESH (TYLER)	PERCENTAGEM EM MASSA RETIDA NA PENEIRA
1,19	14	-
1,00	16	6,31
0,841	20	93,26
0,707	24	0,30
0	prato	-
Diâmetro Médio de Sauter = 931 μ m		

ANEXO 5

MEDIDA DA TEMPERATURA DAS PARTICULAS
SOLIDAS NA SAIDA DO TUBO DE TRANSPORTE

MEDIDA DA TEMPERATURA DOS SÓLIDOS, VIA CALORÍMETRO, NA SAÍDA DO TUBO DE TRANSPORTE

O calorímetro é constituído por uma garrafa térmica da marca Termolar com volume de 500 cm³. A tampa foi adaptada para coleta das partículas sólidas e acomodação de um termómetro de mercúrio da INCOTERM 4228, ASTM 12 C, escala -20 + 102 °C, com divisões de 0,2 °C e comprimento de 420 mm, conforme figura A5.1.

Para medida da temperatura dos sólidos, via calorímetro são seguidos os seguintes passos:

- Mede-se 200 cm³ de água destilada numa proveta e obtem-se sua massa, m_a ;
- Põem-se a água destilada no calorímetro;
- Mede-se a temperatura da água, t_a ;
- Coleta-se aproximadamente 200g de partículas sólidas na saída do separador gravitacional;
- Agita-se a mistura de sólidos mais água e mede-se a temperatura da mistura, t_m ;
- Obtem-se a massa dos sólidos coletados, m_s , e
- Calcula-se a temperatura dos sólidos, t_{sl} , por balanço de energia.

$$t_{sl} = t_m + \frac{m_a C_{pa} (t_m - t_a)}{m_s C_{ps}}$$

onde:

C_{pa} = calor específico da água, J/kg °C

C_{ps} = calor específico dos sólidos, J/kg °C.



FIG. A5.1. CALORIMETRO PARA MEDIDA DA TEMPERATURA DO SÓLIDO NA SAÍDA DO SEPARADOR GRAVITACIONAL.

ANEXO 6

BALANÇO DE ENERGIA NUMA SUSPENSÃO
GAS-SÓLIDOS CONTENDO PARTÍCULAS SÓLIDAS
DE DIÂMETRO UNIFORME

BALANÇO DE ENERGIA NUMA SUSPENSÃO GAS SÓLIDOS CONTENDO PARTICULAS SÓLIDAS DE DIÂMETRO UNIFORME

Para o balanço de energia se considera um elemento de volume $\Delta V_T = A \Delta x$ do tubo de transporte, conforme esquematizado na Figura A6.1.

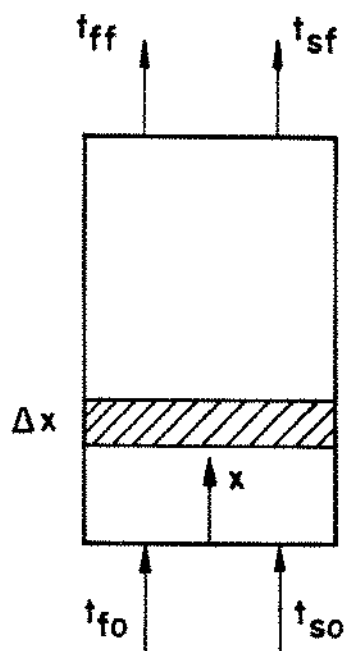


FIG. A6.1. ESQUEMA PARA O TRANSPORTE PNEUMÁTICO VERTICAL ASCENDENTE DE PARTICULAS SÓLIDAS DE DIÂMETRO UNIFORME.

FASE FLUIDA

$$\rho_f v_f A \varepsilon C_{pf} t_f \Big|_x - h \Delta A_s (t_f - t_s) = \rho_f v_f A \varepsilon C_{pf} t_f \Big|_{x+\Delta x} \quad (A6.1)$$

onde:

- O primeiro termo à esquerda da igualdade é a energia contida no fluido que entra no elemento ΔV_T ;
- O segundo termo representa a troca de calor entre o fluido e as partículas sólidas presentes no elemento ΔV_T , e

.O primeiro termo à direita da igualdade é a energia contida no fluido que sai do elemento ΔV_T , sendo:

$$\Delta A_s = \Delta \left(N_p A_p \right); \quad (A6.2)$$

$$N_p = V_s / V_p; \quad (A6.3)$$

$$V_s = (1 - \epsilon) V_T, \quad (A6.4)$$

e

$$V_T = A \times \Delta x. \quad (A6.5)$$

onde:

A_p = área da superfície externa de uma partícula sólida, e

V_p = volume de uma partícula sólida.

Substituindo as equações (A6.3), (A6.4) e (A6.5) na equação (A6.2) e considerando a porosidade ϵ constante em Δx , obtem-se:

$$\Delta A_s = \frac{A_p}{V_p} (1 - \epsilon) A \Delta x \quad (A6.6)$$

Para partículas esféricas de diâmetro d_s tem-se:

$$A_p = \pi d_s^2, \quad (A6.7)$$

e

$$V_p = \frac{\pi d_s^3}{6}. \quad (A6.8)$$

Logo

$$\frac{A_p}{V_p} = \frac{\delta}{d_s} \quad (\text{A6.9})$$

Substituindo a equação (A6.9) na equação (A6.6) tem-se:

$$\Delta A_s = \frac{\delta}{d_s} (1 - \epsilon) A \Delta x \quad (\text{A6.10})$$

Substituindo a equação (A6.10) na equação (A6.1):

$$\rho_f v_f A \epsilon C_{pf} t_f \Big|_x - \rho_f v_f A \epsilon C_{pf} t_f \Big|_{x+\Delta x} - h \frac{\delta}{d_s} (1 - \epsilon) A \Delta x (t_f - t_s) = 0 \quad (\text{A6.11})$$

Dividindo a equação (11) por $A \Delta x$ e tomando o limite quanto Δx tende a zero.

$$- \frac{d}{dx} (\rho_f v_f C_{pf} \epsilon t_f) - h \frac{\delta}{d_s} (1 - \epsilon) (t_f - t_s) = 0 \quad (\text{A6.12})$$

Admitindo ρ_f , v_f , C_{pf} e ϵ constantes no elemento dx , e definindo s como:

$$s = \frac{\delta}{d_s} (1 - \epsilon) \quad (\text{A6.13})$$

obtem-se a equação:

$$\rho_f v_f C_{pf} \epsilon \frac{dt_f}{dx} + h s (t_f - t_s) = 0 \quad (\text{A6.14})$$

FASE SÓLIDA

$$\rho_s v_s A (1 - \epsilon) C_{ps} t_s \Big|_x + h \Delta A_s (t_f - t_s) = \rho_s v_s A (1 - \epsilon) C_{ps} t_s \Big|_{x+\Delta x}$$

(A6.15)

onde:

- . O primeiro termo à esquerda da igualdade é a energia contida nas partículas sólida que entram no elemento ΔV_T ;
- . O segundo termo à esquerda da igualdade representa a troca de calor entre o fluido e as partículas sólidas presentes no elemento de volume ΔV_T , e
- . O primeiro termo à direita da igualdade é a energia contida nas partículas sólidas que saem do elemento ΔV_T .

Utilizando os mesmos procedimentos da fase fluida chega-se à seguinte equação:

$$\rho_s v_s (1 - \epsilon) C_{ps} \frac{dt_s}{dx} - h s (t_f - t_s) = 0 \quad (A6.16)$$

sendo:

$$G_f = \rho_f v_f \epsilon, \quad (A6.17)$$

e

$$G_s = \rho_s v_s (1 - \epsilon) \quad (A6.18)$$

Substituindo as equações (A6.17) e (A6.18) nas equações (A6.14) e (A6.16), respectivamente, obtém-se :

FASE FLUIDA

$$G_f C_{pf} \frac{dt_f}{dx} + h_s (t_f - t_s) = 0 \quad (A6.19)$$

FASE SÓLIDA

$$G_s C_{ps} \frac{dt_s}{dx} - h_s (t_f - t_s) = 0 \quad (A6.20)$$

ANEXO 7
SOLUÇÕES DAS EQUAÇÕES DA CONSERVAÇÃO
DE ENERGIA

SOLUÇÕES DAS EQUAÇÕES DA CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

. FASE FLUIDA

$$G_f C_{pf} \frac{dt_f}{dx} + h_s (t_f - t_s) = 0 \quad (A7.1)$$

. FASE SÓLIDA

$$G_s C_{ps} \frac{dt_s}{dx} - h_s (t_f - t_s) = 0 \quad (A7.2)$$

. CONDIÇÕES DE CONTORNO

$$t_f(0) = t_{fo}, \quad (A7.3)$$

e

$$t_s(0) = t_{so} \quad (A7.4)$$

ADIMENSIONALIZANDO:

$$\chi = \frac{h_s}{G_s C_{ps}} x; \quad (A7.5)$$

$$\delta = \frac{t_f - t_{fo}}{t_{so} - t_{fo}}; \quad (A7.6)$$

$$\omega = \frac{t_s - t_{fo}}{t_{so} - t_{fo}}, \quad (A7.7)$$

e

$$\psi = \frac{G_f C_{pf}}{G_s C_{ps}}. \quad (A7.8)$$

Como

$$\frac{dt_f}{dx} = \frac{dt_f}{d\chi} \frac{d\chi}{dx}, \quad (A7.9)$$

e

$$\frac{dt_f}{d\chi} = \frac{dt_f}{d\delta} \frac{d\delta}{d\chi}. \quad (A7.10)$$

Substituindo a equação (A7.11) na equação (A7.10) resulta:

$$\frac{dt_f}{dx} = \frac{dt_f}{d\delta} \frac{d\delta}{d\chi} \frac{d\chi}{dx} \quad (A7.11)$$

Da equação (A7.6) vem:

$$\frac{dt_f}{d\delta} = t_{so} - t_{fo} \quad (A7.12)$$

e da equação (A7.5):

$$\frac{d\chi}{dx} = \frac{h s}{G_s C_{ps}} \quad (A7.13)$$

onde h foi admitido constante.

Substituindo as equações (A7.12) e (A7.13) na equação (A7.11),
obtem-se:

$$\frac{dt_f}{dx} = \left(t_{so} - t_{fo} \right) \frac{h s}{G_s C_{ps}} \frac{d\delta}{d\chi} \quad (A7.14)$$

Analogamente tem-se que:

$$\frac{dt_s}{dx} = \frac{dt_s}{d\chi} \frac{d\chi}{dx}, \quad (A7.15)$$

e

$$\frac{dt_s}{d\chi} = \frac{dt_s}{d\omega} \frac{d\omega}{d\chi} \quad (A7.16)$$

Substituindo as equações (A7.16) na equação (A7.15) resulta:

$$\frac{dt_s}{d\chi} = \frac{dt_s}{d\omega} \frac{d\omega}{d\chi} \frac{d\chi}{dx} \quad (A7.17)$$

Agora, da equação (A7.7) tem-se:

$$\frac{dt_s}{d\omega} = t_{so} - t_{fo} \quad (A7.18)$$

Substituindo, as equações (A7.16) e (A7.13) na equação (A7.17) obtem-se uma equação semelhante à equação (A7.14), isto é:

$$\frac{dt_s}{d\chi} = (t_{so} - t_{fo}) \frac{h_s}{G_s C_{ps}} \frac{d\omega}{d\chi} \quad (A7.18)$$

Substituindo a equação (A7.14) na equação (A7.1):

$$G_f C_{pf} (t_{so} - t_{fo}) \frac{h_s}{G_s C_{ps}} \frac{d\delta}{d\chi} + h_s (t_f - t_s) = 0 \quad (A7.19)$$

e, rearranjando, vem:

$$\frac{G_f C_{pf}}{G_s C_{ps}} \frac{d\delta}{d\chi} + \frac{t_f - t_s}{t_{so} - t_{fo}} = 0 \quad (A7.21)$$

Somando e subtraindo t_{fo} ao numerador do segundo termo do primeiro membro desta equação, resulta:

$$\frac{G_f C_{pf}}{G_s C_{ps}} \frac{d\delta}{d\chi} + \frac{t_f - t_s - t_{fo} + t_{fo}}{t_{so} - t_{fo}} = 0 \quad (A7.22)$$

Introduzindo os parâmetros δ , ω e ψ dados pelas equações (A7.6), (A7.7) e (A7.8), tem-se:

$$\psi \frac{d\delta}{d\chi} + \delta - \omega = 0 \quad (\text{A7.23})$$

Da mesma maneira, substituindo a equação (A7.19) na equação (A7.2) resulta:

$$G_s C_{ps} (t_{so} - t_{fo}) \frac{h_s}{G_s C_{ps}} \frac{d\omega}{d\chi} - h_s (t_f - t_s) = 0 \quad (\text{A7.24})$$

Rearranjando:

$$\frac{d\omega}{d\chi} - \frac{t_f - t_s}{t_{so} - t_{fo}} = 0 \quad (\text{A7.25})$$

Somando e subtraindo t_{fo} ao numerador do segundo termo do primeiro membro desta equação resulta:

$$\frac{d\omega}{d\chi} - \frac{t_f - t_s + t_{fo} - t_{fo}}{t_{so} - t_{fo}} = 0 \quad (\text{A7.26})$$

ou

$$\frac{d\omega}{d\chi} - \left[\frac{t_f - t_{fo}}{t_{so} - t_{fo}} - \frac{t_s - t_{fo}}{t_{so} - t_{fo}} \right] = 0 \quad (\text{A7.27})$$

Substituindo as equações (A7.6) e (A7.7) na equação (A7.27) obtem-se, finalmente:

$$\frac{d\omega}{d\chi} + \omega - \delta = 0 \quad (\text{A.28})$$

As equações (A7.3) e (A7.4) ficam:

$$\delta (\chi = 0) = 0, \quad (A7.29)$$

e

$$\omega (\chi = 0) = 1 \quad (A7.30)$$

Resumindo, tem-se que as equações de conservação de energia, após a adimensionalização dos termos, se reduzem ao sistema de equações:

$$\begin{cases} \psi \frac{d\delta}{d\chi} + \delta - \omega = 0 & (A7.23) \\ \frac{d\omega}{d\chi} + \omega - \delta = 0 & (A7.28) \end{cases}$$

com as condições de contorno:

$$\delta (\chi = 0) = 0 \quad (A7.29)$$

$$\omega (\chi = 0) = 1 \quad (A7.30)$$

Solução do Sistema de Equações:

Somando as equações (A7.23) e (A7.28) resulta:

$$\psi \frac{d\delta}{d\chi} + \frac{d\omega}{d\chi} = 0 \quad (A7.31)$$

Integrando de $\chi = 0$ a χ tem-se:

$$\int_0^\chi \psi d\delta + \int_0^\chi d\omega = 0 \quad (A7.32)$$

$$\psi [\delta (\chi) - \delta (0)] + [\omega (\chi) - \omega (0)] = 0 \quad (A7.33)$$

Substituindo as condições de contorno dadas pelas equações (A7.29) e (A7.30) vem:

$$\omega = 1 - \psi \delta \quad (\text{A7.34})$$

Rearranjando esta equação resulta:

$$\delta - \omega = (1 + \psi) \left[\delta - 1 / (1 + \psi) \right] \quad (\text{A7.35})$$

Substituindo a equação (A7.35) na equação (A7.23) tem-se:

$$\psi \frac{d\delta}{d\chi} + \left[1 + \psi \right] \left[\delta - 1 / (1 + \psi) \right] = 0 \quad (\text{A7.36})$$

Rearranjando:

$$\frac{d\delta}{\delta - \frac{1}{1+\psi}} + \left(\frac{1 + \psi}{\psi} \right) d\chi = 0 \quad (\text{A7.37})$$

Integrando de $\chi = 0$ a χ :

$$\ln \left[\delta - \frac{1}{(1 + \psi)} \right] \Big|_0^\chi + \frac{1 + \psi}{\psi} \chi \Big|_0^\chi = 0 \quad (\text{A7.38})$$

Utilizando a condição de contorno dada pela equação (A7.30), vem:

$$\ln \frac{\delta - \frac{1}{1 + \psi}}{-\frac{1}{1 + \psi}} = - \left(\frac{1 + \psi}{\psi} \right) \chi \quad (\text{A7.39})$$

Rearranjando :

$$\frac{\delta - \frac{1}{1 + \psi}}{-\frac{1}{1 + \psi}} = e^{-\frac{(1 + \psi)}{\psi} \chi} \quad (\text{A7.40})$$

ou:

$$\delta = \frac{1}{1 + \psi} \left[1 - e^{-\left(\frac{1 + \psi}{\psi}\right) \chi} \right] \quad (\text{A7.41})$$

Substituindo a equação (A7.41) na equação (A7.35) tem-se:

$$\omega = \frac{1}{1 + \psi} \left[1 + \psi e^{-\frac{1 + \psi}{\psi} \chi} \right] \quad (\text{A7.42})$$

Resumindo, tem-se:

$$\delta = \frac{1}{1 + \psi} \left[1 - e^{-\frac{1 + \psi}{\psi} \chi} \right], \quad (\text{A7.41})$$

e

$$\omega = \frac{1}{1 + \psi} \left[1 + \psi e^{-\frac{(1 + \psi)}{\psi} \chi} \right]. \quad (\text{A7.42})$$

Substituindo as definições de χ , δ e ω , e introduzindo o parâmetro λ , dado por:

$$\lambda = - \frac{h s}{G_f C_{pf}} (1 + \psi) \quad (\text{A7.43})$$

vem:

$$t_f = C' e^{\lambda x} + D', \quad (\text{A7.44})$$

e

$$t_s = - C' \psi e^{\lambda x} + D'. \quad (\text{A7.45})$$

sendo:

$$C' = \left[A' + B' t_{fo} \right] / B', \quad (A7.46)$$

e

$$D' = - A' / B' \quad (A7.47)$$

onde:

$$A' = - \psi t_{fo} - t_{so}, \quad (A7.48)$$

e

$$B' = 1 + \psi. \quad (A7.49)$$

As equações (A7.44) e (A7.45) fornecem, respectivamente, os perfis de temperatura do fluido e do sólido ao longo do tubo de transporte, considerando h constante.

ANEXO 8

DETERMINAÇÃO DO PERFIL DE PRESSÃO AO LONGO
DO TUBO DE TRANSPORTE, A PARTIR DOS
DIFERENCIAIS DE PRESSÃO

DETERMINAÇÃO DO PERFIL DE PRESSÃO AO LONGO DO TUBO DE TRANSPORTE, A PARTIR DOS DIFERENCIAIS DE PRESSÃO

Para obtenção do perfil experimental de pressão ao longo do tubo de transporte, determinou-se inicialmente a pressão manométrica na cota 0,31 m, dada pelo PI-03. Para aquisição das pressões nas outras cotas utilizou-se o procedimento descrito abaixo:

. COTAS SITUADAS A MONTANTE DA COTA 0,31m

Somar à pressão posterior o valor da diferencial de pressão entre as cotas consideradas para obtenção da pressão anterior.

. COTAS SITUADAS A JUSANTE DA COTA 0,31m

Subtrair da pressão anterior o valor da diferencial de pressão entre as cotas consideradas para obtenção da pressão posterior.

O diferencial de pressão, PDI, entre duas cotas, é obtido de:

$PDI = \text{pressão anterior} - \text{pressão posterior}$, conforme Figura A8.1.

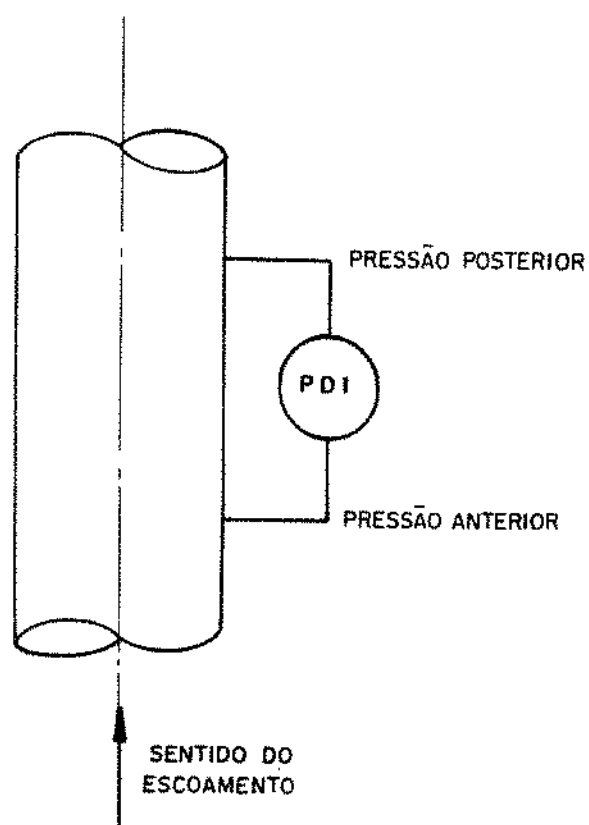


FIG. A8.1. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DA MEDIDA DE DIFERENCIAL DE PRESSÃO NO TUBO DE TRANSPORTE.

A Tabela A8.1 mostra o cálculo das pressões nas diversas cotas do tubo de transporte.

TABELA AB.1. CÁLCULO DA PRESSÃO MANOMÉTRICA EXPERIMENTAL AO LONGO DO TUBO DE TRANSPORTE

COTA m	PRESSÃO
0,31	$P(0,31) = P_{I-03}$
0,21	$P(0,21) = P(0,31) + PDI\ 0502$
0,12	$P(0,12) = P(0,21) + PDI\ 0501$
0,41	$P(0,41) = P(0,31) + PDI\ 0503$
0,61	$P(0,61) = P(0,41) + PDI\ 0504$
1,11	$P(0,11) = P(0,61) + PDI\ 0505$
1,61	$P(1,61) = P(1,11) + PDI\ 0506$
2,11	$P(2,11) = P(1,61) + PDI\ 0507$
2,61	$P(2,61) = P(2,11) + PDI\ 0508$
3,11	$P(3,11) = P(2,61) + PDI\ 0509$
3,61	$P(3,61) = P(3,11) + PDI\ 0510$
4,02	$P(4,02) = P(3,61) + PDI\ 0511$

ANEXO 9
PROPRIEDADES FISICAS DO AR

PROPRIEDADES FÍSICAS DO AR

. MASSA ESPECÍFICA, ρ_f

Obtida a partir da equação do estado dos gases ideais.

$$\rho_f = \left[P M_f \right] / \left[R T_f \right] \quad (A9.1)$$

. VISCOSIDADE DINÂMICA, μ_f (STRUMILLO, 1975)

$$\mu_f = 3,9895 \cdot 10^{-8} T_f + 0,6644 \cdot 10^{-5} \quad (A9.2)$$

Faixa de aplicação $0 \leq t_f \leq 360 \text{ }^{\circ}\text{C}$

. CALOR ESPECÍFICO A PRESSÃO CONSTANTE, C_{Pf} (LUIKOV, 1966)

$$C_{Pf} = 1000 \left[0,97742 + 0,112454 \cdot 10^{-3} T_f \right] + 0,190346 \cdot 10^{-7} T_f^2 \quad (A9.3)$$

. CONDUTIVIDADE TÉRMICA, K_f (PLANOVSKI, 1979)

$$K_f = 0,38793 \cdot 10^{-3} + 0,95425 \cdot 10^{-4} T_f - 0,30699 \cdot 10^{-7} T_f^2 \quad (A9.4)$$

Faixa de aplicação das equações (A9.3) e (A9.4):

$$0 \leq t_f \leq 330 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

onde:

P = pressão absoluta do fluido;

T_f = temperatura absoluta do fluido;

M_f = peso molecular do ar, e

R = constante universal dos gases ideais.

ANEXO 10

BALANÇO DE ENERGIA NUMA SUSPENSÃO GAS-SÓLIDOS
CONTENDO UMA MISTURA DE PARTÍCULAS SÓLIDAS

BALANÇO DE ENERGIA NUMA SUSPENSÃO GÁS-SÓLIDOS CONTENDO UMA MISTURA DE PARTICULAS

Para o balanço de energia se considerou um elemento de volume $\Delta V_T = A\Delta x$ do tubo de transporte, conforme esquematizado na Figura A10.1.

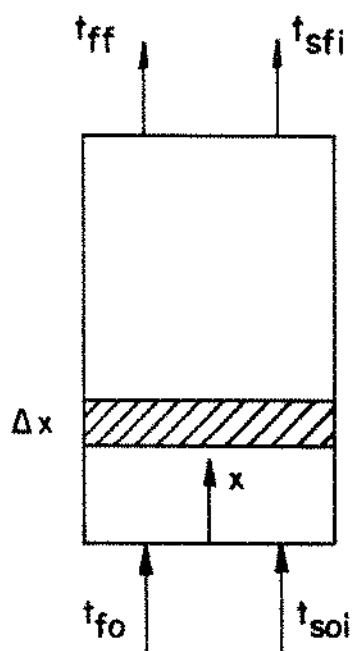


FIG. A10.1. ESQUEMA PARA O TRANSPORTE PNEUMÁTICO VERTICAL ASCENDENTE DE MISTURA DE PARTICULAS SÓLIDAS.

FASE FLUIDA

$$\rho_f v_f A \varepsilon C_{pf} t_f \Big|_x - \sum_{i=1}^n h_i \Delta A_{si} (t_f - t_{si}) = \rho_f v_f A \varepsilon C_{pf} t_f \Big|_{x + \Delta x}$$

(A10.1)

onde:

- . O primeiro termo à esquerda da igualdade é a energia contida no fluido que entra no elemento ΔV_T ;

- . O segundo termo à esquerda da igualdade representa a troca de calor entre o fluido e mistura de partículas sólidas de vários diâmetros, presentes no elemento de volume ΔV_T , e
- . O primeiro termo à direita da igualdade é a energia contida no fluido que sai do elemento ΔV_T , sendo:

$$\Delta A_{si} = \Delta \left(N_{pi} A_{pi} \right), \quad (A10.2)$$

e

$$N_{pi} = \frac{V_{si}}{V_{pi}} \quad (A10.3)$$

onde:

$$\nu_i = \frac{V_{si}}{V_T}, \quad (A10.4)$$

e

$$V_T = Ax \quad (A10.5)$$

Substituindo a equação (A10.4) na equação (A10.3) e esta na equação (A10.2) resulta:

$$\Delta A_{si} = \Delta \left(\frac{A_{pi}}{V_{pi}} \nu_i A x \right) \quad (A10.6)$$

onde:

ΔA_{si} = área de transferência de calor fluido-partículas sólidas no elemento ΔV_T ;

N_{pi} = número de partículas sólidas i ;

A_{pi} = área da superfície externa de uma partícula sólida i ,
e

V_{pi} = volume de uma partícula sólida i .

Para partículas esféricas de diâmetro d_s vem:

$$\frac{A_{pi}}{V_{pi}} = \frac{6}{d_{si}} \quad (A10.7)$$

Substituindo a equação (A10.7) na equação (A10.6) e considerando que v_i é constante em Δx , tem-se:

$$\Delta A_{si} = \frac{6}{d_{si}} v_i A \Delta x \quad (A10.8)$$

Substituindo a equação (A10.8) em (A10.1) resulta:

$$\rho_f v_f A \varepsilon C_{pf} t_f \Big|_x - \left[\sum_{i=1}^n h_i \frac{6}{d_{si}} v_i (t_f - t_{si}) \right] A \Delta x = \rho_f v_f \varepsilon C_{pf} t_f \Big|_{x+\Delta x} \quad (A10.9)$$

Dividindo a equação (A10.9) por $A \Delta x$ e tirando o limite quando Δx tende a zero, obtem-se:

$$-\frac{d}{dx} \left(\rho_f v_f \varepsilon C_{pf} t_f \right) - \left[\sum_{i=1}^n h_i \frac{6}{d_{si}} v_i (t_f - t_{si}) \right] = 0 \quad (A10.10)$$

Considerando ρ_f , v_f , ε , C_{pf} constantes no elemento dx , e definindo s_i como:

$$s_i = \frac{\delta}{d_{si}} v_i \quad (A10.11)$$

obtem-se a equação:

$$\rho_f v_f \varepsilon C_{pf} \frac{dt_f}{dx} + \sum_{i=1}^n h_i s_i (t_f - t_{si}) = 0 \quad (A10.12)$$

FASE SÓLIDA

Balanço de energia para as partículas i

$$\rho_{si} v_{si} v_i A C_{psi} t_{si} \Big|_x + h_i \Delta A_{si} (t_f - t_{si}) = \rho_{si} v_{si} v_i A C_{psi} t_{si} \Big|_{x+\Delta x} \quad (A10.13)$$

onde:

- . O primeiro termo à esquerda da igualdade é a energia contida nas partículas sólidas i que entram no elemento ΔV_T ;
- . O segundo termo à esquerda da igualdade representa a troca de calor entre o fluido e as partículas sólidas i , presentes no elemento de volume ΔV_T , e
- . O primeiro termo à direita da igualdade é a energia contida nas partículas sólidas i que saem do elemento ΔV_T .

Substituindo a equação (A10.8) na equação (A10.13), tem-se:

$$\rho_{si} v_{si} v_i A C_{psi} t_{si} \Big|_x + h_i \frac{\delta}{d_{si}} v_i A \Delta x (t_f - t_{si}) = \rho_{si} v_{si} v_i A C_{psi} t_{si} \Big|_{x+\Delta x} \quad (A10.14)$$

Dividindo a equação (A10.14) por $A \Delta x$ e tomando o limite quando Δx tende a zero obtem-se:

$$-\frac{d}{dx} \left(\rho_{si} v_{si} v_i C_{psi} t_{si} \right) + h_i \frac{6 v_i}{d_{si}} (t_f - t_{si}) = 0 \quad (A10.15)$$

Considerando ρ_{si} , v_{si} , v_i e C_{psi} constantes em dx e substituindo a equação (A10.11) na equação (A10.15) tem-se:

$$\rho_{si} v_{si} v_i C_{psi} \frac{dt_{si}}{dx} - h_i s_i (t_f - t_{si}) = 0 \quad (A10.16)$$

sendo:

$$G_f = \rho_f v_f, \quad (A10.17)$$

e

$$G_{si} = \rho_{si} v_{si} v_i \quad (A10.18)$$

Substituindo as equações (A10.17) e (A10.18) nas equações (A10.12) e (A10.16) respectivamente, resulta:

FASE FLUIDA

$$G_f C_{pf} \frac{dt_f}{dx} + \sum_{i=1}^n h_i s_i (t_f - t_{si}) = 0 \quad (A10.19)$$

FASE SÓLIDA (partícula sólida i)

$$G_{si} C_{psi} \frac{dt_{si}}{dx} - h_i s_i (t_f - t_{si}) = 0 \quad (A10.20)$$

ANEXO 11

VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DO FLUIDO AO LONGO
DO TUBO DE TRANSPORTE

VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DO FLUIDO AO LONGO DO TUBO DE TRANSPORTE

GRADIENTE DE VELOCIDADE DO FLUIDO

O gradiente de velocidade do fluido é dado por:

$$\frac{d}{dx} \left[\rho_f v_f \left(1 - \sum_{i=1}^n \nu_i \right) \right] \quad (A11.1)$$

onde a massa específica do fluido é dada pela equação de estado dos gases ideais:

$$\rho_f = \frac{P M_f}{R T_f} \quad (A11.2)$$

Derivando a equação (A11.1), obtém-se:

$$- \rho_f v_f \sum_{i=1}^n \frac{d \nu_i}{dx} + \left(1 - \sum_{i=1}^n \nu_i \right) \left(\rho_f \frac{dv_f}{dx} + v_f \frac{d\rho_f}{dx} \right) = 0 \quad (A11.3)$$

Da equação (A11.2) tem-se:

$$\frac{d\rho_f}{dx} = \frac{M_f}{R T_f} \frac{dp}{dx} - \frac{M_f P}{R T_f^2} \frac{dT_f}{dx} \quad (A11.4)$$

Substituindo a equação (A11.4) na equação (A11.3) e, rearranjando, resulta:

$$\frac{dv_f}{dx} = v_f \left[- \frac{1}{P} \frac{dp}{dx} + \frac{1}{T_f} \frac{dT_f}{dx} + \frac{1}{\left(1 - \sum_{i=1}^n \nu_i \right)} \sum_{i=1}^n \frac{d\nu_i}{dx} \right] \quad (A11.4)$$

onde $\frac{dp}{dx}$ é dada pela Equação (3.3.)

$$\begin{aligned} \frac{dp}{dx} = - & \left[G_f \frac{dv_f}{dx} + \sum_{i=1}^n G_{si} \frac{dv_{si}}{dx} + \sum_{i=1}^n \rho_{si} v_i g + \rho_f \left(1 - \sum_{i=1}^n \nu_i \right) g + \right. \\ & \left. + \frac{f_f \left(1 - \sum_{i=1}^n \nu_i \right) \rho_f v_f^2}{2 D} + \sum_{i=1}^n \frac{f_{si} \nu_i \rho_{si} v_{si}^2}{2 D} \right] \end{aligned} \quad (A11.5)$$

Substituindo a equação (A11.5) na equação (A11.4) e, rearranjando, tem-se:

$$\begin{aligned} \frac{dv_f}{dx} = & \frac{v_f}{P - v_f G_f} \left[\sum_{i=1}^n G_{si} \frac{dv_{si}}{dx} + \frac{P}{T_f} \frac{dt_f}{dx} + \frac{P}{\left(1 - \sum_{i=1}^n \nu_i \right)} \sum_{i=1}^n \frac{dv_i}{dx} + \right. \\ & + \sum_{i=1}^n \rho_{si} v_i g + \rho_f \left(1 - \sum_{i=1}^n \nu_i \right) g + \frac{f_f \left(1 - \sum_{i=1}^n \nu_i \right) \rho_f v_f^2}{2 D} + \\ & \left. + \sum_{i=1}^n \frac{f_{si} \nu_i \rho_{si} v_{si}^2}{2 D} \right] \end{aligned} \quad (A11.6)$$

ANEXO 12
LISTAGEM DO PROGRAMA DE COMPUTADOR
PARA SIMULAÇÃO

LISTAGEM DO PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA SIMULAÇÃO

```

10 'NOME DO PROGRAMA: GERARQ
20 CLS
30 'GERARQ EH O PROGRAMA PARA A ENTRADA DE DADOS
40 'OBTIDOS NOS TESTES EXPERIMENTAIS
50 DIM A(90)
60 CLS
70 CORVO$=".DAT"
80 INPUT"NUMERO DO TESTE";TESTE$
90 ARQ$="E2"+TESTE$+CORVO$
100 PRINT"LER VARIABEIS DO DISCO? (S/N) "
110 B$=INPUT$(1)
120 IF B$="N" OR B$="n" THEN GOTO 290
130 OPEN "I",#1,ARQ$
140 INPUT #1,TESTE$
150 INPUT #1,DAT$
160 I=0
170 WHILE NOT EOF(1)
180     INPUT #1,A(I)
190     I=I+1
200 WEND
210 PRINT:PRINT "MODIFICAR VARIABEIS? (S/N)";
220 C$=INPUT$(1)
230 IF C$="N" OR C$="n" GOTO 1110
240 PRINT:PRINT "VARIABEL A ALTERAR: ";
250 INPUT I
260 PRINT "VALOR ATUAL=";A(I);"      NOVO VALOR ";
270 INPUT A(I)
280 GOTO 210
290 CLS
300 INPUT"DATA DO TESTE";DAT$
310 INPUT " 0) NUMERO DE PARTICULAS DIFERENTES"; A(0) 'M
320 INPUT " 1) TAMANHO DE INTERVALO,REGIAO ACELERACAO, MM"; A(1) 'HRA
330 INPUT " 2) TAMANHO DE INTERVALO, REGIAO ESTABELECIDADA, MM"; A(2) 'HRE
340 INPUT " 3) DIAMETRO DA PLACA DE ORIFICIO, MM"; A(3) 'DO
350 INPUT " 4) PRESSAO MONTANTE PLACA DE ORIFICIO, KGF/CM2 M"; A(4) 'PMPO
360 INPUT " 5) TEMPERATURA MONTANTE PLACA DE ORIFICIO, GRAUS C "; A(5) 'TMPO
370 INPUT " 6) PRESSAO DIFERENCIAL, PLACA DE ORIFICIO, MM H2O"; A(6) 'PDPO
380 A(7)=0
390 IF A(0)=0 GOTO 450
400 INPUT " 7) VAZAO MASSICA TOTAL DE SOLIDOS, KG/H "; A(7) 'MTS
410 FOR I=8 TO 7+A(0)
420     PRINT USING "##";I;:PRINT ") FRACAO MASSICA,NA ENTRADA,DO COMPONENTE "I-
430     INPUT A(I)
440 NEXT I
450 INPUT "18) TEMPERATURA DO GAS A JUSANTE DO AQUECEDOR DE AR, GRAUS C"; A(18)
    'TGJAO
460 INPUT "19) TEMPERATURA DO GAS A MONTANTE DO TUBO DE MEDIDA, GRAUS C"; A(19)
    'TGMTM
470 INPUT "20) TEMPERATURA DO GAS TOPO TUBO DE MEDIDA, GRAUS C"; A(20) 'TGTTM
480 FOR I=21 TO 32

```

```

490 PRINT USING "##",I,:PRINT ") TEMP. GAS NO TUBO DE MEDIDA, GRAUS C, POSICAO
    "I-20" ";
500 INPUT A(I)
510 NEXT I
520 INPUT "33) TEMP. GAS ENTRADA DO SEPARADOR, GRAUS C"; A(33) 'TGESG
530 INPUT "34) TEMP. GAS SAIDA DO SEPARADOR, GRAUS C"; A(34) 'TGSSG
540 IF A(0)=0 GOTO 600
550 INPUT "35) TEMPERATURA SOLIDO SAIDA DO SEPARADOR, GRAUS C"; A(35) 'TSSSG
560 INPUT "36) TEMPERATURA SOLIDO SAIDA DO SEPARADOR CICLONE, GRAUS C"; A(36)
    'TSSCI
570 INPUT "37) TEMPERATURA SOLIDO ENTRADA DO TUBO DE MEDIDA, GRAUS C"; A(37) '
    TSETM
580 INPUT "38) TEMP. SOLIDO ENTRADA DO T.M., CALORIMETRO, GRAUS C"; A(38) 'TSETMC
590 INPUT "39) TEMPERATURA ,SAIDA DO TM, CALORIMETRO, GRAUS C"; A(39) 'TSSTMC
600 FOR I = 40 TO 43
610 PRINT USING "##",I,:PRINT ") TEMP. SUPERFICIE ISOLAMENTO TM, POSICAO "I-
    39" ";
620 INPUT A(I)
630 NEXT I
640 INPUT "44) PRESSAO DO GAS ANTES DA MISTURA, MM H2O"; A(44) 'PGAM
650 INPUT "45) PRESSAO NA ALIMENTACAO DOS SOLIDOS, MM H2O"; A(45) 'PAS
660 INPUT "46) PRESSAO NA BASE DO TUBO DE MEDIDA, MM H2O"; A(46) 'PBTM
670 INPUT "47) PRESSAO NO TOPO DO TUBO DE MEDIDA, MM H2O"; A(47) 'PTTM
680 FOR I = 48 TO 58
690 PRINT USING "##",I,:PRINT ") PRESSAO DIFERENCIAL NO TM, MM H2O, POSICAO
    "I-47" ";
700 INPUT A(I)
710 NEXT I
720 INPUT "59) PRESSAO DIFERENCIAL NO SEPARADOR DE GAS, MM H2O"; A(59) 'PDSG
730 INPUT "60) PRESSAO DIFERENCIAL NO CICLONE, MM H2O"; A(60) 'PDCI
740 A(61)=1
750 IF A(0)=0 GOTO 830
760 INPUT "61) POROSIDADE NA BASE TUBO DE MEDIDA"; A(61) 'EPSON0
770 INPUT "62) MASSA ESPECIFICA DOS SOLIDOS, KG/M"; A(62) 'ROS
780 INPUT "63) CALOR ESPECIFICO DOS SOLIDOS, KCAL/(H*GRAUS C)"; A(63) 'CPS
790 FOR I = 64 TO 63+A(0)
800 PRINT USING "##",I,:PRINT ") DIAMETRO DE PARTICULA, EM MICRON, SOLIDOS "
    I-63" ";
810 INPUT A(I) 'DS(I)
820 NEXT I
830 INPUT "74) DIAMETRO INTERNO DO TUBO DE MEDIDA, POLEGADA"; A(74) 'DITM
840 INPUT "75) FATOR DELIMITADO DA REGIAO DE ESCOAMENTO "; A(75) 'FDRE
850 INPUT "76) ALTURA DO TUBO DE MEDIDA, M "; A(76) 'L
860 INPUT "77) FATOR DE CONTROLE IMPRESSAO RESULTADOS R. ACELERACAO"; A(77) 'F
    CIRA
870 INPUT "78) FATOR DE CONTROLE IMPRESSAO RESULTADOS R. ESTABELECIDO"; A(78)
    'FCIRE
880 PRINT "FCOMP=FATOR DE COMPONENTE POSSIVEL "
890 PRINT "FCOMP=0 => GAS SOMENTE"
900 PRINT "FCOMP=1 => UMA PARTICULA"
910 PRINT "FCOMP=2 => VARIAS PARTICULAS"
920 INPUT "79) FATOR DE COMPONENTE"; A(79) 'FCOMP
930 IF A(0) <> 2 GOTO 990
940 PRINT "PARA M=2 PODE-SE CONSIDERAR INTERACAO OU NAO ENTRE AS PARTICULAS "

```

```

950 PRINT "FITER=FATOR DE INTERACAO POSSIVEL "
960 PRINT "FITER=0 => SEM INTERACAO "
970 PRINT "FITER=1 => COM INTERACAO "
980 INPUT "80) FATOR DE INTERACAO ENTRE PARTICULAS"; A(80) 'FITER
990 INPUT "81) TEMPERATURA AMBIENTE, GRAUS C"; A(81) 'TAMB
1000 PRINT "FPCAMB=FATOR DE PERDA DE CALOR PARA O AMBIENTE"
1010 PRINT "FPCAMB=0 => NAO CONSIDERA A PERDA PARA O AMBIENTE"
1020 PRINT "FPCAMB=1 => CONSIDERA A PERDA PARA O AMBIENTE"
1030 INPUT "82) FATOR DE PERDA DE CALOR PARA O AMBIENTE"; A(82) 'FPCAMB
1040 IF A(0)<=1 GOTO 1100
1050 PRINT "KCH(I) = COEFICIENTE DA FORMULA DE NUSSEL "
1060 FOR I=83 TO 82+A(0)
1070 PRINT USING "##"; I; :PRINT ") COEFICIENTE DA FORMULA DE NUSSEL DOS SOLID
OS "I-82" ";
1080 INPUT A(I) 'KCH(I)
1090 NEXT I
1100 GOTO 210
1110 CLOSE #1
1120 '*** GRAVACAO DOS DADOS DE ENTRADA ***
1130 OPEN "D",#1,ARQ$
1140 PRINT #1,TESTE$
1150 PRINT #1,DAT$
1160 FOR J=0 TO 90
1170 PRINT #1,A(J)
1180 NEXT J
1190 CLOSE #1
1200 PRINT:PRINT"TEM MAIS ALGUM TESTE PARA ENTRAR COM DADOS? (S/N)";
1210 FO$=INPUT$(1)
1220 IF FO$="s" OR FO$="S" THEN GOTO 60
1230 PRINT:PRINT "DESEJA RODAR O PROGRAMA RODARQ.BAS? (S/N)";
1240 CO$=INPUT$(1)
1250 IF CO$="s" OR CO$="S" THEN GOTO 1290
1260 CLS:LOCATE 15,10
1270 PRINT" ***** FIM *****":PRINT:PRINT:PRINT:
PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT
1280 END
1290 LOAD"RODARQ.BAS",R

```

```

10 LPRINT CHR$(30)+"0"
20 CLS
30 DATA 1/08/92
40 NOME DO PROGRAMA : TESEX
50 TESE DE MESTRADO
60 PROGRAMA PARA CALCULO DA PERDA DE CARGA E TRANSFERENCIA
70 DE CALOR GAS-SOLIDO DO TRANSPORTE PNEUMATICO VERTICAL
80 ASCENDENTE
90
100
110 PARA RESOLUCAO SERA UTILIZADO O METODO NUMERICO DE
120 RUNGE-KUTTA GIL
130
140 DIM A(90),SAVEF(15),F(15),K(15),PHI(15),SAVEY(15),SAVEK(15),Y(15)
150 DIM X(15),XX(15),XXX(15),XX1(15),P(15),PMM(15),YCH(20),NCH(20)
160 *****
170 OPEN "O",#3,"V2001.DAT"
180 *****
190 OPEN "I",#1,"E2001.DAT"
200 INPUT #1,TESTE$
210 INPUT #1,DAT$
220 I=0
230 WHILE NOT EOF(1)
240 INPUT #1,A(I)
250 I=I+1
260 WEND
270 CLOSE #1
280 TGBTMP=(A(19)+273.15)
290 TGBTM=TGBTMP*.971-273.15
300 PRINT #3, USING " ##.###";TGBTM;
310 FOR I=21 TO 32
320 PRINT #3, USING " ##.###";A(I);
330 NEXT I
340 PRINT #3," "
350 PRINT #3, USING " ##.###";A(38);
360 PRINT #3, USING " ##.###";A(39);
370 PRINT #3," "
380 GOTO 1230
390 LPRINT CHR$(12)
400 LPRINT TAB(30) " DADOS DE ENTRADA"
410 LPRINT:LPRINT
420 LPRINT "NUMERO DO TESTE" TAB(70) "= " TESTE$
430 LPRINT:LPRINT
440 LPRINT "DATA DO TESTE" TAB(70) "= " DAT$
450 LPRINT:LPRINT
460 LPRINT "A( 0) - NUMERO DE PARTICULAS DIFERENTES" TAB(70) "= " A(0) 'M
470 LPRINT "A( 1) - TAMANHO DE INTERVALO, REGIAO ACELERACAO, MM "TAB(70)"= " A
(1) 'HRA
480 LPRINT "A( 2) - TAMANHO DE INTERVALO, R.ESTABELECIDO, MM "TAB(70)"= " A(2)
'HRE
490 LPRINT "A( 3) - DIAMETRO DA PLACA DE ORIFICIO, MM " TAB(70)"= " A(3) 'DO
500 LPRINT "A( 4) - PRESSAO MONTANTE P.ORIFICIO, KGF/CM2 M" TAB(70)"= " A(4)
'PMPO
510 LPRINT "A( 5) - TEMP.MONTANTE PLACA DE ORIFICIO, GRAUS C "TAB(70)"= " A(5)
'TMPO

```

```

520 LPRINT "A( 6) - PRESSAO DIFERENCIAL P.ORIFICIO, MM H2O "TAB(70)"= " A(6)
'PDPO
530 LPRINT "A( 7) - VAZAO MASSICA TOTAL DE SOLIDOS, KG/H "TAB(70)"= " A(7)
MTS
540 FOR I = 8 TO 7+A(0)
550 LPRINT "A(";
560 LPRINT USING "##";I;
570 LPRINT ") - F. MASSICA, NA ENTRADA DO COMPONENTE "I-7 TAB(70)"= " A(I)
580 NEXT I
590 LPRINT "A(18) - TEMP GAS JUSANTE DO AQUECEDOR DE AR GRAUS C "TAB(70)"= " A
(18) 'TGJAO
600 LPRINT "A(19) - TEMP. GAS A MONTANTE DO T.M, GRAUS C "TAB(70)"= " A(19)
'TGBTM
610 LPRINT "A(20) - TEMP.GAS NO TOPO DO T.M, GRAUS C "TAB(70)"= " A(20) 'TGTT
M
620 FOR I = 21 TO 32
630 LPRINT "A(";
640 LPRINT USING "##";I;
650 LPRINT ") - TEMP. GAS NO T.M, GRAUS C, POSICAO " I-20 TAB(70)"= " A(I)
660 NEXT I
670 LPRINT "A(33) - TEMP. GAS ENTRADA SEPARADOR, GRAUS C" TAB(70)"= " A(33)
'TGESG
680 LPRINT "A(34) - TEMP. GAS SAIDA SEPARADOR, GRAUS C" TAB(70)"= " A(34) 'TG
SSG
690 LPRINT "A(35) - TEMP. SOLIDO SAIDA SEPARADOR, GRAUS C" TAB(70)"= " A(35)
'TSSSG
700 LPRINT "A(36) - TEMP.SOLIDO SAIDA DO CICLONE, GRAUS C" TAB(70)"= " A(36)
'TSSCI
710 LPRINT "A(37) - TEMP.SOLIDO ENTRADA T.M, GRAUS C" TAB(70)"= " A(37) 'TSET
M
720 LPRINT "A(38) - TEMP.SOLIDO ENT.T.M.CALORIMETRO, GRAUS C"TAB(70)"= " A(38)
'TSETMC
730 LPRINT "A(39) - TEMP.SOLIDO SAI.T.M.CALORIMETRO, GRAUS C"TAB(70)"= " A(39)
'TSSTMC
740 FOR I=40 TO 43
750 LPRINT "A(";
760 LPRINT USING "##";I;
770 LPRINT ") - TEMP.SUP.ISOLAMENTO TM, POSICAO "I-39 TAB(70)"= " A(I)
780 NEXT I
790 LPRINT CHR$(12)
800 LPRINT TAB(20) " CONTINUACAO DOS DADOS DE ENTRADA"
810 LPRINT:LPRINT
820 LPRINT "A(44) - PRESSAO DO GAS ANTES DA MISTURA, MM H2O" TAB(70)"= " A(44)
'PGAM
830 LPRINT "A(45) - PRESSAO NA ALIMENTACAO DOS SOLIDOS, MM H2O "TAB(70)"= " A(4
5) 'PAS
840 LPRINT "A(46) - PRESSAO NA BASE DO TUBO DE MEDIDA, MM H2O"TAB(70)"= " A(46)
'PBTM
850 LPRINT "A(47) - PRESSAO NO TOPO DO TUBO DE MEDIDA, MM H2O"TAB(70)"= " A(47)
'PTTM
860 FOR I = 48 TO 58
870 LPRINT "A(";
880 LPRINT USING "##";I;
890 LPRINT ") - P.DIFERENCIAL T.M, MM H2O, POS."I-47 TAB(70)"= " A(I)
900 NEXT I
910 LPRINT "A(59) - PRESSAO DIFERENCIAL NO SEPARADOR, MM H2O"TAB(70)"= " A(59)
'PDSG

```

```

920 LPRINT "A(60) - PRESSAO DIFERENCIAL NO CICLONE, MM H2O" TAB(70)"= " A(60)
'PDCI
930 LPRINT "A(61) - POROSIDADE NA BASE TUBO DE MEDIDA" TAB(70)"= " A(61) 'EPS
ILDN0
940 IF A(0)=0 THEN GOTO 1020
950 LPRINT "A(62) - MASSA ESPECIFICA DOS SOLIDOS, KG/M3"TAB(70)"= " A(62) 'RO
S
960 LPRINT "A(63) - CALOR ESPECIFICO DOS SOLIDOS, KCAL/K C"TAB(70)"= " A(63)
'CPs
970 FOR I = 64 TO 63+A(0)
980 LPRINT "A( ";
990 LPRINT USING "##";I;
1000 LPRINT ") - DIAMETRO PART., EM MICRON,SOLIDO "I-63 TAB(70)"= " A(I)
1010 NEXT I
1020 LPRINT "A(74) - DIAMETRO INTERNO TUBO MEDIDA, POLEGADAS "TAB(70)"= " A(74)
'DITM
1030 LPRINT "A(75) - FATOR DELIMITADOR REGIAO ESCOAMENTO "TAB(70)"= " A(75) '
FDRE
1040 LPRINT "A(76) - ALTURA DO TUBO DE MEDIDA, M "TAB(70) "= " A(76) 'L
1050 LPRINT "A(77) - FATOR CONT.IMPRESSAO RESULTADOS,R. AC. "TAB(70)"= " A(77)
'FCIRA
1060 LPRINT "A(78) - FATOR CONT.IMPRESSAO RESULTADOS,R. EST. "TAB(70)"= " A(78)
'FCIRE
1070 LPRINT "A(79)-FATOR DE COMPONENTE "TAB(70)"= " A(79) 'FCOMP
1080 LPRINT "FCOMP=0 => GAS SOMENTE "
1090 LPRINT "FCOMP=1 => UMA PARTICULA "
1100 LPRINT "FCOMP=2 => VARIAS PARTICULAS "
1110 IF A(0)<>2 GOTO 1150
1120 LPRINT "A(80) - FATOR DE INTERACAO ENTRE PARTICULAS " TAB(70)"= " A(80) '
FITER
1130 LPRINT "FITER=0 => SEM INTERACAO "
1140 LPRINT "FITER=1 => COM INTERACAO "
1150 LPRINT "A(81) - FATOR DE NUMERO DE NUSSEL "TAB(70)"= " A(81) 'FDNUSSEL
1160 LPRINT "FDNUSSEL=0 => DETERMINACAO DO NUMERO DE NUSSEL MEDIO"
1170 LPRINT "FDNUSSEL=1 => DETERMINACAO DAS VARIABEIS FLUIDODINAMICA E TROCA TER
MICA"
1180 LPRINT:LPRINT
1190 LPRINT TAB(25) " TERMINO DOS DADOS DE ENTRADA"
1200 LPRINT CHR$(12)
1210 LPRINT
1220 LPRINT
1230 CLS:LOCATE 5,20:PRINT "AGUARDE - CALCULANDO"
1240 CLS
1250 PRINT "-----EM OPERACAO-----"
"
1260 ' DEFINICOES DE FUNCOES
1270 DEF FNROG(P,T)=(.003486*P)/T
1280 DEF FNROGPC(P,T)=(.003486*P)/T
1290 DEF FNCPG(TG)=1000*(.9774+1.12454E-04*TG+1.90346E-08*TG^2)
1300 DEF FNMUG(T)=3.9895E-08*T+6.644001E-06
1310 DEF FNMUGPC(T)=3.9895E-08*T+6.644001E-06
1320 DEF FNVG(MG,ROG,A,SNU)=MG/(ROG*A*(1 - SNU))
1330 ' FATORES DE CONVERSAO
1340 ' FCUP = FATOR TRANSFORMACAO DE MM H2O EM PASCAL
1350 FCUP=9.799299
1360 FCOMP=A(79)

```

```

1370 FDNUSSEL=A(81)
1380 XX(1)=0.1:XX(2)=.26:XX(3)=.42:XX(4)=.5800001:XX(5)=.74:XX(6)=.9
1390 XX(7)=1.06:XX(8)=1.36:XX(9)=1.86:XX(10)=2.36:XX(11)=2.86:XX(12)=3.36
1400 XX(13)=4.02
1410 XXX(1)=.12:XXX(2)=.21:XXX(3)=.31:XXX(4)=.41
1420 XXX(5)=.61:XXX(6)=1.11:XXX(7)=1.61:XXX(8)=2.11:XXX(9)=2.61
1430 XXX(10)=3.11:XXX(11)=3.61:XXX(12)=4.02
1440 FOR I=1 TO 13
1450   PRINT #3, USING " ##.###";XX(I);
1460 NEXT I
1470 PRINT #3," "
1480 FOR I=1 TO 12
1490   PRINT #3, USING " ##.###";XXX(I);
1500 NEXT I
1510 PRINT #3," "
1520 PMM(3)=A(46)
1530 FOR I=1 TO 2
1540   PMM(3-I)=PMM(4-I)+A(50-I)
1550 NEXT I
1560 FOR I=4 TO 12
1570   PMM(I)=PMM(I-1)-A(46+I)
1580 NEXT I
1590 FOR I=1 TO 12
1600   PRINT #3,USING " #####.###";PMM(I);
1610 NEXT I
1620 PRINT #3, " "
1630 P(3)=A(46)*FCUP
1640 FOR I=1 TO 2
1650   P(3-I)=P(4-I)+A(50-I)*FCUP
1660 NEXT I
1670 FOR I=4 TO 12
1680   P(I)=P(I-1)-A(46+I)*FCUP
1690 NEXT I
1700 FOR I=1 TO 12
1710   PRINT #3, USING " ###.##";P(I);
1720 NEXT I
1730 *****
1740   CLOSE #3
1750 *****
1760 IF FCDMP=0 GOTO 1800
1770 FOR I=64 TO 63+A(0)
1780   A(I)=A(I)*9.999999E-07
1790 NEXT I
1800 A(63)=4186.8*A(63)
1810 D=.0254*A(74)
1820 A(1)=9.999999E-04*A(1)
1830 A(2)=9.999999E-04*A(2)
1840 A(7)=A(7)/3600
1850 G=9.809999
1860 RM=.003486
1870 CSI=.00015
1880 ' CALCULO DA VAZAO DE GAS
1890 ' DILPO DIAMETRO INTERNO DA LINHA DA PLACA DE ORIFICIO
1900 ' EM POLEGADAS
1910 FITER=A(80)
1920 DILPO=2.067

```

```

1930 D1=DILPO
1940 D2=D1*.0254
1950 DM=A(3)/25.4
1960 BETA=DM/D1
1970 KM=1.4
1980 PMPOMM=A(4)*10010+9343
1990 P=(A(4)+.943)*100000!
2000 T=A(5)+273.15
2010 ROG=FNROG(P,T)
2020 MUG=FNMUG(T)
2030 FC=1!
2040 KL=.598+.01*BETA+1.947E-05*(10*BETA)^4.425
2050 S=KL*(BETA^2)
2060 XM=A(6)/PMPOMM
2070 Y1=1-(.41+.35*(BETA^4))*XM/KM
2080 EF1=830-5000*BETA+9000*(BETA^2)-4200*(BETA^3)+530/(D1^.5)
2090 EF=DM*EF1
2100 K01=.5993+.007/D1+(.364+.076/(D1^.5))*(BETA^4)
2110 IF (.07+.5/D1 - BETA) <= 0 THEN K02=0 ELSE 2130
2120 GOTO 2140
2130 K02=.4*((1.6-1/D1)^5)*((.07+.5/D1-BETA)^(5/2))
2140 IF (.5-BETA) <= 0 THEN K03=0 ELSE 2160
2150 GOTO 2170
2160 K03=(8.999999E-03+.034/D1)*((.5-BETA)^(3/2))
2170 IF (BETA-.7) <= 0 THEN K04=0 ELSE 2190
2180 GOTO 2200
2190 K04=(65/(D1^2)+3)*((BETA-.7)^(5/2))
2200 KON=K01+K02-K03+K04
2210 K0D=1+.000015*EF1
2220 K0=KON/K0D
2230 MG=.00224*S*D1^2*FC*Y1*(A(6)*ROG)^.5
2240 RGD=(1.2732*MG)/(D2*MUG)
2250 K=K0*(1+EF*BETA/RGD)
2260 FC1=K/KL
2270 IF ABS(FC1-FC) < 9.999999E-04 GOTO 2300
2280 FC=FC1
2290 GOTO 2230
2300 ' INICIALIZACAO DAS VARIAVEIS
2310 PI=3.14159
2320 PAMB=.925
2330 'PAMB=PRESSAO BARDOMETRICA EM SAO MATEUS DO SUL EM "BAR"
2340 FTBARPA=92508!
2350 'FTBARPA=FATOR DE TRANSFORMACAO DE UNIDADE DE PRESSAO DE BAR P/ PASCAL
2360 PAMB=PAMB*FTBARPA
2370 A=(PI*D^2)/4
2380 MG1=MG*3600
2390 MS=A(7)*3600
2400 TR=50
2410 TC=(TGBTM+TR)/2
2420 T=TC+273.15
2430 CPG=FNCPG(T)
2440 TR1=A(7)*A(63)*A(38)+MG*CPG*TGBTM
2450 TR2=A(7)*A(63)+MG*CPG
2460 TR=TR1/TR2
2470 TMCH=(TGBTM+TR)/2
2480 AXT=ABS(TMCH-TC)

```

```

2490 TC=TMCH
2500 IF AXT > .1 GOTO 2420
2510 T=TMCH+273.15
2520 PMCH=(A(46)+A(47))/2
2530 P=PMCH*FCUP+92500!
2540 ROG=FNROG(P,T)
2550 MUG=FNMUG(T)
2560 IF FCOMP < 1 GOTO 3070
2570 LPRINT:LPRINT
2580 LPRINT TAB(30)" RESULTADOS "
2590 LPRINT:LPRINT
2600 LPRINT "NUMERO DO TESTE" TAB(70) "= " TESTE$
2610 LPRINT:LPRINT
2620 IF FDNUSSEL=1 GOTO 3610
2630 IF FCOMP < 1 GOTO 3070
2640 LPRINT "CALCULO DA TEMPERATURA TEORICA MAXIMA DOS SOLIDOS NA SAIDA DO T.M.=
TR"
2650 LPRINT
2660 LPRINT
2670 LPRINT "TR= ";
2680 LPRINT TR
2690 LPRINT:LPRINT
2700 GOSUB 6680
2710 GOSUB 6780
2720 GOSUB 6960
2730 LPRINT " CALCULO DA POROSIDADE MEDIA AO LONGO DO TUBO DE MEDIDA"
2740 LPRINT:LPRINT
2750 LPRINT "POROSIDADE=EPSILONRE= ";
2760 LPRINT EPSILONRE
2770 BETAVRE=BETAV
2780 LPRINT "BETAVRE=BETAV CONSIDERANDO QUE TODO O TUBO DE MEDIDA ESTA EM"
2790 LPRINT "REGIME ESTABELECIDO ONDE BETAV=SNU/(1-SNU) " :LPRINT
2800 LPRINT "BETAVRE= ";
2810 LPRINT BETAVRE :LPRINT
2820 RSE=RS
2830 RFE=RG
2840 VSE=VS
2850 VFE=VG
2860 FPE=FP
2870 LPRINT "VFE= ";
2880 LPRINT VFE : LPRINT
2890 LPRINT "VSE= ";
2900 LPRINT VSE : LPRINT
2910 LPRINT "RFE= ";
2920 LPRINT RFE : LPRINT
2930 LPRINT "RSE= ";
2940 LPRINT RSE : LPRINT
2950 LPRINT "FPE= ";
2960 LPRINT FPE : LPRINT
2970 LPRINT "ROG= ";
2980 LPRINT ROG : LPRINT
2990 LPRINT "MUG= ";
3000 LPRINT MUG : LPRINT
3010 LPRINT "COEFICIENTE TROCA TERMICA MEDIO= ";
3020 LPRINT HTC : LPRINT
3030 LPRINT "LAMBDA= "; : LPRINT LAMBDA : LPRINT

```

```

3040 NUSSELE=NUSSEL
3050 LPRINT "NUSSELE= ";
3060 LPRINT NUSSELE : LPRINT
3070 IF FCOMP=0 GOTO 3110
3080 FOR I=1 TO A(0)
3090 X(I)=A(I+7)
3100 NEXT I
3110 A(38)=A(38)+273.15
3120 LPRINT TAB(75) TESTE$
3130 LPRINT CHR$(30)+"4"
3140 IF FCOMP ( ) 1 GOTO 3240
3150 LPRINT "MG=";
3160 LPRINT USING "###.###";MG1
3170 LPRINT "MS=";
3180 LPRINT USING "####.##";MS
3190 IF FCOMP=0 GOTO 3240
3200 FOR I=1 TO A(0)
3210 LPRINT "X("I")=";X(I)
3220 NEXT I
3230 GOTO 5174
3240 IN=10
3250 IT=10
3260 IN1=IN+IT
3270 IN11=IN1-2
3280 IN2=IN1+IT
3290 IN3=IN2+IT
3300 IN33=IN3+1
3310 IN4=IN3+IT
3320 IN44=IN4-1
3330 IN5=IN4+IT
3340 IN55=IN5+1
3350 IF FCOMP ( ) 1 GOTO 3370
3360 LPRINT CHR$(12)
3370 LPRINT :LPRINT: LPRINT
3380 LPRINT CHR$(27) "G"
3390 GOTO 3440
3400 LPRINT TAB(9) "TABELA          PERFIS DAS VARIAVEIS FLUIDODINAMICAS E TERMICA
S "
3410 LPRINT TAB(9) "          OBTIDOS POR MODELO DE SIMULACAO,CONSIDERANDO"
3420 LPRINT TAB(9) "          O EFEITO DE MISTURA E COM INTERACAO ENTRE AS"
3430 LPRINT TAB(9) "          PARTICULAS."
3440 LPRINT TAB(9) "          NUMERO DO TESTE=      "
3450 LPRINT : LPRINT
3460 LPRINT CHR$(30); "1";CHR$(27); "S";CHR$(1);
3470 LPRINT CHR$(30)+"4"
3480 WIDTH "LPT1:",163
3490 LPRINT TAB(IN) "X" TAB(IN1) "p" TAB(IN2) "VF" TAB(IN33) "TF";
3500 IF FCOMP=0 GOTO 3720
3510 LPRINT TAB(IN44) "EPSILON" TAB(IN55) "TS";
3520 IN6=IN5-1
3530 II=IN6
3540 FOR I=1 TO A(0)
3550 II=II+IT
3560 IF FCOMP=1 GOTO 3590
3570 LPRINT TAB(II) "VS("I")";
3580 GOTO 3600

```

```

3590 LPRINT TAB(II) "VS";
3600 NEXT I
3610 IF FCOMP=1 GOTO 3730
3620 II=IN6+IT*A(0)
3630 FOR I=1 TO A(0)
3640 II=II+IT
3650 LPRINT TAB(II) "TS("I")";
3660 NEXT I
3670 II=IN6+IT*2*A(0)
3680 FOR I=1 TO A(0)
3690 II=II+IT
3700 LPRINT TAB(II) "Y("I")";
3710 NEXT I
3720 LPRINT
3730 LPRINT TAB(IN) "M" TAB(IN11) "PASCAL" TAB(IN2) "M/S" TAB(IN33) "C";
3740 IF FCOMP=0 GOTO 3990
3750 LPRINT TAB(IN4) "M3/M3" TAB(IN55) "C";
3760 II=IN5
3770 FOR I=1 TO A(0)
3780 II=II+IT
3790 LPRINT TAB(II) "M/S";
3800 NEXT I : IF FCOMP=1 GOTO 3910
3810 II=IN55+IT*A(0)
3820 FOR I=1 TO A(0)
3830 II=II+IT
3840 LPRINT TAB(II) "C";
3850 NEXT I
3860 II=IN5+IT*2*A(0):II=II-1
3870 FOR I=1 TO A(0)
3880 II=II+IT
3890 LPRINT TAB(II) "M3/M3";
3900 NEXT I
3910 LPRINT : LPRINT
3920 IF FCOMP=0 GOTO 3990
3930 FOR I=1 TO A(0)
3940 YY(I)=A(I+7)
3950 NU(I)=(1-A(61))*YY(I)
3960 VS(I)=(A(7)*YY(I))/(A(62)*A*NU(I))
3970 TS(I)=A(38)
3980 NEXT I
3990 P=A(46)*FCUP+92500!
4000 TG=TGBTM+273.15
4010 ROG=FNROG(P,TG)
4020 SNU=1-A(61)
4030 VG=FNVG(MG,ROG,A,SNU)
4040 A(7)=A(7)*3600
4050 J=0
4060 H=A(1)
4070 A1=1/2*.5
4080 B=1-A1
4090 C=1+A1
4100 D1=-.5+A1
4110 X=0
4120 RUNGE=1
4130 SAVEF(3*A(0)+3)=0
4140 MM=0

```

```

4150 GOSUB 5800
4160 EPSILON=A(61)
4170 GOSUB 5370
4180 IF X=0 GOTO 4360
4190 GOSUB 6120
4200 IF RUNGE=0 GOTO 4240
4210 GOSUB 5000
4220 GOSUB 5970
4230 GOTO 4170
4240 DF=ABS(F(3*A(0)+3)-SAVEF(3*A(0)+3))
4250 SAVEF(3*A(0)+3)=F(3*A(0)+3)
4260 J=J+1
4270 IF X > 1 AND X <= 2 THEN TPAR=A(41)
4280 IF X > 2 AND X <= 3 THEN TPAR=A(42)
4290 IF X > 3 THEN TPAR=A(43)
4300 IF H=A(2) GOTO 4330
4310 IF DF < A(75) THEN H=A(2) ELSE 4340
4320 GOTO 4360
4330 IF (J\A(78))*A(78)=J THEN 4360 ELSE 4350
4340 IF (J\A(77))*A(77)=J THEN 4360
4350 IF X < A(76) THEN 4210
4360 SGS=0
4370 SGSTS=0
4380 *** ROTINA DE GRAVACAO DOS RESULTADOS ***
4390 OPEN "A",#2,"S2001.DAT"
4400 PRINT #2, USING " ##.###";X
4410 IF FCOMP=0 GOTO 4540
4420 FOR I=1 TO A(0)
4430     SGSTS=SGSTS+GS(I)*TS(I)
4440     YY(I)=NU(I)/SNU
4450     YX(I)=YY(I)/X(I)
4460     SGS=SGS+GS(I)
4470 NEXT I
4480 TS=SGSTS/SGS
4490 TSC=TS-273.15
4500 FOR I=1 TO A(0)
4510     TSC(I)=TS(I)-273.15
4520 NEXT I
4530 EPSILON=1-SNU
4540 TGC=TG-273.15
4550 PRINT #2, USING " ##.###";VG
4560 PRINT #2, USING " ###.##";TGC
4570 IF FCOMP=0 GOTO 4620
4580 FOR I = 1 TO A(0)
4590     PRINT #2, USING " ###.###";VS(I)
4600     PRINT #2, USING " ###.##";TSC(I)
4610 NEXT I
4620 PMM=(P-92500!)/9.799299
4630 PMAN=P-92500!
4640 PRINT #2, USING " #.####";YX(1)
4650 PRINT #2, USING " #####.##";PMAN
4660 X1=X*1000
4670 LPRINT USING "      #.##      ";X;
4680 LPRINT USING "#####.##      ";PMAN;
4690 LPRINT USING "#####.##      ";VG;
4700 LPRINT USING "#####.##      ";TGC;

```

```

4710 IF FCOMP=0 GOTO 4860
4720 LPRINT USING "#.#### ",EPSILON;
4730 PRINT #2,USING " #####.#####";TSC
4740 LPRINT USING "####.## ",TSC;
4750 FOR I=1 TO A(0)
4760 LPRINT USING "####.## ",VS(I);
4770 NEXT I
4780 IF FCOMP=1 GOTO 4860
4790 FOR I=1 TO A(0)-1
4800 LPRINT USING "####.## ",TSC(I);
4810 NEXT I
4820 LPRINT USING "####.## ",TSC(A(0));
4830 FOR I=1 TO A(0)
4840 LPRINT USING "#.#### ",YY(I);
4850 NEXT I
4860 LPRINT
4870 '*** FIM ROTINA GRAVACAO DOS RESULTADOS ***
4880 CLOSE #2
4890 IF X=0 THEN 4190
4900 IF X(A(76)) GOTO 4210
4910 LPRINT:LPRINT
4920 'LPRINT TAB(30) " TERMINO DOS RESULTADOS "
4930 LPRINT CHR$(12)
4940 'LPRINT CHR$(27) "H"
4950 'LPRINT CHR$(30);"0";CHR$(27);"T"
4960 SYSTEM
4970 GOTO 4990
4980 LPRINT CHR$(12)
4990 END
5000 'SUBROTINA RUNGE-RUTTA GILL
5010 MM=MM+1
5020 ON MM GOTO 5030,5130,5210,5290
5030 FOR I=1 TO 3*A(0)+3
5040     K(I)=F(I)
5050     PHI(I)=K(I)
5060     SAVEY(I)=Y(I)
5070     SAVEK(I)=K(I)
5080     Y(I)=SAVEY(I)+.5*H*K(I)
5090 NEXT I
5100 X=X+.5*H
5110 RUNGE=1
5120 RETURN
5130 FOR I=1 TO 3*A(0)+3
5140     K(I)=F(I)
5150     PHI(I)=PHI(I)+2*B*K(I)
5160     Y(I)=SAVEY(I)+D1*H*SAVEK(I)+B*H*K(I)
5170     SAVEK(I)=K(I)
5180 NEXT I
5190 RUNGE=1
5200 RETURN
5210 FOR I=1 TO 3*A(0)+3
5220     K(I)=F(I)
5230     PHI(I)=PHI(I)+2*C*K(I)
5240     Y(I)=SAVEY(I)-A1*H*SAVEK(I)+C*H*K(I)
5250 NEXT I
5260 X=X+.5*H

```

```

5270 RUNGE=1
5280 RETURN
5290 FOR I=1 TO 3*A(0)+3
5300     K(I)=F(I)
5310     PHI(I)=PHI(I)+K(I)
5320     Y(I)=SAVEY(I)+(H*PHI(I))/6
5330 NEXT I
5340 RUNGE=0
5350 MM=0
5360 RETURN
5370 'SUBROTINA CALCULO DAS PROPRIEDADES
5380 ROG=FNROG(P,TG)
5390 MUG=FNMUG(TG)
5400 CPG=1000*(.9774+1.12454E-04*TG+1.90346E-08*TG^2)
5410 KG=3.8793E-04+9.542501E-05*TG-3.0699E-08*TG^2
5420 RG=(ROG*VG*D)/MUG
5430 IF RG(2000 THEN FG=64/RG ELSE 5450
5440 GOTO 5550
5450 LN=1!/LOG(10)
5460 ' UNIDADE DE CSI E PES
5470 CSI=CSI*.3048
5480 FG1=CSI/(3.7*D)
5490 FG2=FG1+14.5/RG
5500 FG3=LN*LOG(FG2)
5510 FG4=(5.02/RG)*FG3
5520 FG5=FG1-FG4
5530 FG6=-2*LN*LOG(FG5)
5540 FG=FG6^-2
5550 SNU=0
5560 IF FCOMP=0 GOTO 5660
5570 FOR I=1 TO A(0)
5580     SNU=SNU+NU(I)
5590 NEXT I
5600 FOR I=1 TO A(0)
5610     RS(I)=((1-SNU)*ROG*A(I+63)*(VG-VS(I)))/MUG
5620     FRS(I)=(1+.15*(RS(I)^.687))
5630     IF RS(I) <= 1000 THEN CDS(I)=(24/RS(I)*FRS(I)) ELSE CDS(I)=.44
5640 NEXT I
5650 BETAV=SNU/(1-SNU)
5660 FFG=(FG*(1-SNU)*ROG*VG^2)/(2*D)
5670 GG=ROG*VG*(1-SNU)
5680 IF FCOMP=0 GOTO 5790
5690 FOR I=1 TO A(0)
5700     FP(I)=.12*(VS(I)/((G*D)^.5))^(-.47)
5710     FFS(I)=(VS(I)^2*FP(I)*A(62)*NU(I))/(2*D)
5720     FS(I)=(3*ROG*(VG-VS(I))^2*CDS(I)*((1-SNU)^(-2.65))*NU(I))/(4*A(I+63))
5730     GS(I)=A(62)*VS(I)*NU(I)
5740     S(I)=6*NU(I)/A(I+63)
5750     KCH(I)=.001285
5760     NUSSEL(I)=KCH(I)*BETAV^(-.5724)*RS(I)^.9816
5770     H(I)=(KG*NUSSEL(I))/A(I+63)
5780 NEXT I
5790 RETURN
5800 'SUBROTINA PARA TRANSFORMACAO DE VARIAVEIS
5810 ' ESTA SUBROTINA TRANSFORMA VARIAVEIS ESPECIFICADAS EM
5820 ' VARIAVEIS GERAIS

```

```

5830 IF FCOMP=0 GOTO 5930
5840 FOR I=1 TO A(0)
5850     Y(I)=VS(I)
5860 NEXT I
5870 FOR I=A(0)+1 TO 2*A(0)
5880     Y(I)=NU(I - A(0))
5890 NEXT I
5900 FOR I=2*A(0)+1 TO 3*A(0)
5910     Y(I)=TS(I-2*A(0))
5920 NEXT I
5930 Y(3*A(0)+1)=VG
5940 Y(3*A(0)+2)=TG
5950 Y(3*A(0)+3)=P
5960 RETURN
5970 'SUBROTINA PARA TRANSFORMACAO DE VARIABEIS GERAIS EM V.ESPECIFICADAS
5980 IF FCOMP=0 GOTO 6080
5990 FOR I=1 TO A(0)
6000     VS(I)=Y(I)
6010 NEXT I
6020 FOR I=A(0)+1 TO 2*A(0)
6030     NU(I-A(0))=Y(I)
6040 NEXT I
6050 FOR I=2*A(0)+1 TO 3*A(0)
6060     TS(I-2*A(0))=Y(I)
6070 NEXT I
6080 VG=Y(3*A(0)+1)
6090 TG=Y(3*A(0)+2)
6100 P=Y(3*A(0)+3)
6110 RETURN
6120 'SUBROTINA PARA CALCULO DAS DERIVADAS F(I)
6130 ' ESTA SUBROTINA CALCULA A DERIVADA EM RELACAO A X DE: NU(I), VS(I)
6140 ' TS(I), VG, TG E P
6150 SDNUDX=0
6160 SCC=0
6170 SFFS=0
6180 SNUVDVS=0
6190 IF FCOMP=0 GOTO 6420
6200 FOR I=1 TO A(0)
6210     F(I)=(1/(A(62)*VS(I)*NU(I)))*(FS(I)-A(62)*G*NU(I)-FFS(I))
6220 NEXT I
6230 IF A(0) < 2 GOTO 6310
6240 IF FITER=0 GOTO 6310
6250 IP=((1+A(64)/A(65))^2)/(1+NU(1)/NU(2))
6260 I12=((9/2)*NU(1)*NU(2)*((VS(1)-VS(2))^2))*(A(62)/A(65))*IP
6270 I(1)=I12/(A(62)*VS(1)*NU(1))
6280 I(2)=I12/(A(62)*VS(2)*NU(2))
6290 F(1)=F(1)-I(1)
6300 F(2)=F(2)+I(2)
6310 FOR I=1 TO A(0)
6320     DVSDX(I)=F(I)
6330 NEXT I
6340 FOR I=A(0)+1 TO 2*A(0)
6350     F(I)=-((NU(I-A(0))/VS(I-A(0)))*F(I-A(0)))
6360     SDNUDX=SDNUDX+F(I)
6370 NEXT I
6380 FOR I=2*A(0)+1 TO 3*A(0)

```

```

6390      F(I)=(H(I-2*A(0))*S(I-2*A(0))*(TG-TS(I-2*A(0))))/(GS(I-2*A(0))*A(63))
6400      SCC=SCC+H(I-2*A(0))*S(I-2*A(0))*(TG-TS(I-2*A(0)))
6410 NEXT I
6420 F(3*A(0)+2)=-SCC/(GG*CPG)
6430 IF FCOMP=0 GOTO 6480
6440 FOR I=1 TO A(0)
6450      SNUVDVS=SNUVDVS+NU(I)*VS(I)*DVSDX(I)
6460      SFFS=SFFS+FFS(I)
6470 NEXT I
6480 FF1=ROG*(1-SNU)*VG
6490 FF2=A(62)*SNUVDVS
6500 FF3=A(62)*G*SNU
6510 FF4=ROG*G*(1-SNU)
6520 FF5=SFFS
6530 FF6=FFG
6540 FFF=FF2+FF3+FF4+FF5+FF6
6550 AVG=-(VG*RM)/(ROG*TG)
6560 BVG=(VG*RM*P)/(ROG*(TG^2))
6570 CVG=(VG/(1-SNU))*SDNUDX
6580 DVG=BVG+F(3*A(0)+2)+CVG
6590 AF1=-AVG*FF1
6600 AF6=-AVG*FFF
6610 IF X (= .31 THEN AF1=0
6620 IF X (= .31 THEN AF6=0
6630 AF7=AF6+DVG
6640 F(3*A(0)+1)=AF7/(1-AF1)
6650 F(3*A(0)+3)=- (FF1*F(3*A(0)+1)+FFF)
6660 IF X (= .31 THEN F(3*A(0)+3)=0
6670 RETURN
6680 'SUBROTINA INICIALIZACAO DE VARIAVEIS
6690 EPSLONRE=A(61)
6700 VS=A(7)/(A(62)*A*(1-EPSLONRE))
6710 VG=MG/(ROG*A*EPSLONRE)
6720 RETURN
6730 'SUBROTINA PARA CALCULO DE CDS
6740 RS=(A(64)*ROG*VR)/MUG
6750 FRS=(1+.15*(RS^.687))
6760 IF RS <=1000 THEN CDS=(24/RS)*FRS ELSE CDS=.44
6770 RETURN
6780 'SUBROTINA PARA CALCULO DA POROSIDADE MEDIA AO LONGO DO TUBO DE MEDIDA
6790 FP=.12*(VS/((G*D)^.5))^(-.47)
6800 VR=VG-VS
6810 'CHAMANDO SUBROTINA PARA CALCULO DE CDS
6820 GOSUB 6730
6830 FVEL1=FP*(VS^2)
6840 FVEL2=2*D*G
6850 FVEL3=(1+FVEL1/FVEL2)*(EPSLONRE^2.65)
6860 VTD=(4*A(64)*A(62)*G)/(3*ROG*CDS)
6870 FVEL4=FVEL3*VTD
6880 FVEL=FVEL4^.5
6890 VSC=VG-FVEL
6900 AX2=ABS(VSC-VS)
6910 VS=(VSC+VS)/2
6920 EPSLONRE=1-A(7)/(A(62)*A*VS)
6930 VG=MG/(ROG*A*EPSLONRE)
6940 IF AX2 >.1 GOTO 6790

```

```

6950 RETURN
6960 'SUBROTINA PARA CALCULO DE H
6970 NU=1-EPSONRE
6980 'CHAMANDO SUBROTINA DE CALCULO DE PROPRIEDADES ESPECIFICAS
6990 GOSUB 7330
7000 FICH=(CPG*GG)/(A(63)*GS)
7010 ALINHA=-FICH*TGBTM-A(38)
7020 BLINHA=1+FICH
7030 DCH=ALINHA+BLINHA*TGBTM
7040 YCH(1)=0
7050 XX1(1)=XX(1)
7060 FOR I=2 TO 13
7070 XX1(I)=XX(I)
7080 IF A(I+19) ( TR THEN XX1(I)=0
7090 NEXT I
7100 FOR I=2 TO 13
7110 NCH(I)=ALINHA+BLINHA*A(I+19)
7120 IF A(I+19) ( TR GOTO 7150
7130 YCH(I)=LOG(NCH(I)/DCH)
7140 GOTO 7160
7150 YCH(I)=0
7160 NEXT I
7170 SPXYCH=0
7180 SXEQ=0
7190 SYCH=0
7200 SX=0
7210 FOR I=1 TO 13
7220 XEQ=XX1(I)^2
7230 PXYCH=XX1(I)*YCH(I)
7240 SYCH=SYCH+YCH(I)
7250 SX=SX+XX1(I)
7260 SXEQ=SXEQ+XEQ
7270 SPXYCH=SPXYCH+PXYCH
7280 NEXT I
7290 LAMBDA=(SYCH+SPXYCH)/(SX+SXEQ)
7300 HTC=-(LAMBDA*CPG*GG)/(BLINHA*STC)
7310 NUSSEL=(HTC*A(64))/KG
7320 RETURN
7330 'SUBROTINA PARA CALCULO DAS PROPRIEDADES ESPECIFICAS
7340 NU=1-EPSONRE
7350 CPG=1000*(.9774+1.12454E-04*T+1.90346E-08*T^2)
7360 KG=3.8793E-04+9.542501E-05*T-3.0699E-08*T^2
7370 VG=MG/(ROG*A*EPSONRE)
7380 VS=A(7)/(A(62)*A*(1-EPSONRE))
7390 RG=(ROG*VG*D)/MUG
7400 RS=(ROG*(VG-VS)*A(64))/MUG
7410 SNU=NU
7420 BETAV=SNU/(1-SNU)
7430 GG=ROG*VG*(1-SNU)
7440 GS=A(62)*VS*NU
7450 STC=(6*NU)/A(64)
7460 RETURN

```

ANEXO 13

RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DOS TESTES
EXPERIMENTAIS COM PARTICULAS SOLIDAS
DE DIAMETRO UNIFORME

TABELA A13.1. PERFIS DAS VARIÁVEIS FLUIDODINÂMICAS E TÉRMICAS
OBTIDOS POR MODELO DE SIMULAÇÃO PARA TESTES COM PAR-
TÍCULAS SÓLIDAS DE DIÂMETRO UNIFORME.

NUMERO DO TESTE= 1

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	1117.12	14.38	174.52	0.99000	81.26	1.15
0.25	1117.12	13.00	135.07	0.99870	101.85	8.41
0.50	1072.30	12.72	126.37	0.99884	106.33	9.40
0.75	1025.59	12.59	122.03	0.99888	108.57	9.73
1.00	984.20	12.51	119.36	0.99889	109.95	9.85
1.25	944.84	12.46	117.57	0.99889	110.87	9.88
1.50	906.30	12.43	116.31	0.99889	111.52	9.88
1.75	868.02	12.40	115.41	0.99889	111.98	9.86
2.00	829.73	12.39	114.77	0.99889	112.31	9.85
2.25	791.27	12.38	114.31	0.99889	112.55	9.84
2.50	752.58	12.37	113.98	0.99889	112.72	9.83
2.75	713.92	12.37	113.74	0.99889	112.84	9.82
3.00	675.00	12.37	113.57	0.99889	112.93	9.82
3.25	635.94	12.37	113.45	0.99888	112.99	9.82
3.50	596.88	12.37	113.37	0.99888	113.04	9.82
3.75	557.81	12.38	113.30	0.99888	113.07	9.82
4.00	518.75	12.38	113.26	0.99889	113.09	9.82
4.02	515.63	12.38	113.26	0.99889	113.09	9.82

NUMERO DO TESTE= 2

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	1205.31	14.19	168.30	0.99000	65.43	1.23
0.25	1205.31	12.62	122.87	0.99851	86.44	8.23
0.50	1157.84	12.31	112.95	0.99866	91.02	9.14
0.75	1108.06	12.16	107.99	0.99870	93.30	9.43
1.00	1064.23	12.07	104.93	0.99871	94.71	9.52
1.25	1021.74	12.01	102.88	0.99871	95.65	9.53
1.50	980.73	11.97	101.44	0.99871	96.31	9.51
1.75	939.71	11.94	100.42	0.99871	96.78	9.49
2.00	898.70	11.92	99.70	0.99871	97.11	9.47
2.25	857.68	11.91	99.18	0.99870	97.35	9.45
2.50	815.23	11.90	98.82	0.99870	97.52	9.44
2.75	772.27	11.90	98.56	0.99870	97.64	9.44
3.00	729.30	11.90	98.37	0.99870	97.72	9.43
3.25	686.33	11.90	98.24	0.99870	97.78	9.43
3.50	643.36	11.90	98.15	0.99870	97.82	9.43
3.75	600.39	11.91	98.08	0.99870	97.85	9.43
4.00	557.42	11.91	98.03	0.99870	97.87	9.43
4.02	553.81	11.91	98.03	0.99870	97.87	9.43

NUMERO DO TESTE= 3

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	1518.89	14.31	172.79	0.99000	74.46	1.88
0.25	1518.89	12.67	124.80	0.99799	90.79	8.29
0.50	1456.83	12.34	114.42	0.99818	94.31	9.19
0.75	1392.87	12.19	109.31	0.99824	96.04	9.46
1.00	1336.41	12.09	106.20	0.99825	97.10	9.55
1.25	1282.84	12.04	104.13	0.99825	97.79	9.56
1.50	1229.68	12.00	102.71	0.99825	98.27	9.54
1.75	1176.95	11.97	101.72	0.99825	98.61	9.52
2.00	1123.83	11.96	101.02	0.99824	98.85	9.50
2.25	1070.70	11.95	100.53	0.99824	99.01	9.49
2.50	1017.27	11.94	100.19	0.99824	99.13	9.48
2.75	963.69	11.94	99.95	0.99824	99.21	9.47
3.00	909.78	11.94	99.78	0.99824	99.26	9.47
3.25	855.88	11.95	99.66	0.99824	99.30	9.47
3.50	801.97	11.95	99.58	0.99824	99.33	9.47
3.75	748.06	11.96	99.52	0.99824	99.35	9.47
4.00	694.16	11.96	99.48	0.99824	99.36	9.47
4.02	689.84	11.96	99.48	0.99824	99.37	9.47

NUMERO DO TESTE= 4

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	1616.88	18.60	175.21	0.99000	72.81	0.65
0.25	1616.88	17.12	143.46	0.99941	110.04	10.65
0.50	1579.17	16.86	136.95	0.99948	117.64	12.14
0.75	1538.83	16.74	133.86	0.99951	121.24	12.74
1.00	1503.02	16.67	132.04	0.99952	123.36	13.01
1.25	1468.63	16.63	130.86	0.99952	124.74	13.13
1.50	1435.42	16.60	130.05	0.99952	125.68	13.19
1.75	1402.22	16.59	129.48	0.99952	126.34	13.21
2.00	1369.02	16.57	129.07	0.99952	126.82	13.22
2.25	1335.81	16.57	128.78	0.99952	127.15	13.22
2.50	1302.61	16.56	128.57	0.99952	127.40	13.22
2.75	1269.41	16.56	128.42	0.99952	127.57	13.22
3.00	1236.20	16.57	128.31	0.99952	127.70	13.22
3.25	1203.00	16.57	128.23	0.99952	127.79	13.22
3.50	1169.80	16.57	128.17	0.99952	127.86	13.22
3.75	1136.59	16.58	128.13	0.99952	127.90	13.22
4.00	1103.39	16.58	128.10	0.99952	127.94	13.22
4.02	1100.60	16.58	128.10	0.99952	127.94	13.22

NUMERO DO TESTE= 5

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	1763.88	18.59	176.95	0.99800	77.40	1.34
0.25	1763.88	16.70	134.54	0.99873	100.67	10.51
0.50	1698.30	16.33	125.51	0.99887	105.61	11.87
0.75	1631.52	16.17	121.16	0.99892	107.99	12.39
1.00	1573.72	16.07	118.56	0.99894	109.41	12.60
1.25	1519.45	16.01	116.84	0.99895	110.35	12.68
1.50	1466.72	15.97	115.65	0.99895	110.99	12.71
1.75	1415.59	15.94	114.81	0.99895	111.45	12.72
2.00	1364.81	15.93	114.20	0.99895	111.78	12.71
2.25	1314.03	15.92	113.77	0.99895	112.02	12.70
2.50	1263.25	15.91	113.45	0.99895	112.19	12.70
2.75	1212.47	15.91	113.22	0.99895	112.32	12.69
3.00	1161.09	15.91	113.06	0.99895	112.41	12.69
3.25	1108.36	15.92	112.94	0.99895	112.47	12.69
3.50	1055.63	15.92	112.85	0.99895	112.52	12.69
3.75	1002.89	15.93	112.79	0.99895	112.55	12.69
4.00	950.16	15.94	112.75	0.99895	112.57	12.70
4.02	945.73	15.94	112.74	0.99895	112.58	12.70

NUMERO DO TESTE= 6

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	2018.66	18.46	176.42	0.99800	83.27	1.86
0.25	2018.66	16.50	132.03	0.99823	100.89	10.45
0.50	1933.52	16.13	122.63	0.99843	104.60	11.76
0.75	1847.70	15.96	118.15	0.99849	106.37	12.25
1.00	1773.93	15.86	115.50	0.99852	107.42	12.45
1.25	1705.16	15.80	113.77	0.99853	108.10	12.53
1.50	1638.54	15.77	112.59	0.99853	108.57	12.55
1.75	1572.81	15.74	111.75	0.99853	108.90	12.56
2.00	1507.19	15.73	111.16	0.99853	109.13	12.55
2.25	1441.56	15.72	110.74	0.99853	109.30	12.55
2.50	1375.94	15.72	110.45	0.99853	109.41	12.54
2.75	1310.31	15.72	110.23	0.99853	109.50	12.54
3.00	1244.36	15.73	110.08	0.99853	109.56	12.54
3.25	1178.34	15.74	109.97	0.99853	109.60	12.54
3.50	1112.23	15.74	109.89	0.99853	109.63	12.54
3.75	1046.84	15.75	109.84	0.99853	109.65	12.55
4.00	979.44	15.76	109.80	0.99853	109.67	12.55
4.02	974.13	15.76	109.80	0.99853	109.67	12.55

NUMERO DO TESTE= 7

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	3086.78	24.01	178.33	0.99000	86.75	2.10
0.25	3086.78	21.57	135.89	0.99843	106.46	13.20
0.50	2966.33	21.13	127.12	0.99863	110.51	15.06
0.75	2846.33	20.94	123.06	0.99869	112.38	15.83
1.00	2745.02	20.84	120.73	0.99872	113.46	16.20
1.25	2652.20	20.78	119.23	0.99874	114.16	16.38
1.50	2563.53	20.75	118.22	0.99874	114.61	16.47
1.75	2476.88	20.73	117.52	0.99875	114.94	16.52
2.00	2391.17	20.72	117.02	0.99875	115.17	16.54
2.25	2306.00	20.72	116.66	0.99875	115.33	16.55
2.50	2220.84	20.72	116.41	0.99875	115.45	16.56
2.75	2135.69	20.73	116.22	0.99875	115.53	16.56
3.00	2050.53	20.74	116.09	0.99875	115.60	16.57
3.25	1965.28	20.76	116.00	0.99875	115.64	16.58
3.50	1879.73	20.77	115.93	0.99875	115.67	16.59
3.75	1794.19	20.79	115.88	0.99875	115.69	16.60
4.00	1708.56	20.81	115.84	0.99875	115.71	16.61
4.02	1701.69	20.81	115.84	0.99875	115.71	16.61

NUMERO DO TESTE= 8

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	2567.41	24.09	180.67	0.99000	89.94	1.18
0.25	2567.41	22.09	146.75	0.99912	117.52	13.35
0.50	2489.34	21.74	139.77	0.99924	123.18	15.35
0.75	2409.38	21.58	136.64	0.99928	125.80	16.21
1.00	2340.59	21.50	134.67	0.99930	127.32	16.63
1.25	2277.02	21.45	133.47	0.99930	128.28	16.85
1.50	2215.77	21.42	132.66	0.99931	128.94	16.97
1.75	2156.42	21.41	132.09	0.99931	129.40	17.03
2.00	2097.83	21.40	131.68	0.99931	129.73	17.06
2.25	2039.23	21.40	131.38	0.99931	129.97	17.08
2.50	1980.64	21.40	131.17	0.99931	130.14	17.09
2.75	1922.05	21.40	131.02	0.99932	130.27	17.10
3.00	1863.45	21.41	130.90	0.99932	130.36	17.11
3.25	1804.86	21.42	130.82	0.99932	130.42	17.11
3.50	1746.27	21.43	130.76	0.99932	130.47	17.12
3.75	1687.67	21.44	130.72	0.99932	130.51	17.13
4.00	1629.08	21.45	130.68	0.99932	130.53	17.13
4.02	1624.16	21.45	130.68	0.99932	130.53	17.13

NUMERO DO TESTE= 9

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	1558.09	14.43	170.54	0.99000	84.55	1.20
0.25	1558.09	13.38	141.61	0.99767	98.41	5.16
0.50	1510.18	13.05	131.03	0.99803	103.47	6.10
0.75	1457.91	12.86	125.07	0.99816	106.32	6.53
1.00	1411.37	12.74	121.27	0.99822	108.13	6.75
1.25	1367.64	12.67	118.71	0.99825	109.35	6.86
1.50	1325.34	12.61	116.93	0.99826	110.20	6.92
1.75	1283.83	12.58	115.66	0.99827	110.80	6.95
2.00	1242.66	12.55	114.75	0.99827	111.24	6.96
2.25	1201.64	12.54	114.09	0.99827	111.55	6.96
2.50	1160.63	12.53	113.62	0.99827	111.77	6.96
2.75	1119.61	12.52	113.28	0.99827	111.94	6.96
3.00	1078.59	12.52	113.03	0.99827	112.06	6.96
3.25	1037.58	12.52	112.85	0.99827	112.14	6.96
3.50	996.56	12.52	112.71	0.99827	112.21	6.95
3.75	955.55	12.52	112.62	0.99827	112.25	6.95
4.00	914.53	12.53	112.55	0.99827	112.28	6.95
4.02	911.25	12.53	112.55	0.99827	112.29	6.95

NUMERO DO TESTE= 10

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	1705.08	14.24	171.06	0.99000	86.93	1.86
0.25	1705.08	13.12	138.75	0.99641	96.84	5.17
0.50	1637.04	12.73	126.66	0.99692	100.53	6.03
0.75	1563.42	12.53	119.96	0.99711	102.58	6.41
1.00	1498.15	12.40	115.77	0.99719	103.86	6.60
1.25	1436.92	12.32	113.00	0.99723	104.70	6.69
1.50	1377.73	12.27	111.10	0.99724	105.28	6.74
1.75	1319.56	12.23	109.78	0.99725	105.68	6.76
2.00	1261.75	12.21	108.86	0.99725	105.96	6.76
2.25	1204.32	12.20	108.21	0.99725	106.16	6.76
2.50	1146.90	12.19	107.75	0.99725	106.30	6.76
2.75	1089.48	12.19	107.42	0.99725	106.40	6.76
3.00	1031.97	12.19	107.19	0.99725	106.47	6.75
3.25	974.17	12.19	107.03	0.99725	106.52	6.75
3.50	916.36	12.19	106.91	0.99725	106.55	6.75
3.75	858.55	12.20	106.83	0.99725	106.58	6.75
4.00	800.73	12.21	106.78	0.99725	106.60	6.75
4.02	796.11	12.21	106.77	0.99725	106.60	6.75

NUMERO DO TESTE= 11

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	2077.45	18.55	175.38	0.99900	81.99	0.62
0.25	2077.45	17.48	153.32	0.99906	108.46	6.51
0.50	2042.22	17.17	145.80	0.99922	117.47	7.89
0.75	2002.53	17.01	141.65	0.99928	122.44	8.58
1.00	1986.77	16.91	139.05	0.99931	125.55	8.98
1.25	1932.52	16.84	137.31	0.99933	127.63	9.22
1.50	1899.31	16.80	136.10	0.99934	129.07	9.37
1.75	1867.86	16.77	135.24	0.99935	130.10	9.46
2.00	1836.61	16.75	134.62	0.99935	130.84	9.52
2.25	1805.36	16.74	134.17	0.99936	131.38	9.56
2.50	1774.11	16.73	133.84	0.99936	131.77	9.59
2.75	1742.86	16.72	133.59	0.99936	132.07	9.60
3.00	1711.61	16.72	133.41	0.99936	132.28	9.62
3.25	1680.36	16.72	133.28	0.99936	132.44	9.62
3.50	1649.11	16.72	133.18	0.99936	132.56	9.63
3.75	1617.86	16.73	133.10	0.99936	132.65	9.63
4.00	1586.61	16.73	133.05	0.99936	132.71	9.63
4.02	1583.98	16.73	133.05	0.99936	132.71	9.63

NUMERO DO TESTE= 12

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	2400.83	18.61	179.98	0.99900	103.59	1.19
0.25	2400.83	17.50	156.34	0.99819	118.25	6.57
0.50	2342.16	17.16	147.89	0.99850	123.49	7.92
0.75	2278.66	16.98	143.16	0.99862	126.41	8.60
1.00	2222.77	16.86	140.16	0.99868	128.27	8.98
1.25	2170.83	16.79	138.13	0.99871	129.52	9.21
1.50	2121.16	16.74	136.70	0.99873	130.40	9.36
1.75	2072.84	16.71	135.68	0.99874	131.03	9.45
2.00	2025.34	16.68	134.94	0.99875	131.49	9.50
2.25	1978.41	16.67	134.39	0.99876	131.83	9.54
2.50	1931.65	16.66	133.99	0.99876	132.08	9.56
2.75	1885.16	16.66	133.69	0.99876	132.26	9.57
3.00	1838.68	16.66	133.46	0.99876	132.40	9.58
3.25	1792.20	16.66	133.30	0.99876	132.50	9.59
3.50	1746.11	16.66	133.17	0.99876	132.58	9.59
3.75	1700.02	16.66	133.08	0.99876	132.64	9.60
4.00	1653.92	16.67	133.01	0.99876	132.68	9.60
4.02	1650.23	16.67	133.00	0.99876	132.68	9.60

NUMERO DO TESTE= 13

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	3018.19	24.08	181.02	0.99900	95.41	0.73
0.25	3018.19	22.83	161.31	0.99912	121.11	8.29
0.50	2966.36	22.49	154.73	0.99928	129.66	10.16
0.75	2908.39	22.32	151.17	0.99934	134.30	11.15
1.00	2856.14	22.21	148.97	0.99938	137.16	11.75
1.25	2806.73	22.14	147.51	0.99940	139.05	12.16
1.50	2759.86	22.10	146.51	0.99941	140.35	12.41
1.75	2713.02	22.08	145.80	0.99942	141.28	12.59
2.00	2668.10	22.06	145.29	0.99942	141.94	12.71
2.25	2623.18	22.05	144.91	0.99943	142.43	12.80
2.50	2578.26	22.05	144.64	0.99943	142.78	12.86
2.75	2534.27	22.04	144.43	0.99943	143.05	12.91
3.00	2491.30	22.05	144.28	0.99943	143.25	12.94
3.25	2448.33	22.05	144.17	0.99943	143.39	12.96
3.50	2406.36	22.06	144.08	0.99943	143.50	12.98
3.75	2362.39	22.06	144.02	0.99944	143.58	13.00
4.00	2319.42	22.07	143.97	0.99944	143.64	13.01
4.02	2315.81	22.07	143.96	0.99944	143.65	13.01

NUMERO DO TESTE= 14

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	3253.37	23.95	179.71	0.99900	95.32	1.42
0.25	3253.37	22.41	154.11	0.99828	112.60	8.26
0.50	3170.00	21.95	145.09	0.99859	118.67	10.03
0.75	3080.69	21.70	140.11	0.99871	122.02	10.96
1.00	3002.66	21.56	136.98	0.99877	124.13	11.52
1.25	2930.66	21.46	134.88	0.99881	125.54	11.87
1.50	2862.19	21.40	133.40	0.99883	126.53	12.09
1.75	2795.78	21.36	132.35	0.99884	127.24	12.25
2.00	2731.01	21.33	131.58	0.99885	127.76	12.35
2.25	2667.13	21.32	131.00	0.99886	128.14	12.42
2.50	2604.63	21.31	130.56	0.99886	128.43	12.47
2.75	2542.13	21.30	130.26	0.99887	128.64	12.50
3.00	2479.63	21.31	130.02	0.99887	128.80	12.53
3.25	2417.13	21.31	129.84	0.99887	128.92	12.54
3.50	2354.63	21.32	129.71	0.99887	129.01	12.56
3.75	2292.13	21.33	129.81	0.99887	129.08	12.57
4.00	2229.63	21.33	129.53	0.99887	129.13	12.58
4.02	2224.38	21.34	129.52	0.99887	129.13	12.58

NUMERO DO TESTE= 15

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	1734.48	14.65	173.57	0.99000	84.28	1.08
0.25	1734.48	13.88	152.87	0.99648	95.43	3.08
0.50	1694.13	13.53	142.29	0.99705	101.12	3.67
0.75	1647.56	13.31	135.32	0.99726	104.86	3.96
1.00	1604.66	13.15	130.39	0.99736	107.51	4.10
1.25	1563.55	13.04	126.78	0.99741	109.45	4.18
1.50	1523.38	12.96	124.08	0.99743	110.90	4.21
1.75	1483.53	12.89	122.04	0.99744	111.99	4.22
2.00	1444.05	12.85	120.49	0.99744	112.82	4.22
2.25	1404.60	12.82	119.30	0.99744	113.46	4.22
2.50	1365.15	12.79	118.40	0.99743	113.94	4.21
2.75	1325.59	12.77	117.71	0.99743	114.31	4.20
3.00	1285.75	12.76	117.19	0.99742	114.59	4.20
3.25	1245.91	12.76	116.79	0.99742	114.81	4.19
3.50	1206.06	12.75	116.48	0.99741	114.97	4.18
3.75	1166.22	12.75	116.25	0.99741	115.09	4.18
4.00	1126.38	12.75	116.07	0.99741	115.19	4.18
4.02	1123.19	12.75	116.06	0.99741	115.20	4.18

NUMERO DO TESTE= 16

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	2234.24	18.68	178.85	0.99000	96.23	1.24
0.25	2234.24	17.80	160.54	0.99692	107.16	4.03
0.50	2182.16	17.42	151.36	0.99748	112.63	4.91
0.75	2122.95	17.18	145.33	0.99770	116.22	5.38
1.00	2069.24	17.01	141.05	0.99781	118.77	5.66
1.25	2018.47	16.89	137.89	0.99788	120.65	5.83
1.50	1969.45	16.80	135.50	0.99791	122.07	5.94
1.75	1921.47	16.74	133.66	0.99794	123.16	6.00
2.00	1874.05	16.68	132.24	0.99795	124.01	6.04
2.25	1827.16	16.65	131.13	0.99796	124.67	6.06
2.50	1780.28	16.62	130.26	0.99796	125.18	6.08
2.75	1733.54	16.60	129.58	0.99796	125.59	6.08
3.00	1687.05	16.59	129.05	0.99797	125.90	6.09
3.25	1640.57	16.58	128.63	0.99797	126.15	6.09
3.50	1594.09	16.57	128.30	0.99796	126.35	6.09
3.75	1547.60	16.57	128.04	0.99796	126.50	6.08
4.00	1500.78	16.57	127.83	0.99796	126.62	6.08
4.02	1497.03	16.57	127.82	0.99796	126.63	6.08

NUMERO DO TESTE= 17

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	2606.62	18.53	178.16	0.99000	98.41	2.09
0.25	2606.62	17.60	157.76	0.99502	105.60	4.20
0.50	2528.84	17.16	146.87	0.99580	109.42	4.98
0.75	2440.91	16.87	139.73	0.99612	111.93	5.39
1.00	2361.58	16.68	134.69	0.99628	113.70	5.63
1.25	2286.88	16.54	131.01	0.99637	114.99	5.77
1.50	2214.86	16.44	128.25	0.99643	115.96	5.85
1.75	2144.45	16.37	126.16	0.99645	116.68	5.90
2.00	2074.97	16.31	124.56	0.99647	117.25	5.93
2.25	2006.09	16.27	123.33	0.99648	117.68	5.94
2.50	1937.35	16.25	122.39	0.99648	118.01	5.95
2.75	1868.83	16.23	121.65	0.99648	118.27	5.95
3.00	1800.47	16.22	121.09	0.99648	118.47	5.95
3.25	1732.11	16.21	120.65	0.99648	118.62	5.95
3.50	1663.41	16.21	120.31	0.99648	118.74	5.94
3.75	1594.66	16.21	120.05	0.99648	118.83	5.94
4.00	1525.91	16.21	119.84	0.99648	118.90	5.94
4.02	1520.41	16.21	119.83	0.99648	118.91	5.94

NUMERO DO TESTE= 18

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	3645.34	25.05	183.01	0.99000	111.11	1.37
0.25	3645.34	24.05	168.15	0.99747	121.94	5.41
0.50	3573.18	23.66	160.90	0.99797	127.22	6.74
0.75	3491.69	23.42	156.17	0.99818	130.66	7.50
1.00	3418.26	23.25	152.82	0.99829	133.10	7.99
1.25	3349.38	23.13	150.34	0.99835	134.90	8.31
1.50	3283.34	23.04	148.46	0.99840	136.26	8.54
1.75	3219.14	22.98	147.01	0.99843	137.32	8.70
2.00	3156.22	22.93	145.87	0.99845	138.14	8.82
2.25	3094.16	22.90	144.98	0.99846	138.79	8.90
2.50	3032.63	22.87	144.27	0.99847	139.31	8.96
2.75	2971.63	22.85	143.70	0.99848	139.72	9.00
3.00	2910.71	22.84	143.25	0.99849	140.05	9.04
3.25	2850.16	22.84	142.88	0.99849	140.31	9.06
3.50	2789.62	22.84	142.59	0.99849	140.52	9.08
3.75	2729.33	22.84	142.36	0.99849	140.69	9.09
4.00	2669.17	22.84	142.17	0.99850	140.83	9.10
4.02	2664.36	22.84	142.16	0.99850	140.84	9.10

ANEXO 14

RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DOS TESTES EXPERIMENTAIS
COM MISTURAS BINÁRIAS UTILIZANDO O MODELO I

TABELA A14.1. PERFIS DAS VARIÁVEIS FLUIDODINAMICAS E TERMICAS OBTIDOS POR MODELO DE SIMULAÇÃO, PARA MISTURAS BINÁRIAS, CONSIDERANDO O DIAMETRO MEDIO DAS PARTICULAS.

NUMERO DO TESTE= 19

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	1175.91	14.16	167.51	0.99000	62.57	0.57
0.25	1175.91	13.10	138.32	0.99903	91.50	5.90
0.50	1149.11	12.82	129.32	0.99917	100.41	6.93
0.75	1119.36	12.67	124.49	0.99923	105.16	7.39
1.00	1092.02	12.58	121.50	0.99925	108.13	7.61
1.25	1066.34	12.52	119.51	0.99926	110.09	7.72
1.50	1040.95	12.47	118.14	0.99926	111.44	7.78
1.75	1015.55	12.45	117.18	0.99927	112.39	7.80
2.00	990.16	12.43	116.50	0.99927	113.06	7.81
2.25	964.77	12.42	116.01	0.99927	113.54	7.81
2.50	939.38	12.41	115.66	0.99927	113.89	7.81
2.75	913.99	12.40	115.40	0.99927	114.14	7.81
3.00	888.60	12.40	115.22	0.99927	114.31	7.81
3.25	863.21	12.40	115.09	0.99927	114.44	7.81
3.50	837.82	12.40	115.00	0.99927	114.53	7.80
3.75	812.43	12.40	114.93	0.99927	114.60	7.80
4.00	787.04	12.40	114.88	0.99927	114.64	7.80
4.02	784.91	12.40	114.88	0.99927	114.65	7.80

NUMERO DO TESTE= 20

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	1420.90	14.16	169.16	0.99000	76.67	1.25
0.25	1420.90	12.94	134.35	0.99789	92.45	5.91
0.50	1371.14	12.59	123.26	0.99818	97.47	6.88
0.75	1317.88	12.41	117.31	0.99829	100.16	7.29
1.00	1270.77	12.29	113.63	0.99833	101.82	7.48
1.25	1226.81	12.22	111.19	0.99835	102.92	7.57
1.50	1183.84	12.18	109.52	0.99836	103.67	7.61
1.75	1140.88	12.14	108.35	0.99836	104.20	7.62
2.00	1097.91	12.12	107.52	0.99836	104.57	7.62
2.25	1054.94	12.11	106.93	0.99836	104.84	7.62
2.50	1011.97	12.10	106.51	0.99836	105.02	7.62
2.75	969.00	12.10	106.22	0.99836	105.16	7.61
3.00	926.03	12.10	106.01	0.99836	105.25	7.61
3.25	883.06	12.10	105.86	0.99836	105.32	7.60
3.50	840.09	12.10	105.75	0.99836	105.37	7.60
3.75	797.13	12.10	105.67	0.99836	105.40	7.60
4.00	754.16	12.11	105.62	0.99836	105.43	7.60
4.02	750.55	12.11	105.61	0.99836	105.43	7.60

NUMERO DO TESTE= 21

78

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	1705.08	14.14	170.89	0.99000	90.77	2.06
0.25	1705.08	12.94	135.92	0.99657	100.36	6.01
0.50	1627.80	12.59	124.61	0.99702	103.45	6.93
0.75	1546.02	12.41	118.71	0.99718	105.06	7.32
1.00	1474.24	12.31	115.15	0.99725	106.03	7.51
1.25	1407.20	12.24	112.86	0.99729	106.66	7.59
1.50	1342.16	12.20	111.33	0.99730	107.08	7.63
1.75	1278.39	12.18	110.29	0.99730	107.36	7.65
2.00	1215.89	12.16	109.58	0.99731	107.55	7.65
2.25	1153.39	12.16	109.09	0.99731	107.69	7.65
2.50	1090.89	12.15	108.75	0.99731	107.78	7.65
2.75	1028.39	12.15	108.51	0.99730	107.84	7.65
3.00	965.89	12.16	108.35	0.99730	107.89	7.65
3.25	903.39	12.16	108.24	0.99730	107.92	7.65
3.50	840.89	12.17	108.16	0.99731	107.94	7.65
3.75	778.39	12.17	108.10	0.99731	107.95	7.65
4.00	715.89	12.18	108.07	0.99731	107.96	7.66
4.20	665.64	12.19	108.05	0.99731	107.97	7.66

NUMERO DO TESTE= 22

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	1009.33	13.95	161.20	0.99000	67.65	0.69
0.25	1009.33	12.85	130.44	0.99900	92.88	6.90
0.50	978.01	12.59	122.26	0.99913	99.57	7.95
0.75	944.25	12.46	118.06	0.99918	103.01	8.37
1.00	913.70	12.38	115.49	0.99920	105.11	8.56
1.25	884.78	12.33	113.79	0.99920	106.50	8.65
1.50	857.44	12.30	112.62	0.99921	107.45	8.68
1.75	830.09	12.27	111.80	0.99921	108.12	8.70
2.00	802.75	12.26	111.22	0.99921	108.59	8.70
2.25	775.41	12.25	110.80	0.99921	108.93	8.69
2.50	748.06	12.24	110.51	0.99921	109.17	8.69
2.75	720.72	12.24	110.30	0.99921	109.34	8.68
3.00	693.38	12.24	110.15	0.99921	109.47	8.68
3.25	666.03	12.24	110.04	0.99921	109.55	8.68
3.50	638.69	12.24	109.96	0.99921	109.62	8.68
3.75	611.34	12.24	109.91	0.99921	109.66	8.68
4.00	584.00	12.24	109.87	0.99921	109.69	8.68
4.02	581.70	12.25	109.86	0.99921	109.69	8.68

NUMERO DO TESTE= 23

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	V5 M/S
0.00	1234.71	14.01	163.97	0.99000	72.99	1.19
0.25	1234.71	12.72	127.14	0.99828	90.54	6.90
0.50	1186.61	12.41	117.23	0.99850	95.25	7.89
0.75	1136.06	12.25	112.15	0.99857	97.66	8.28
1.00	1091.44	12.16	109.05	0.99859	99.13	8.44
1.25	1048.97	12.10	107.02	0.99861	100.09	8.51
1.50	1007.95	12.06	105.62	0.99861	100.75	8.53
1.75	966.94	12.04	104.65	0.99861	101.21	8.53
2.00	925.92	12.02	103.96	0.99861	101.54	8.53
2.25	884.91	12.01	103.48	0.99861	101.77	8.52
2.50	843.89	12.00	103.14	0.99861	101.93	8.51
2.75	802.88	12.00	102.90	0.99861	102.04	8.51
3.00	761.86	12.00	102.73	0.99860	102.12	8.50
3.25	720.84	12.00	102.60	0.99860	102.18	8.50
3.50	679.83	12.00	102.52	0.99860	102.22	8.50
3.75	638.81	12.01	102.46	0.99860	102.25	8.50
4.00	597.80	12.01	102.41	0.99860	102.27	8.50
4.02	594.35	12.01	102.41	0.99860	102.27	8.50

NUMERO DO TESTE= 24

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	V5 M/S
0.00	1352.30	13.78	166.04	0.99000	74.83	1.78
0.25	1352.30	12.36	123.87	0.99738	87.95	6.80
0.50	1286.41	12.01	112.52	0.99769	91.47	7.71
0.75	1217.38	11.84	106.80	0.99779	93.24	8.04
1.00	1156.72	11.74	103.39	0.99782	94.30	8.18
1.25	1099.53	11.68	101.18	0.99783	94.98	8.22
1.50	1043.78	11.64	99.69	0.99784	95.44	8.24
1.75	988.54	11.62	98.68	0.99784	95.75	8.23
2.00	933.46	11.60	97.98	0.99783	95.97	8.22
2.25	878.38	11.59	97.51	0.99783	96.12	8.21
2.50	822.92	11.59	97.17	0.99783	96.22	8.21
2.75	767.45	11.59	96.95	0.99783	96.29	8.20
3.00	711.98	11.59	96.79	0.99783	96.34	8.20
3.25	656.52	11.60	96.68	0.99783	96.37	8.20
3.50	600.82	11.60	96.61	0.99783	96.39	8.20
3.75	544.96	11.61	96.56	0.99783	96.41	8.20
4.00	489.10	11.61	96.52	0.99783	96.42	8.20
4.02	484.63	11.61	96.52	0.99783	96.42	8.20

NUMERO DO TESTE = 25

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	1048.52	14.25	173.22	0.99000	79.70	0.65
0.25	1048.52	13.12	141.71	0.99918	107.14	7.91
0.50	1018.20	12.89	134.34	0.99928	113.55	8.99
0.75	985.58	12.77	130.63	0.99931	116.77	9.39
1.00	958.33	12.71	128.37	0.99932	118.73	9.58
1.25	928.98	12.66	126.86	0.99933	120.04	9.63
1.50	901.64	12.63	125.82	0.99933	120.94	9.65
1.75	874.30	12.61	125.08	0.99933	121.58	9.66
2.00	846.95	12.60	124.55	0.99933	122.04	9.65
2.25	819.61	12.59	124.17	0.99933	122.37	9.65
2.50	792.27	12.59	123.90	0.99933	122.60	9.64
2.75	764.92	12.58	123.70	0.99933	122.77	9.64
3.00	737.58	12.58	123.56	0.99933	122.90	9.63
3.25	710.23	12.58	123.46	0.99933	122.98	9.63
3.50	682.89	12.59	123.39	0.99933	123.04	9.63
3.75	655.55	12.59	123.33	0.99933	123.08	9.63
4.00	628.20	12.59	123.30	0.99933	123.12	9.63
4.02	625.91	12.59	123.29	0.99933	123.12	9.63

NUMERO DO TESTE = 26

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	1254.31	14.02	174.35	0.99000	81.81	1.21
0.25	1254.31	12.66	134.43	0.99844	100.11	7.73
0.50	1205.84	12.37	124.98	0.99861	104.43	8.70
0.75	1155.48	12.23	120.23	0.99867	106.60	9.05
1.00	1111.06	12.15	117.34	0.99868	107.92	9.17
1.25	1068.43	12.09	115.41	0.99869	108.80	9.22
1.50	1027.41	12.06	114.08	0.99869	109.41	9.22
1.75	986.40	12.03	113.15	0.99869	109.83	9.21
2.00	945.38	12.02	112.48	0.99869	110.13	9.20
2.25	904.37	12.01	112.01	0.99869	110.35	9.19
2.50	863.35	12.00	111.68	0.99868	110.50	9.18
2.75	822.34	12.00	111.44	0.99868	110.61	9.17
3.00	781.32	12.00	111.27	0.99868	110.68	9.17
3.25	740.30	12.00	111.15	0.99868	110.74	9.17
3.50	699.29	12.00	111.07	0.99868	110.78	9.17
3.75	658.27	12.01	111.01	0.99868	110.80	9.17
4.00	617.26	12.01	110.97	0.99868	110.82	9.17
4.02	613.81	12.01	110.96	0.99868	110.82	9.17

NUMERO DO TESTE= 27

81

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	1969.66	18.40	175.47	0.99000	88.85	1.31
0.25	1969.66	18.87	141.78	0.99852	107.70	8.85
0.50	1903.73	18.52	132.89	0.99873	112.66	10.29
0.75	1835.44	18.35	128.43	0.99880	116.15	10.92
1.00	1776.21	18.25	125.77	0.99884	116.63	11.24
1.25	1721.23	18.19	124.03	0.99886	117.60	11.40
1.50	1668.67	18.15	122.85	0.99886	118.26	11.49
1.75	1617.89	18.12	122.02	0.99887	118.72	11.53
2.00	1567.11	18.11	121.42	0.99887	119.05	11.56
2.25	1516.33	18.10	121.00	0.99887	119.29	11.56
2.50	1465.55	18.09	120.69	0.99887	119.46	11.57
2.75	1414.77	18.09	120.47	0.99887	119.58	11.57
3.00	1363.98	18.09	120.31	0.99887	119.67	11.57
3.25	1313.20	18.10	120.20	0.99887	119.73	11.57
3.50	1262.42	18.10	120.11	0.99887	119.78	11.58
3.75	1211.64	18.11	120.05	0.99887	119.81	11.58
4.00	1160.86	18.12	120.01	0.99887	119.83	11.58
4.02	1156.59	18.12	120.01	0.99887	119.84	11.58

NUMERO DO TESTE= 28

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	2146.05	18.42	175.13	0.99000	93.59	1.98
0.25	2146.05	18.79	138.64	0.99777	107.12	8.88
0.50	2052.76	18.41	129.01	0.99808	110.68	10.27
0.75	1957.21	18.23	124.27	0.99818	112.43	10.88
1.00	1875.43	18.13	121.47	0.99823	113.46	11.18
1.25	1800.13	18.07	119.67	0.99826	114.13	11.34
1.50	1728.13	18.03	118.46	0.99827	114.57	11.42
1.75	1657.79	18.01	117.63	0.99827	114.88	11.46
2.00	1588.34	15.99	117.05	0.99828	115.10	11.48
2.25	1519.31	15.99	116.63	0.99828	115.25	11.49
2.50	1450.56	15.98	116.34	0.99828	115.36	11.49
2.75	1381.81	15.99	116.13	0.99828	115.43	11.50
3.00	1313.06	16.00	115.98	0.99828	115.49	11.50
3.25	1244.31	16.00	115.88	0.99828	115.53	11.50
3.50	1175.45	16.01	115.81	0.99828	115.55	11.51
3.75	1106.30	16.02	115.75	0.99828	115.57	11.51
4.00	1037.16	16.03	115.71	0.99828	115.59	11.52
4.02	1031.63	16.03	115.71	0.99828	115.59	11.52

NUMERO DO TESTE = 29

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	1734.48	18.71	178.59	0.99900	88.67	1.00
0.25	1734.48	17.17	145.28	0.99900	113.16	10.05
0.50	1880.25	16.86	137.63	0.99913	118.76	11.55
0.75	1823.88	16.72	133.91	0.99918	121.49	12.17
1.00	1574.88	16.64	131.70	0.99920	123.11	12.47
1.25	1528.86	16.59	130.25	0.99921	124.17	12.61
1.50	1484.83	16.55	129.26	0.99921	124.89	12.88
1.75	1441.86	16.53	128.56	0.99921	125.41	12.71
2.00	1398.89	16.52	128.05	0.99921	125.77	12.72
2.25	1355.92	16.51	127.69	0.99921	126.04	12.73
2.50	1312.95	16.51	127.43	0.99921	126.23	12.73
2.75	1269.98	16.51	127.24	0.99921	126.37	12.73
3.00	1227.02	16.51	127.10	0.99921	126.47	12.73
3.25	1184.05	16.51	127.00	0.99921	126.54	12.73
3.50	1141.08	16.52	126.93	0.99921	126.60	12.73
3.75	1098.11	16.52	126.87	0.99921	126.63	12.73
4.00	1055.14	16.53	126.83	0.99921	126.66	12.73
4.02	1051.53	16.53	126.83	0.99921	126.66	12.73

NUMERO DO TESTE = 30

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	2518.42	24.06	175.30	0.99900	85.19	0.93
0.25	2518.42	22.28	145.97	0.99927	115.95	12.60
0.50	2453.01	21.95	139.58	0.99938	122.64	14.67
0.75	2384.34	21.81	136.59	0.99941	125.76	15.61
1.00	2324.34	21.73	134.88	0.99943	127.55	16.09
1.25	2268.88	21.68	133.80	0.99944	128.68	16.36
1.50	2215.27	21.66	133.07	0.99944	129.44	16.51
1.75	2163.09	21.64	132.57	0.99945	129.96	16.60
2.00	2112.31	21.63	132.21	0.99945	130.34	16.66
2.25	2061.53	21.63	131.96	0.99945	130.60	16.69
2.50	2010.75	21.63	131.77	0.99945	130.79	16.71
2.75	1959.97	21.64	131.64	0.99945	130.93	16.72
3.00	1909.19	21.64	131.54	0.99945	131.03	16.73
3.25	1858.41	21.65	131.47	0.99945	131.10	16.74
3.50	1807.63	21.66	131.42	0.99945	131.15	16.75
3.75	1756.84	21.67	131.39	0.99945	131.19	16.75
4.00	1706.06	21.68	131.36	0.99945	131.22	16.76
4.02	1701.80	21.68	131.36	0.99945	131.22	16.76

NUMERO DO TESTE= 31

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	2890.80	24.10	178.94	0.99000	87.94	1.88
0.25	2890.80	21.91	141.35	0.99869	110.07	12.53
0.50	2790.14	21.48	132.87	0.99887	115.02	14.48
0.75	2688.04	21.29	128.87	0.99893	117.36	15.34
1.00	2601.27	21.18	126.56	0.99896	118.71	15.77
1.25	2521.70	21.12	125.08	0.99898	119.57	16.00
1.50	2445.88	21.09	124.08	0.99899	120.15	16.13
1.75	2372.03	21.07	123.38	0.99899	120.56	16.20
2.00	2299.23	21.06	122.89	0.99899	120.85	16.24
2.25	2226.92	21.05	122.53	0.99899	121.06	16.26
2.50	2155.05	21.06	122.28	0.99899	121.21	16.27
2.75	2083.17	21.06	122.09	0.99899	121.31	16.28
3.00	2011.30	21.07	121.96	0.99900	121.39	16.29
3.25	1939.42	21.08	121.86	0.99900	121.45	16.30
3.50	1867.55	21.09	121.79	0.99900	121.49	16.31
3.75	1795.67	21.11	121.74	0.99900	121.52	16.31
4.00	1723.45	21.12	121.70	0.99900	121.54	16.32
4.02	1717.66	21.12	121.70	0.99900	121.54	16.32

NUMERO DO TESTE= 32

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	1430.70	14.17	174.52	0.99000	78.87	1.67
0.25	1430.70	12.63	128.89	0.99788	94.23	7.77
0.50	1367.95	12.30	118.19	0.99808	97.82	8.69
0.75	1303.05	12.14	112.89	0.99815	99.59	9.01
1.00	1248.02	12.05	109.70	0.99817	100.66	9.12
1.25	1192.02	11.99	107.61	0.99818	101.36	9.15
1.50	1139.12	11.95	106.18	0.99818	101.83	9.14
1.75	1086.61	11.92	105.19	0.99818	102.16	9.13
2.00	1033.95	11.91	104.51	0.99817	102.40	9.12
2.25	981.21	11.90	104.02	0.99817	102.56	9.10
2.50	928.16	11.90	103.69	0.99817	102.67	9.09
2.75	875.03	11.90	103.46	0.99817	102.75	9.09
3.00	821.91	11.90	103.29	0.99817	102.80	9.09
3.25	768.69	11.90	103.18	0.99817	102.84	9.09
3.50	715.17	11.91	103.10	0.99817	102.86	9.09
3.75	661.66	11.91	103.05	0.99817	102.88	9.09
4.00	608.14	11.92	103.01	0.99817	102.90	9.09
4.02	603.86	11.92	103.01	0.99817	102.90	9.09

NUMERO DO TESTE= 33

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	1714.88	14.28	174.17	0.99000	85.47	1.70
0.25	1714.88	13.18	142.50	0.99645	96.03	4.79
0.50	1652.98	12.78	129.92	0.99697	100.21	5.61
0.75	1585.28	12.56	122.72	0.99715	102.59	5.98
1.00	1525.00	12.42	118.13	0.99724	104.12	6.16
1.25	1468.30	12.33	115.04	0.99726	105.14	6.25
1.50	1413.37	12.27	112.89	0.99730	105.85	6.29
1.75	1359.36	12.23	111.38	0.99730	106.36	6.31
2.00	1305.77	12.20	110.30	0.99731	106.71	6.31
2.25	1252.25	12.18	108.54	0.99730	106.97	6.31
2.50	1198.73	12.17	108.99	0.99730	107.15	6.31
2.75	1145.22	12.17	108.60	0.99730	107.28	6.30
3.00	1091.70	12.17	108.31	0.99730	107.37	6.30
3.25	1038.19	12.17	108.11	0.99730	107.44	6.30
3.50	984.67	12.17	107.97	0.99730	107.48	6.29
3.75	930.78	12.17	107.86	0.99730	107.52	6.29
4.00	876.88	12.18	107.79	0.99730	107.54	6.29
4.02	872.56	12.18	107.79	0.99730	107.54	6.29

NUMERO DO TESTE= 34

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	930.93	14.19	165.52	0.99000	58.40	0.72
0.25	930.93	12.96	131.35	0.99887	85.43	6.37
0.50	899.13	12.65	121.41	0.99903	93.28	7.40
0.75	864.50	12.48	116.16	0.99908	97.41	7.82
1.00	833.25	12.38	112.93	0.99910	99.96	8.02
1.25	803.81	12.32	110.78	0.99911	101.65	8.10
1.50	774.52	12.27	109.30	0.99912	102.81	8.14
1.75	746.84	12.25	108.26	0.99912	103.63	8.15
2.00	719.50	12.23	107.52	0.99912	104.21	8.15
2.25	692.16	12.21	106.99	0.99912	104.62	8.15
2.50	664.81	12.20	106.62	0.99912	104.92	8.14
2.75	637.47	12.20	106.34	0.99912	105.13	8.14
3.00	610.13	12.20	106.15	0.99912	105.28	8.13
3.25	582.78	12.20	106.01	0.99912	105.39	8.13
3.50	555.44	12.20	105.91	0.99912	105.47	8.13
3.75	528.09	12.20	105.84	0.99912	105.53	8.13
4.00	499.16	12.20	105.79	0.99912	105.57	8.13
4.02	496.70	12.20	105.79	0.99912	105.57	8.13

NUMERO DO TESTE= 35

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	1597.29	14.25	171.23	0.99000	75.57	1.94
0.25	1597.29	12.78	128.31	0.99699	88.15	6.44
0.50	1525.19	12.39	115.58	0.99736	91.87	7.35
0.75	1449.86	12.18	109.06	0.99749	93.77	7.71
1.00	1383.21	12.06	105.14	0.99754	94.91	7.87
1.25	1320.74	11.99	102.61	0.99756	95.65	7.93
1.50	1260.20	11.94	100.92	0.99756	96.14	7.95
1.75	1200.88	11.91	99.77	0.99756	96.48	7.95
2.00	1142.06	11.90	98.98	0.99756	96.71	7.94
2.25	1083.47	11.89	98.43	0.99756	96.87	7.93
2.50	1024.88	11.88	98.05	0.99755	96.98	7.93
2.75	965.05	11.88	97.79	0.99755	97.05	7.92
3.00	904.50	11.88	97.61	0.99755	97.11	7.92
3.25	843.95	11.89	97.49	0.99755	97.14	7.92
3.50	783.41	11.89	97.41	0.99755	97.17	7.92
3.75	722.86	11.90	97.35	0.99755	97.18	7.92
4.00	662.31	11.90	97.31	0.99755	97.19	7.92
4.02	657.23	11.90	97.30	0.99755	97.19	7.92

NUMERO DO TESTE= 36

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	1087.72	14.18	168.55	0.99000	72.72	0.67
0.25	1087.72	13.02	136.09	0.99913	100.11	7.69
0.50	1056.69	12.78	128.30	0.99929	108.67	8.76
0.75	1023.55	12.66	124.37	0.99927	109.98	9.16
1.00	993.51	12.58	121.97	0.99928	111.99	9.33
1.25	965.55	12.54	120.38	0.99929	113.33	9.40
1.50	938.20	12.50	119.28	0.99929	114.25	9.42
1.75	910.88	12.48	118.50	0.99929	114.91	9.42
2.00	883.52	12.47	117.95	0.99929	115.37	9.42
2.25	856.17	12.46	117.55	0.99929	115.71	9.41
2.50	828.83	12.46	117.26	0.99929	115.84	9.41
2.75	801.48	12.45	117.06	0.99929	116.12	9.40
3.00	774.14	12.45	116.91	0.99929	116.24	9.40
3.25	746.80	12.45	116.81	0.99929	116.33	9.40
3.50	719.45	12.45	116.73	0.99929	116.39	9.40
3.75	692.11	12.45	116.68	0.99929	116.43	9.40
4.00	664.77	12.46	116.64	0.99929	116.46	9.40
4.02	662.47	12.46	116.64	0.99929	116.47	9.40

NUMERO DO TESTE= 37

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	1215.11	14.22	169.94	0.99000	71.06	1.23
0.25	1215.11	12.76	127.85	0.99840	90.67	7.63
0.50	1166.78	12.44	117.65	0.99858	95.40	8.60
0.75	1116.19	12.28	112.51	0.99864	97.78	8.95
1.00	1071.50	12.19	109.38	0.99866	99.23	9.08
1.25	1029.17	12.13	107.30	0.99866	100.19	9.12
1.50	987.73	12.09	105.87	0.99866	100.85	9.12
1.75	946.68	12.06	104.86	0.99866	101.31	9.11
2.00	905.66	12.04	104.15	0.99866	101.64	9.10
2.25	864.41	12.03	103.65	0.99866	101.87	9.08
2.50	823.00	12.03	103.29	0.99866	102.04	9.07
2.75	781.59	12.02	103.04	0.99866	102.15	9.07
3.00	740.19	12.02	102.86	0.99866	102.24	9.06
3.25	698.78	12.02	102.74	0.99866	102.30	9.06
3.50	657.18	12.03	102.65	0.99866	102.34	9.06
3.75	615.38	12.03	102.59	0.99866	102.37	9.06
4.00	573.59	12.03	102.54	0.99866	102.39	9.06
4.02	570.24	12.03	102.54	0.99866	102.39	9.06

NUMERO DO TESTE= 38

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	1352.30	14.24	171.40	0.99000	77.59	1.74
0.25	1352.30	12.70	126.58	0.99773	92.19	7.65
0.50	1286.65	12.37	115.81	0.99797	95.68	8.58
0.75	1218.72	12.21	110.48	0.99805	97.41	8.91
1.00	1159.13	12.11	107.28	0.99807	98.45	9.03
1.25	1102.80	12.05	105.20	0.99808	99.12	9.07
1.50	1047.73	12.01	103.79	0.99808	99.58	9.07
1.75	993.05	11.99	102.82	0.99808	99.89	9.06
2.00	938.36	11.98	102.14	0.99808	100.11	9.04
2.25	883.67	11.97	101.67	0.99807	100.26	9.03
2.50	828.71	11.96	101.34	0.99807	100.37	9.02
2.75	773.63	11.96	101.12	0.99807	100.44	9.02
3.00	718.30	11.97	100.96	0.99807	100.49	9.02
3.25	662.83	11.97	100.85	0.99807	100.53	9.02
3.50	607.36	11.97	100.78	0.99807	100.55	9.02
3.75	551.89	11.98	100.72	0.99807	100.57	9.02
4.00	496.42	11.99	100.69	0.99807	100.58	9.02
4.02	491.98	11.99	100.69	0.99807	100.58	9.02

NUMERO DO TESTE= 39

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	1744.27	18.80	176.25	0.999000	76.85	0.85
0.25	1744.27	17.35	145.29	0.99897	103.82	8.26
0.50	1697.59	18.99	136.50	0.99912	111.46	9.74
0.75	1647.45	18.81	131.97	0.99918	115.39	10.43
1.00	1603.14	18.70	129.23	0.99921	117.77	10.79
1.25	1561.44	18.64	127.44	0.99922	119.32	10.99
1.50	1521.97	18.59	126.21	0.99923	120.39	11.10
1.75	1482.91	18.56	125.34	0.99924	121.14	11.17
2.00	1443.84	18.54	124.73	0.99924	121.67	11.20
2.25	1404.78	18.53	124.28	0.99924	122.06	11.22
2.50	1365.72	18.53	123.96	0.99924	122.34	11.23
2.75	1326.66	18.52	123.72	0.99924	122.54	11.24
3.00	1287.59	18.52	123.55	0.99924	122.69	11.24
3.25	1248.53	18.52	123.42	0.99924	122.80	11.24
3.50	1209.47	18.53	123.33	0.99924	122.88	11.24
3.75	1170.41	18.53	123.27	0.99924	122.93	11.24
4.00	1131.34	18.53	123.22	0.99924	122.98	11.25
4.02	1128.06	18.54	123.21	0.99924	122.98	11.25

NUMERO DO TESTE= 40

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	1842.27	18.81	177.46	0.999000	89.67	1.31
0.25	1842.27	17.17	141.81	0.99867	109.90	9.87
0.50	1774.81	18.83	133.38	0.99885	114.67	11.35
0.75	1705.64	18.67	129.27	0.99891	117.00	11.96
1.00	1645.85	18.58	126.83	0.99893	118.38	12.26
1.25	1590.55	18.52	125.23	0.99894	119.27	12.40
1.50	1537.09	18.49	124.15	0.99895	119.89	12.47
1.75	1484.39	18.46	123.38	0.99895	120.32	12.50
2.00	1433.61	18.45	122.83	0.99895	120.63	12.51
2.25	1382.83	18.44	122.44	0.99895	120.85	12.52
2.50	1332.05	18.44	122.16	0.99895	121.01	12.52
2.75	1281.27	18.44	121.95	0.99895	121.12	12.52
3.00	1230.48	18.44	121.80	0.99895	121.21	12.52
3.25	1179.70	18.45	121.70	0.99895	121.27	12.52
3.50	1128.92	18.45	121.62	0.99895	121.31	12.52
3.75	1078.14	18.46	121.56	0.99895	121.34	12.52
4.00	1027.36	18.47	121.52	0.99896	121.36	12.53
4.02	1023.09	18.47	121.52	0.99896	121.37	12.53

NUMERO DO TESTE= 41

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	2596.81	24.16	180.75	0.99900	77.40	0.99
0.25	2596.81	22.12	146.35	0.99920	110.78	12.29
0.50	2529.64	21.72	138.58	0.99931	118.31	14.31
0.75	2459.16	21.54	134.90	0.99935	121.86	15.22
1.00	2397.84	21.44	132.78	0.99937	123.91	15.69
1.25	2340.70	21.39	131.43	0.99938	125.21	15.95
1.50	2286.02	21.35	130.52	0.99939	126.09	16.10
1.75	2232.31	21.33	129.88	0.99939	126.70	16.18
2.00	2179.58	21.32	129.43	0.99939	127.14	16.23
2.25	2126.84	21.31	129.11	0.99939	127.45	16.25
2.50	2074.11	21.31	128.88	0.99940	127.67	16.27
2.75	2021.38	21.31	128.71	0.99940	127.83	16.28
3.00	1968.64	21.32	128.59	0.99940	127.95	16.29
3.25	1915.91	21.33	128.50	0.99940	128.04	16.30
3.50	1863.17	21.33	128.43	0.99940	128.10	16.30
3.75	1810.44	21.34	128.39	0.99940	128.14	16.31
4.00	1757.70	21.35	128.35	0.99940	128.18	16.31
4.02	1753.27	21.35	128.35	0.99940	128.18	16.32

NUMERO DO TESTE= 42

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	2724.20	24.21	182.57	0.99900	93.59	1.49
0.25	2724.20	22.18	148.21	0.99885	116.98	12.35
0.50	2633.63	21.78	140.24	0.99901	122.34	14.36
0.75	2540.80	21.60	136.45	0.99907	124.89	15.27
1.00	2461.47	21.50	134.26	0.99910	126.37	15.74
1.25	2388.66	21.45	132.86	0.99912	127.31	16.00
1.50	2319.29	21.41	131.91	0.99912	127.95	16.14
1.75	2251.80	21.39	131.25	0.99913	128.39	16.23
2.00	2185.33	21.38	130.78	0.99913	128.71	16.28
2.25	2119.48	21.38	130.44	0.99913	128.93	16.31
2.50	2053.86	21.38	130.19	0.99913	129.10	16.32
2.75	1988.23	21.39	130.01	0.99913	129.22	16.34
3.00	1922.61	21.39	129.88	0.99913	129.30	16.35
3.25	1856.98	21.40	129.79	0.99913	129.37	16.35
3.50	1791.36	21.42	129.72	0.99913	129.41	16.36
3.75	1725.73	21.43	129.67	0.99914	129.45	16.37
4.00	1660.11	21.44	129.63	0.99914	129.47	16.38
4.02	1654.86	21.44	129.63	0.99914	129.47	16.38

NUMERO DO TESTE= 43

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	1479.70	14.48	175.56	0.99000	83.45	1.18
0.25	1479.70	13.61	151.23	0.99669	95.25	3.57
0.50	1435.76	13.24	139.70	0.99722	100.83	4.25
0.75	1386.20	13.01	132.42	0.99742	104.35	4.57
1.00	1340.77	12.85	127.41	0.99751	106.77	4.74
1.25	1297.80	12.74	123.83	0.99755	108.50	4.82
1.50	1255.04	12.66	121.21	0.99757	109.76	4.86
1.75	1214.02	12.61	119.27	0.99758	110.70	4.88
2.00	1173.01	12.56	117.82	0.99758	111.39	4.88
2.25	1131.99	12.54	116.74	0.99758	111.92	4.88
2.50	1090.98	12.51	115.92	0.99758	112.31	4.87
2.75	1049.96	12.50	115.31	0.99757	112.60	4.87
3.00	1008.95	12.49	114.86	0.99757	112.82	4.86
3.25	967.93	12.49	114.51	0.99757	112.99	4.85
3.50	926.91	12.48	114.25	0.99757	113.11	4.85
3.75	885.90	12.48	114.06	0.99756	113.20	4.84
4.00	844.88	12.48	113.91	0.99756	113.27	4.84
4.02	841.44	12.48	113.90	0.99756	113.28	4.84

NUMERO DO TESTE= 44

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	1126.92	14.37	174.35	0.99000	73.55	0.53
0.25	1126.92	13.49	150.60	0.99889	99.08	4.74
0.50	1102.03	13.21	141.85	0.99907	108.47	5.69
0.75	1073.86	13.05	136.83	0.99914	113.86	6.14
1.00	1047.69	12.95	133.59	0.99917	117.33	6.38
1.25	1022.73	12.89	131.38	0.99919	119.69	6.51
1.50	999.30	12.84	129.83	0.99920	121.35	6.58
1.75	975.86	12.81	128.72	0.99920	122.54	6.62
2.00	952.42	12.79	127.92	0.99921	123.40	6.64
2.25	928.98	12.77	127.33	0.99921	124.03	6.65
2.50	905.55	12.76	126.91	0.99921	124.48	6.66
2.75	882.11	12.75	126.59	0.99921	124.82	6.66
3.00	858.67	12.75	126.36	0.99921	125.06	6.66
3.25	835.23	12.75	126.19	0.99921	125.24	6.66
3.50	811.80	12.75	126.07	0.99921	125.37	6.66
3.75	788.36	12.75	125.98	0.99921	125.47	6.66
4.00	764.92	12.75	125.91	0.99921	125.54	6.65
4.02	762.95	12.75	125.91	0.99921	125.54	6.65

NUMERO DO TESTE= 45

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	1499.29	14.37	174.01	0.99000	84.37	1.16
0.25	1499.29	13.35	145.39	0.99757	98.39	4.78
0.50	1453.42	13.00	134.33	0.99795	103.80	5.67
0.75	1403.16	12.80	127.94	0.99809	106.92	6.08
1.00	1358.14	12.67	123.81	0.99815	108.93	6.29
1.25	1315.30	12.59	120.99	0.99818	110.31	6.40
1.50	1274.29	12.53	119.01	0.99820	111.27	6.45
1.75	1233.66	12.49	117.59	0.99821	111.97	6.48
2.00	1194.59	12.46	116.56	0.99821	112.47	6.49
2.25	1155.53	12.45	115.81	0.99821	112.83	6.49
2.50	1116.47	12.43	115.27	0.99821	113.09	6.49
2.75	1077.41	12.43	114.87	0.99821	113.29	6.49
3.00	1038.34	12.42	114.58	0.99821	113.43	6.48
3.25	999.28	12.42	114.37	0.99821	113.53	6.48
3.50	960.22	12.42	114.22	0.99820	113.60	6.48
3.75	921.16	12.42	114.11	0.99820	113.66	6.48
4.00	882.09	12.43	114.02	0.99820	113.70	6.48
4.02	878.81	12.43	114.02	0.99820	113.70	6.48

NUMERO DO TESTE= 46

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	1832.47	14.80	174.49	0.99000	89.67	1.70
0.25	1832.47	13.72	144.38	0.99660	100.11	4.99
0.50	1768.70	13.33	132.54	0.99711	104.21	5.87
0.75	1699.20	13.12	125.78	0.99730	106.55	6.28
1.00	1637.53	12.98	121.47	0.99739	108.04	6.49
1.25	1578.71	12.89	118.56	0.99743	109.04	6.60
1.50	1523.90	12.83	116.54	0.99745	109.74	6.65
1.75	1469.13	12.79	115.12	0.99746	110.23	6.68
2.00	1414.95	12.77	114.10	0.99747	110.58	6.69
2.25	1361.05	12.75	113.37	0.99747	110.83	6.69
2.50	1307.14	12.74	112.84	0.99747	111.01	6.69
2.75	1253.23	12.74	112.46	0.99746	111.14	6.69
3.00	1199.33	12.73	112.19	0.99746	111.24	6.69
3.25	1145.42	12.73	111.99	0.99746	111.31	6.69
3.50	1091.52	12.74	111.85	0.99746	111.36	6.68
3.75	1037.61	12.74	111.75	0.99746	111.39	6.68
4.00	983.70	12.75	111.67	0.99746	111.42	6.69
4.02	979.39	12.75	111.67	0.99746	111.42	6.69

NUMERO DO TESTE= 47

91

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	2528.22	18.37	179.37	0.99000	102.41	1.86
0.25	2528.22	17.39	157.88	0.99603	110.81	4.69
0.50	2453.77	16.98	147.57	0.99669	114.83	5.63
0.75	2370.98	16.72	141.10	0.99696	117.36	6.12
1.00	2297.11	16.56	136.67	0.99709	119.08	6.41
1.25	2228.01	16.44	133.52	0.99717	120.31	6.58
1.50	2161.86	16.36	131.20	0.99722	121.21	6.69
1.75	2097.02	16.30	129.47	0.99724	121.88	6.76
2.00	2033.98	16.26	128.17	0.99726	122.39	6.79
2.25	1970.30	16.23	127.19	0.99727	122.77	6.82
2.50	1907.70	16.21	126.44	0.99727	123.06	6.83
2.75	1846.20	16.19	125.87	0.99728	123.28	6.84
3.00	1782.70	16.19	125.43	0.99728	123.45	6.84
3.25	1720.20	16.18	125.10	0.99728	123.58	6.84
3.50	1657.70	16.18	124.84	0.99728	123.68	6.84
3.75	1595.20	16.19	124.65	0.99728	123.76	6.84
4.00	1532.70	16.19	124.50	0.99728	123.82	6.85
4.02	1527.70	16.19	124.49	0.99728	123.82	6.85

NUMERO DO TESTE= 48

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS M/S
0.00	2371.43	18.58	178.24	0.99000	93.23	1.81
0.25	2371.43	17.26	149.30	0.99707	105.02	6.17
0.50	2292.03	16.81	138.12	0.99755	109.56	7.37
0.75	2206.64	16.57	131.76	0.99773	112.14	7.97
1.00	2131.88	16.41	127.70	0.99782	113.78	8.31
1.25	2062.63	16.31	124.95	0.99787	114.90	8.51
1.50	1996.52	16.24	123.01	0.99790	115.68	8.62
1.75	1932.23	16.19	121.63	0.99792	116.24	8.69
2.00	1869.02	16.16	120.62	0.99793	116.65	8.74
2.25	1806.45	16.14	119.88	0.99793	116.95	8.76
2.50	1744.21	16.13	119.34	0.99794	117.17	8.77
2.75	1682.10	16.13	118.94	0.99794	117.33	8.78
3.00	1620.31	16.12	118.64	0.99794	117.45	8.79
3.25	1558.59	16.13	118.42	0.99794	117.54	8.79
3.50	1496.88	16.13	118.26	0.99794	117.61	8.79
3.75	1435.16	16.14	118.14	0.99794	117.66	8.79
4.00	1373.13	16.14	118.05	0.99794	117.69	8.80
4.02	1368.16	16.14	118.04	0.99794	117.69	8.80

ANEXO 15

RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DOS TESTES EXPERIMENTAIS
COM MISTURAS BINARIAS UTILIZANDO O MODELO II

TABELA A15.1. PERFIS DAS VARIÁVEIS FLUIDODINAMICAS E TERMICAS OBTIDOS POR MODELO DE SIMULAÇÃO, PARA MISTURAS BINÁRIAS, CONSIDERANDO O EFEITO DE MISTURA E SEM CHOQUES ENTRE AS PARTÍCULAS.

NUMERO DO TESTE= 19

X	P	VF	TF	EPSILON	TS	VS(1)	VS(2)	TS(1)	TS(2)	Y(1)	Y(2)
M	PASCAL	M/S	C	M3/M3	C	M/S	M/S	C	C	M3/M3	M3/M3
0.00	1175.91	14.16	167.51	0.99000	62.57	0.57	0.57	62.57	62.57	0.2000	0.8000
0.25	1175.91	13.15	139.65	0.99895	90.31	8.45	5.01	91.74	89.96	0.1264	0.8736
0.50	1149.75	12.86	130.58	0.99911	99.31	9.48	5.96	99.49	97.27	0.1331	0.8669
0.75	1120.50	12.70	125.57	0.99917	104.20	9.82	6.40	103.66	104.43	0.1373	0.8627
1.00	1093.27	12.60	122.40	0.99920	107.42	9.93	6.63	106.37	107.68	0.1401	0.8599
1.25	1067.88	12.54	120.26	0.99921	109.55	9.96	6.75	108.30	109.85	0.1421	0.8579
1.50	1042.40	12.50	118.76	0.99922	111.03	9.95	6.82	109.73	111.35	0.1434	0.8566
1.75	1017.09	12.46	117.69	0.99922	112.09	9.93	6.85	110.81	112.40	0.1442	0.8558
2.00	992.58	12.44	116.92	0.99922	112.85	9.91	6.87	111.64	113.14	0.1448	0.8552
2.25	969.14	12.43	116.36	0.99922	113.40	9.89	6.87	112.28	113.67	0.1451	0.8549
2.50	945.70	12.42	115.96	0.99922	113.80	9.87	6.87	112.78	114.05	0.1453	0.8547
2.75	922.27	12.41	115.66	0.99922	114.09	9.86	6.87	113.17	114.31	0.1454	0.8546
3.00	897.74	12.41	115.45	0.99922	114.30	9.86	6.87	113.48	114.50	0.1455	0.8545
3.25	872.35	12.41	115.29	0.99922	114.45	9.85	6.87	113.73	114.63	0.1455	0.8545
3.50	846.96	12.41	115.18	0.99922	114.57	9.85	6.87	113.92	114.72	0.1455	0.8545
3.75	821.57	12.41	115.10	0.99922	114.65	9.85	6.87	114.08	114.79	0.1455	0.8545
4.00	796.18	12.41	115.04	0.99922	114.71	9.85	6.87	114.21	114.83	0.1455	0.8545
4.02	794.05	12.41	115.03	0.99922	114.71	9.85	6.87	114.22	114.83	0.1455	0.8545

NUMERO DO TESTE= 20

X	P	VF	TF	EPSILON	TS	VS(1)	VS(2)	TS(1)	TS(2)	Y(1)	Y(2)
M	PASCAL	M/S	C	M3/M3	C	M/S	M/S	C	C	M3/M3	M3/M3
0.00	1420.90	14.16	169.16	0.99000	76.67	1.25	1.25	76.67	76.67	0.2000	0.8000
0.25	1420.90	12.99	135.87	0.99772	91.77	8.43	5.04	93.25	91.40	0.1300	0.8700
0.50	1372.19	12.64	124.69	0.99805	96.82	9.39	5.93	97.55	96.64	0.1363	0.8637
0.75	1319.82	12.45	118.51	0.99816	99.62	9.68	6.33	99.81	99.57	0.1405	0.8595
1.00	1273.17	12.33	114.60	0.99821	101.38	9.75	6.53	101.26	101.41	0.1433	0.8567
1.25	1229.47	12.25	111.96	0.99824	102.57	9.75	6.63	102.26	102.65	0.1452	0.8548
1.50	1186.50	12.20	110.12	0.99825	103.40	9.72	6.67	102.99	103.50	0.1464	0.8536
1.75	1143.53	12.16	108.82	0.99825	103.99	9.69	6.69	103.53	104.10	0.1472	0.8528
2.00	1100.56	12.13	107.88	0.99825	104.41	9.66	6.70	103.93	104.53	0.1477	0.8523
2.25	1057.59	12.12	107.21	0.99825	104.71	9.64	6.70	104.24	104.83	0.1480	0.8520
2.50	1014.63	12.11	106.73	0.99825	104.93	9.62	6.70	104.47	105.04	0.1482	0.8518
2.75	971.66	12.10	106.39	0.99825	105.08	9.61	6.69	104.65	105.19	0.1483	0.8517
3.00	928.69	12.10	106.13	0.99825	105.20	9.61	6.69	104.78	105.30	0.1483	0.8517
3.25	885.72	12.10	105.95	0.99825	105.28	9.60	6.69	104.89	105.37	0.1483	0.8517
3.50	842.75	12.10	105.82	0.99825	105.33	9.60	6.69	104.98	105.42	0.1483	0.8517
3.75	799.78	12.10	105.73	0.99825	105.38	9.60	6.69	105.05	105.46	0.1483	0.8517
4.00	756.81	12.11	105.66	0.99825	105.41	9.60	6.69	105.10	105.48	0.1483	0.8517
4.02	753.20	12.11	105.66	0.99825	105.41	9.60	6.69	105.11	105.48	0.1483	0.8517

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1705.08	14.14	170.89	0.99000	90.77	2.06	2.06	90.77	90.77	0.2000	0.8000
0.25	1705.08	12.99	137.44	0.99632	99.94	8.49	5.16	101.44	99.57	0.1320	0.8680
0.50	1629.79	12.64	126.03	0.99681	103.06	9.42	5.99	104.09	102.81	0.1373	0.8627
0.75	1549.61	12.45	119.87	0.99699	104.75	9.70	6.37	105.43	104.58	0.1411	0.8589
1.00	1478.63	12.34	116.07	0.99706	105.79	9.77	6.56	106.24	105.67	0.1437	0.8563
1.25	1411.86	12.27	113.56	0.99710	106.47	9.77	6.65	106.78	106.39	0.1455	0.8545
1.50	1347.10	12.22	111.87	0.99712	106.93	9.75	6.70	107.15	106.88	0.1467	0.8533
1.75	1283.50	12.19	110.69	0.99712	107.25	9.72	6.72	107.41	107.21	0.1474	0.8526
2.00	1221.00	12.17	109.88	0.99712	107.47	9.70	6.73	107.59	107.44	0.1479	0.8521
2.25	1158.50	12.16	109.31	0.99712	107.63	9.68	6.73	107.72	107.60	0.1481	0.8519
2.50	1096.00	12.16	108.91	0.99712	107.74	9.67	6.73	107.81	107.72	0.1483	0.8517
2.75	1033.50	12.16	108.63	0.99712	107.81	9.66	6.73	107.87	107.80	0.1484	0.8516
3.00	971.00	12.16	108.44	0.99712	107.86	9.66	6.73	107.91	107.85	0.1484	0.8516
3.25	908.50	12.16	108.30	0.99712	107.90	9.66	6.73	107.94	107.89	0.1484	0.8516
3.50	846.00	12.17	108.21	0.99712	107.93	9.66	6.73	107.96	107.92	0.1484	0.8516
3.75	783.50	12.18	108.14	0.99712	107.94	9.66	6.73	107.98	107.94	0.1484	0.8516
4.00	721.00	12.18	108.09	0.99712	107.96	9.66	6.74	107.98	107.95	0.1484	0.8516
4.20	670.75	12.19	108.06	0.99713	107.96	9.67	6.74	107.99	107.96	0.1484	0.8516

NUMERO DO TESTE= 22

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1009.33	13.95	161.20	0.99000	67.65	0.69	0.69	67.65	67.65	0.5000	0.5000
0.25	1009.33	12.90	132.21	0.99889	91.49	8.32	4.94	92.35	90.65	0.3708	0.6292
0.50	978.92	12.64	123.86	0.99904	98.34	9.32	5.86	98.55	98.14	0.3844	0.6156
0.75	945.84	12.50	119.38	0.99910	102.02	9.66	6.29	101.81	102.22	0.3929	0.6071
1.00	915.67	12.42	116.56	0.99912	104.33	9.77	6.52	103.90	104.75	0.3985	0.6015
1.25	887.25	12.36	114.65	0.99913	105.89	9.80	6.64	105.35	106.42	0.4023	0.5977
1.50	859.91	12.32	113.31	0.99914	106.98	9.79	6.71	106.42	107.55	0.4048	0.5952
1.75	832.56	12.29	112.36	0.99914	107.77	9.78	6.74	107.20	108.33	0.4064	0.5936
2.00	805.22	12.27	111.67	0.99914	108.33	9.76	6.76	107.79	108.86	0.4074	0.5926
2.25	777.88	12.26	111.17	0.99914	108.74	9.74	6.76	108.24	109.23	0.4081	0.5919
2.50	750.53	12.25	110.80	0.99914	109.04	9.73	6.77	108.58	109.49	0.4085	0.5915
2.75	723.19	12.25	110.54	0.99914	109.25	9.72	6.77	108.84	109.66	0.4087	0.5913
3.00	695.84	12.25	110.35	0.99914	109.41	9.72	6.77	109.04	109.77	0.4088	0.5912
3.25	668.50	12.25	110.21	0.99914	109.52	9.71	6.77	109.19	109.84	0.4089	0.5911
3.50	641.16	12.25	110.11	0.99914	109.60	9.71	6.77	109.31	109.89	0.4089	0.5911
3.75	613.81	12.25	110.03	0.99914	109.66	9.71	6.77	109.41	109.92	0.4089	0.5911
4.00	586.47	12.25	109.98	0.99914	109.71	9.71	6.77	109.48	109.93	0.4089	0.5911
4.02	584.17	12.25	109.98	0.99914	109.71	9.71	6.77	109.49	109.93	0.4089	0.5911

NUMERO DO TESTE= 23

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1234.71	14.01	163.97	0.99000	72.99	1.19	1.19	72.99	72.99	0.5000	0.5000
0.25	1234.71	12.79	129.19	0.99809	89.56	8.30	4.96	90.50	88.63	0.3740	0.6260
0.50	1188.05	12.47	119.07	0.99834	94.37	9.25	5.84	94.82	93.93	0.3869	0.6131
0.75	1138.42	12.30	113.65	0.99843	96.95	9.55	6.24	97.06	96.83	0.3952	0.6048
1.00	1094.39	12.20	110.25	0.99846	98.56	9.63	6.44	98.48	98.64	0.4006	0.5994
1.25	1052.30	12.13	107.95	0.99848	99.65	9.64	6.54	99.46	99.63	0.4043	0.5957
1.50	1011.28	12.09	106.35	0.99848	100.41	9.62	6.59	100.16	100.65	0.4067	0.5933
1.75	970.27	12.05	105.21	0.99849	100.95	9.59	6.62	100.68	101.22	0.4082	0.5918
2.00	929.25	12.03	104.40	0.99849	101.35	9.57	6.63	101.06	101.61	0.4092	0.5908
2.25	888.23	12.02	103.82	0.99848	101.61	9.55	6.63	101.34	101.88	0.4097	0.5903
2.50	847.22	12.01	103.40	0.99848	101.81	9.54	6.63	101.55	102.07	0.4100	0.5900
2.75	806.20	12.01	103.09	0.99848	101.95	9.53	6.63	101.70	102.19	0.4102	0.5898
3.00	765.19	12.01	102.89	0.99848	102.05	9.52	6.63	101.82	102.28	0.4103	0.5897
3.25	724.17	12.01	102.72	0.99848	102.13	9.52	6.62	101.91	102.34	0.4103	0.5897
3.50	683.16	12.01	102.61	0.99848	102.18	9.52	6.62	101.98	102.37	0.4103	0.5897
3.75	642.14	12.01	102.53	0.99848	102.22	9.52	6.62	102.04	102.39	0.4103	0.5897
4.00	601.13	12.01	102.47	0.99848	102.24	9.52	6.62	102.08	102.40	0.4103	0.5897
4.02	597.68	12.01	102.47	0.99848	102.24	9.52	6.62	102.08	102.40	0.4103	0.5897

NUMERO DO TESTE= 24

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1352.30	13.78	166.04	0.99000	74.83	1.78	1.78	74.83	74.83	0.5000	0.5000
0.25	1352.30	12.44	126.18	0.99710	87.24	8.16	4.93	88.27	86.21	0.3762	0.6238
0.50	1288.48	12.08	114.58	0.99746	90.84	9.02	5.72	91.49	90.20	0.3876	0.6124
0.75	1221.02	11.90	108.45	0.99757	92.74	9.27	6.07	93.12	92.37	0.3953	0.6047
1.00	1161.17	11.79	104.67	0.99762	93.91	9.33	6.24	94.12	93.71	0.4004	0.5996
1.25	1104.38	11.71	102.16	0.99764	94.69	9.32	6.32	94.79	94.59	0.4038	0.5962
1.50	1048.81	11.67	100.44	0.99764	95.22	9.29	6.36	95.26	95.19	0.4060	0.5940
1.75	993.67	11.64	99.24	0.99764	95.59	9.26	6.38	95.60	95.59	0.4073	0.5927
2.00	938.59	11.62	98.41	0.99764	95.85	9.23	6.38	95.83	95.88	0.4081	0.5919
2.25	883.39	11.61	97.82	0.99764	96.03	9.21	6.38	96.00	96.07	0.4086	0.5914
2.50	827.92	11.60	97.41	0.99764	96.16	9.20	6.37	96.12	96.20	0.4088	0.5912
2.75	772.45	11.60	97.13	0.99763	96.25	9.19	6.37	96.20	96.30	0.4089	0.5911
3.00	716.98	11.60	96.93	0.99763	96.31	9.19	6.37	96.26	96.36	0.4090	0.5910
3.25	661.29	11.60	96.78	0.99763	96.36	9.19	6.37	96.31	96.40	0.4090	0.5910
3.50	605.43	11.60	96.69	0.99763	96.39	9.19	6.37	96.34	96.43	0.4090	0.5910
3.75	549.57	11.61	96.62	0.99763	96.41	9.19	6.37	96.36	96.45	0.4089	0.5911
4.00	493.71	11.62	96.57	0.99763	96.42	9.19	6.37	96.38	96.46	0.4089	0.5911
4.02	489.24	11.62	96.57	0.99763	96.42	9.19	6.37	96.38	96.46	0.4089	0.5911

NUMERO DO TESTE= 25

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1048.52	14.25	173.22	0.99000	79.70	0.65	0.65	79.70	79.70	0.8000	0.2000
0.25	1048.52	13.15	142.76	0.99913	106.32	8.45	5.01	106.68	104.91	0.7009	0.2991
0.50	1018.75	12.92	135.25	0.99924	112.86	9.50	5.97	112.95	112.52	0.7129	0.2871
0.75	986.42	12.80	131.39	0.99928	116.23	9.87	6.42	116.15	116.52	0.7202	0.2798
1.00	957.67	12.73	128.99	0.99929	118.32	10.00	6.67	118.16	118.93	0.7249	0.2751
1.25	930.33	12.68	127.37	0.99930	119.72	10.05	6.80	119.53	120.49	0.7281	0.2719
1.50	902.98	12.65	126.23	0.99930	120.71	10.05	6.80	120.51	121.52	0.7302	0.2698
1.75	875.64	12.62	125.42	0.99930	121.42	10.04	6.92	121.22	122.21	0.7316	0.2684
2.00	848.30	12.61	124.83	0.99930	121.93	10.03	6.95	121.74	122.67	0.7325	0.2675
2.25	820.95	12.60	124.41	0.99930	122.30	10.02	6.96	122.13	122.98	0.7331	0.2669
2.50	793.61	12.59	124.10	0.99930	122.57	10.01	6.97	122.41	123.18	0.7334	0.2666
2.75	766.27	12.59	123.88	0.99930	122.76	10.01	6.97	122.62	123.30	0.7336	0.2664
3.00	738.92	12.59	123.71	0.99930	122.90	10.00	6.97	122.78	123.38	0.7338	0.2662
3.25	711.58	12.59	123.59	0.99930	123.00	10.00	6.97	122.90	123.42	0.7336	0.2662
3.50	684.23	12.59	123.51	0.99930	123.08	10.00	6.97	122.99	123.44	0.7339	0.2661
3.75	656.89	12.59	123.44	0.99930	123.13	10.00	6.97	123.05	123.45	0.7339	0.2661
4.00	629.55	12.59	123.40	0.99930	123.17	10.00	6.97	123.10	123.44	0.7339	0.2661
4.02	627.25	12.59	123.40	0.99930	123.17	10.00	6.97	123.11	123.44	0.7339	0.2661

NUMERO DO TESTE= 26

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1254.31	14.02	174.35	0.99000	81.81	1.21	1.21	81.81	81.81	0.8000	0.2000
0.25	1254.31	12.70	135.64	0.99834	99.56	8.25	4.92	99.94	98.02	0.7046	0.2954
0.50	1206.67	12.41	126.03	0.99853	103.95	9.20	5.79	104.14	103.21	0.7159	0.2841
0.75	1156.81	12.26	121.08	0.99859	106.21	9.50	6.19	106.27	105.98	0.7228	0.2772
1.00	1112.73	12.17	118.01	0.99862	107.62	9.60	6.40	107.60	107.69	0.7273	0.2727
1.25	1070.36	12.11	115.94	0.99862	108.56	9.61	6.51	108.50	108.80	0.7303	0.2697
1.50	1029.34	12.07	114.49	0.99863	109.22	9.60	6.57	109.14	109.55	0.7323	0.2677
1.75	988.33	12.04	113.46	0.99863	109.69	9.58	6.59	109.60	110.06	0.7335	0.2665
2.00	947.31	12.03	112.72	0.99862	110.03	9.56	6.61	109.93	110.40	0.7343	0.2657
2.25	906.30	12.01	112.20	0.99862	110.26	9.55	6.61	110.17	110.64	0.7347	0.2653
2.50	865.28	12.01	111.82	0.99862	110.44	9.54	6.61	110.35	110.79	0.7350	0.2650
2.75	824.27	12.00	111.55	0.99862	110.56	9.53	6.61	110.48	110.89	0.7352	0.2648
3.00	783.25	12.00	111.36	0.99862	110.65	9.52	6.61	110.57	110.95	0.7352	0.2648
3.25	742.23	12.00	111.22	0.99862	110.71	9.52	6.61	110.64	110.99	0.7353	0.2647
3.50	701.22	12.01	111.12	0.99862	110.75	9.52	6.61	110.69	111.01	0.7353	0.2647
3.75	660.20	12.01	111.05	0.99862	110.79	9.52	6.61	110.73	111.02	0.7353	0.2647
4.00	619.19	12.01	111.00	0.99862	110.81	9.52	6.61	110.76	111.02	0.7353	0.2647
4.02	615.74	12.01	110.99	0.99862	110.81	9.52	6.61	110.76	111.02	0.7353	0.2647

NUMERO DO TESTE= 27

X	P	VF	TF	EPSILON	TS	VS(1)	VS(2)	TS(1)	TS(2)	Y(1)	Y(2)
M	PASCAL	M/S	C	M3/M3	C	M/S	M/S	C	C	M3/M3	M3/M3
0.00	1969.66	18.40	175.47	0.99000	88.85	1.31	1.31	88.85	88.85	0.5000	0.5000
0.25	1969.66	16.95	143.64	0.99837	106.66	10.62	6.42	107.86	105.47	0.3769	0.6231
0.50	1905.97	16.59	134.57	0.99861	111.73	12.03	7.70	112.51	110.95	0.3902	0.6098
0.75	1839.44	16.40	129.81	0.99870	114.38	12.56	8.34	114.86	113.91	0.3986	0.6012
1.00	1781.52	16.29	126.87	0.99874	116.02	12.78	8.70	116.30	115.74	0.4048	0.5952
1.25	1727.45	16.22	124.91	0.99876	117.12	12.87	8.91	117.27	116.96	0.4091	0.5909
1.50	1675.73	16.17	123.53	0.99877	117.88	12.89	9.04	117.96	117.80	0.4121	0.5879
1.75	1624.95	16.14	122.55	0.99878	118.43	12.89	9.12	118.46	118.40	0.4142	0.5858
2.00	1574.17	16.12	121.84	0.99878	118.82	12.88	9.17	118.83	118.82	0.4157	0.5843
2.25	1523.39	16.11	121.32	0.99878	119.11	12.87	9.20	119.10	119.12	0.4168	0.5832
2.50	1472.61	16.10	120.95	0.99878	119.32	12.86	9.22	119.30	119.35	0.4175	0.5825
2.75	1421.83	16.10	120.67	0.99879	119.48	12.85	9.23	119.45	119.51	0.4179	0.5821
3.00	1371.05	16.10	120.46	0.99879	119.59	12.85	9.24	119.56	119.52	0.4182	0.5818
3.25	1320.27	16.10	120.31	0.99879	119.67	12.85	9.25	119.64	119.70	0.4184	0.5816
3.50	1269.48	16.11	120.20	0.99879	119.73	12.85	9.25	119.70	119.76	0.4185	0.5815
3.75	1218.70	16.11	120.12	0.99879	119.78	12.85	9.25	119.75	119.81	0.4186	0.5814
4.00	1167.92	16.12	120.06	0.99879	119.81	12.85	9.26	119.78	119.84	0.4186	0.5814
4.02	1163.66	16.12	120.06	0.99879	119.81	12.85	9.26	119.78	119.84	0.4186	0.5814

NUMERO DO TESTE= 28

X	P	VF	TF	EPSILON	TS	VS(1)	VS(2)	TS(1)	TS(2)	Y(1)	Y(2)
M	PASCAL	M/S	C	M3/M3	C	M/S	M/S	C	C	M3/M3	M3/M3
0.00	2146.05	18.42	175.13	0.99000	93.59	1.98	1.98	93.59	93.59	0.5000	0.5000
0.25	2146.05	16.87	140.65	0.99755	106.40	10.63	6.50	107.57	105.24	0.3782	0.6218
0.50	2056.31	16.48	130.82	0.99790	110.04	12.00	7.72	110.91	109.18	0.3904	0.6096
0.75	1963.69	16.29	125.73	0.99802	111.92	12.51	8.33	112.56	111.29	0.3986	0.6014
1.00	1883.80	16.17	122.63	0.99808	113.07	12.71	8.67	113.54	112.60	0.4044	0.5956
1.25	1809.83	16.10	120.58	0.99811	113.83	12.79	8.87	114.20	113.46	0.4086	0.5914
1.50	1738.78	16.06	119.17	0.99813	114.35	12.81	8.99	114.64	114.06	0.4115	0.5885
1.75	1669.23	16.03	118.18	0.99814	114.72	12.80	9.07	114.96	114.47	0.4136	0.5864
2.00	1600.42	16.01	117.47	0.99814	114.98	12.79	9.12	115.18	114.77	0.4150	0.5850
2.25	1531.92	16.00	116.96	0.99815	115.17	12.78	9.15	115.34	114.99	0.4160	0.5840
2.50	1463.56	16.00	116.60	0.99815	115.30	12.78	9.16	115.46	115.15	0.4166	0.5834
2.75	1395.20	16.00	116.33	0.99815	115.40	12.77	9.18	115.54	115.26	0.4170	0.5830
3.00	1326.84	16.00	116.14	0.99815	115.47	12.77	9.19	115.59	115.35	0.4173	0.5827
3.25	1258.48	16.01	116.00	0.99815	115.52	12.77	9.19	115.63	115.41	0.4175	0.5825
3.50	1190.13	16.02	115.90	0.99815	115.56	12.77	9.20	115.65	115.46	0.4176	0.5824
3.75	1121.58	16.02	115.83	0.99815	115.58	12.77	9.20	115.67	115.49	0.4177	0.5823
4.00	1052.84	16.03	115.78	0.99815	115.60	12.78	9.21	115.68	115.52	0.4177	0.5823
4.02	1047.34	16.04	115.78	0.99815	115.60	12.78	9.21	115.68	115.52	0.4177	0.5823

NUMERO DO TESTE= 29

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1734.48	18.71	178.59	0.99000	88.67	1.00	1.00	88.67	88.67	0.8000	0.2000
0.25	1734.48	17.21	146.30	0.99894	112.42	10.73	6.47	112.94	110.37	0.7064	0.2936
0.50	1681.25	16.90	138.32	0.99909	118.14	12.20	7.80	118.45	116.69	0.7182	0.2818
0.75	1625.84	16.75	134.62	0.99914	120.99	12.78	8.47	121.17	120.30	0.7255	0.2745
1.00	1577.33	16.66	132.27	0.99916	122.72	13.03	8.85	122.81	122.37	0.7305	0.2695
1.25	1531.66	16.61	130.70	0.99917	123.87	13.14	9.09	123.90	123.72	0.7340	0.2660
1.50	1488.14	16.57	129.61	0.99918	124.66	13.18	9.23	124.67	124.64	0.7365	0.2635
1.75	1445.17	16.54	128.84	0.99918	125.23	13.19	9.33	125.22	125.28	0.7382	0.2618
2.00	1402.20	16.53	128.27	0.99918	125.64	13.20	9.39	125.62	125.73	0.7395	0.2605
2.25	1359.23	16.52	127.87	0.99918	125.94	13.19	9.43	125.91	126.04	0.7403	0.2597
2.50	1316.27	16.51	127.57	0.99918	126.16	13.19	9.45	126.13	126.27	0.7409	0.2591
2.75	1273.30	16.51	127.35	0.99918	126.32	13.18	9.47	126.29	126.42	0.7413	0.2587
3.00	1230.33	16.51	127.19	0.99918	126.43	13.18	9.48	126.41	126.54	0.7416	0.2584
3.25	1187.36	16.52	127.07	0.99918	126.52	13.18	9.49	126.50	126.62	0.7418	0.2582
3.50	1144.39	16.52	126.98	0.99918	126.58	13.18	9.50	126.56	126.67	0.7419	0.2581
3.75	1101.42	16.53	126.92	0.99918	126.63	13.18	9.50	126.61	126.71	0.7420	0.2580
4.00	1058.45	16.53	126.88	0.99918	126.66	13.18	9.50	126.64	126.73	0.7420	0.2580
4.02	1054.84	16.53	126.87	0.99918	126.66	13.18	9.51	126.64	126.73	0.7420	0.2580

NUMERO DO TESTE= 30

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	2518.42	24.06	175.30	0.99000	85.19	0.93	0.93	85.19	85.19	0.8000	0.2000
0.25	2518.42	22.33	146.91	0.99923	115.10	13.44	8.18	115.78	112.39	0.7054	0.2946
0.50	2454.45	21.99	140.38	0.99934	121.96	15.50	9.98	122.42	120.13	0.7172	0.2828
0.75	2387.06	21.84	137.24	0.99939	125.25	16.38	10.95	125.56	124.05	0.7246	0.2754
1.00	2327.95	21.76	135.40	0.99941	127.18	16.81	11.53	127.38	126.38	0.7298	0.2702
1.25	2272.89	21.71	134.22	0.99942	128.41	17.04	11.91	128.55	127.88	0.7335	0.2665
1.50	2219.86	21.67	133.42	0.99942	129.26	17.16	12.17	129.35	128.89	0.7363	0.2637
1.75	2168.61	21.66	132.86	0.99943	129.84	17.23	12.35	129.91	129.58	0.7383	0.2617
2.00	2117.83	21.65	132.46	0.99943	130.26	17.26	12.47	130.31	130.08	0.7398	0.2602
2.25	2067.05	21.64	132.17	0.99943	130.57	17.28	12.56	130.60	130.43	0.7410	0.2590
2.50	2016.27	21.64	131.96	0.99943	130.79	17.29	12.62	130.81	130.68	0.7418	0.2582
2.75	1965.48	21.65	131.80	0.99943	130.95	17.30	12.66	130.97	130.87	0.7424	0.2576
3.00	1914.70	21.65	131.69	0.99943	131.07	17.30	12.70	131.08	131.00	0.7429	0.2571
3.25	1863.92	21.66	131.61	0.99943	131.15	17.31	12.72	131.16	131.10	0.7432	0.2568
3.50	1813.14	21.67	131.55	0.99943	131.21	17.31	12.74	131.22	131.17	0.7434	0.2566
3.75	1762.36	21.68	131.50	0.99943	131.26	17.32	12.76	131.27	131.23	0.7436	0.2564
4.00	1711.58	21.69	131.47	0.99943	131.29	17.32	12.77	131.30	131.27	0.7437	0.2563
4.02	1707.31	21.69	131.47	0.99943	131.29	17.32	12.77	131.30	131.27	0.7437	0.2563

NUMERO DO TESTE= 31

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	2890.80	24.10	178.94	0.99000	87.94	1.68	1.68	87.94	87.94	0.8000	0.2000
0.25	2890.80	21.98	142.70	0.99863	109.53	13.36	8.18	110.21	106.94	0.6999	0.3001
0.50	2793.13	21.54	134.07	0.99882	114.63	15.30	9.89	115.14	112.67	0.7114	0.2886
0.75	2693.64	21.34	129.87	0.99889	117.10	16.10	10.80	117.48	115.65	0.7186	0.2812
1.00	2608.69	21.23	127.40	0.99892	118.56	16.48	11.34	118.85	117.46	0.7239	0.2761
1.25	2530.57	21.16	125.78	0.99894	119.52	16.67	11.69	119.74	118.65	0.7277	0.2723
1.50	2455.94	21.12	124.68	0.99895	120.17	16.77	11.92	120.35	119.47	0.7304	0.2696
1.75	2383.13	21.09	123.90	0.99896	120.63	16.81	12.07	120.78	120.05	0.7324	0.2676
2.00	2311.27	21.08	123.34	0.99896	120.96	16.83	12.18	121.08	120.47	0.7339	0.2661
2.25	2239.95	21.07	122.94	0.99896	121.19	16.84	12.26	121.30	120.78	0.7350	0.2650
2.50	2168.86	21.07	122.64	0.99896	121.37	16.84	12.31	121.46	121.01	0.7358	0.2642
2.75	2097.77	21.08	122.43	0.99897	121.49	16.85	12.35	121.58	121.19	0.7364	0.2636
3.00	2026.67	21.08	122.27	0.99897	121.59	16.85	12.38	121.66	121.32	0.7368	0.2632
3.25	1955.58	21.09	122.15	0.99897	121.66	16.86	12.40	121.72	121.42	0.7371	0.2629
3.50	1884.48	21.11	122.07	0.99897	121.70	16.86	12.42	121.76	121.50	0.7373	0.2627
3.75	1813.39	21.12	122.01	0.99897	121.74	16.87	12.43	121.79	121.56	0.7374	0.2626
4.00	1742.30	21.13	121.96	0.99897	121.77	16.88	12.44	121.81	121.61	0.7375	0.2625
4.02	1736.61	21.13	121.96	0.99897	121.77	16.88	12.44	121.81	121.61	0.7376	0.2624

NUMERO DO TESTE= 32

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1430.70	14.17	174.52	0.99000	78.87	1.67	1.67	78.87	78.87	0.8000	0.2000
0.25	1430.70	12.67	130.26	0.99773	93.79	8.29	5.00	94.23	92.04	0.7060	0.2940
0.50	1369.17	12.34	119.37	0.99798	97.44	9.19	5.82	97.71	96.37	0.7163	0.2837
0.75	1305.17	12.17	113.84	0.99806	99.30	9.46	6.19	99.45	98.69	0.7229	0.2771
1.00	1248.64	12.07	110.44	0.99808	100.44	9.54	6.38	100.52	100.11	0.7273	0.2727
1.25	1194.92	12.01	108.18	0.99809	101.19	9.54	6.48	101.23	101.04	0.7301	0.2699
1.50	1142.19	11.96	106.62	0.99809	101.72	9.52	6.53	101.73	101.67	0.7320	0.2680
1.75	1089.84	11.94	105.53	0.99809	102.08	9.50	6.55	102.08	102.10	0.7332	0.2668
2.00	1037.41	11.92	104.76	0.99809	102.34	9.48	6.56	102.32	102.39	0.7339	0.2661
2.25	984.67	11.91	104.22	0.99809	102.52	9.46	6.56	102.50	102.59	0.7343	0.2657
2.50	931.73	11.90	103.84	0.99808	102.65	9.45	6.56	102.62	102.73	0.7345	0.2655
2.75	878.61	11.90	103.57	0.99808	102.74	9.44	6.56	102.71	102.82	0.7347	0.2653
3.00	825.48	11.90	103.39	0.99808	102.80	9.44	6.56	102.78	102.89	0.7347	0.2653
3.25	772.36	11.90	103.26	0.99808	102.84	9.44	6.56	102.82	102.93	0.7347	0.2653
3.50	718.98	11.91	103.16	0.99808	102.87	9.44	6.56	102.85	102.96	0.7347	0.2653
3.75	665.46	11.91	103.10	0.99808	102.89	9.44	6.56	102.87	102.97	0.7347	0.2653
4.00	611.95	11.92	103.05	0.99808	102.91	9.44	6.56	102.89	102.98	0.7347	0.2653
4.02	607.66	11.92	103.05	0.99808	102.91	9.44	6.56	102.89	102.98	0.7347	0.2653

NUMERO DO TESTE= 33

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1714.88	14.28	174.17	0.99000	85.47	1.70	1.70	85.47	85.47	0.2000	0.8000
0.25	1714.88	13.36	147.66	0.99524	94.32	8.66	3.11	97.58	93.50	0.0822	0.9178
0.50	1656.55	12.97	135.43	0.99586	98.38	9.66	3.59	100.92	97.75	0.0848	0.9152
0.75	1590.96	12.73	127.68	0.99609	100.96	9.94	3.81	102.76	100.51	0.0872	0.9128
1.00	1531.08	12.57	122.34	0.99618	102.73	10.00	3.91	103.98	102.43	0.0889	0.9111
1.25	1473.70	12.45	118.50	0.99622	104.01	9.97	3.96	104.84	103.80	0.0901	0.9099
1.50	1417.41	12.37	115.69	0.99623	104.94	9.92	3.98	105.48	104.81	0.0908	0.9092
1.75	1361.55	12.31	113.61	0.99623	105.63	9.86	3.97	105.96	105.55	0.0913	0.9087
2.00	1305.69	12.27	112.07	0.99622	106.14	9.82	3.97	106.33	106.09	0.0915	0.9085
2.25	1249.72	12.24	110.92	0.99621	106.52	9.78	3.96	106.60	106.50	0.0916	0.9084
2.50	1193.47	12.22	110.07	0.99620	106.80	9.75	3.94	106.81	106.80	0.0916	0.9084
2.75	1137.22	12.21	109.44	0.99619	107.01	9.73	3.94	106.97	107.02	0.0916	0.9084
3.00	1080.66	12.20	108.97	0.99618	107.17	9.71	3.93	107.09	107.19	0.0916	0.9084
3.25	1024.02	12.20	108.62	0.99618	107.28	9.70	3.92	107.19	107.31	0.0915	0.9085
3.50	967.02	12.20	108.36	0.99617	107.37	9.69	3.92	107.26	107.40	0.0915	0.9085
3.75	909.98	12.20	108.17	0.99617	107.43	9.69	3.91	107.31	107.46	0.0914	0.9086
4.00	852.95	12.20	108.03	0.99617	107.48	9.69	3.91	107.36	107.51	0.0914	0.9086
4.02	848.39	12.20	108.02	0.99617	107.48	9.69	3.91	107.36	107.51	0.0914	0.9086

NUMERO DO TESTE= 34

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	930.93	14.19	165.52	0.99000	58.40	0.72	0.72	58.40	58.40	0.5000	0.5000
0.25	930.93	13.16	137.38	0.99832	80.73	8.48	2.85	82.80	78.67	0.2505	0.7495
0.50	900.84	12.84	127.30	0.99857	88.70	9.49	3.41	89.69	87.73	0.2633	0.7367
0.75	867.55	12.65	121.29	0.99866	93.45	9.81	3.68	93.58	93.33	0.2714	0.7286
1.00	836.62	12.53	117.24	0.99869	96.66	9.90	3.81	96.21	97.11	0.2768	0.7232
1.25	807.32	12.44	114.33	0.99871	98.95	9.90	3.88	98.14	99.76	0.2804	0.7196
1.50	778.02	12.37	112.20	0.99872	100.63	9.87	3.91	99.62	101.64	0.2828	0.7172
1.75	748.73	12.33	110.61	0.99872	101.89	9.83	3.93	100.77	102.99	0.2842	0.7158
2.00	719.43	12.29	109.42	0.99872	102.82	9.80	3.93	101.68	103.96	0.2851	0.7149
2.25	690.13	12.27	108.53	0.99872	103.53	9.77	3.93	102.40	104.65	0.2856	0.7144
2.50	660.84	12.25	107.86	0.99872	104.06	9.74	3.92	102.98	105.14	0.2858	0.7142
2.75	631.54	12.24	107.35	0.99871	104.46	9.73	3.92	103.44	105.47	0.2859	0.7141
3.00	602.24	12.23	106.96	0.99871	104.76	9.71	3.91	103.81	105.70	0.2859	0.7141
3.25	572.95	12.22	106.68	0.99871	104.99	9.70	3.91	104.12	105.86	0.2858	0.7142
3.50	543.65	12.22	106.46	0.99871	105.16	9.70	3.90	104.36	105.95	0.2858	0.7142
3.75	514.35	12.22	106.29	0.99871	105.29	9.69	3.90	104.57	106.01	0.2857	0.7143
4.00	485.05	12.22	106.17	0.99871	105.39	9.69	3.90	104.73	106.04	0.2856	0.7144
4.02	482.59	12.22	106.16	0.99871	105.40	9.69	3.90	104.75	106.04	0.2856	0.7144

NUMERO DO TESTE= 35

101

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1597.29	14.25	171.23	0.99000	75.57	1.94	1.94	75.57	75.57	0.5000	0.5000
0.25	1597.29	13.02	135.37	0.99576	86.09	8.50	3.13	88.46	83.72	0.2690	0.7310
0.50	1530.52	12.62	122.57	0.99623	89.83	9.43	3.54	91.73	87.93	0.2728	0.7272
0.75	1458.45	12.38	115.01	0.99639	92.04	9.68	3.72	93.46	90.61	0.2775	0.7225
1.00	1393.63	12.23	109.98	0.99645	93.50	9.72	3.80	94.57	92.44	0.2810	0.7190
1.25	1331.13	12.12	106.45	0.99647	94.53	9.69	3.83	95.34	93.73	0.2834	0.7166
1.50	1269.58	12.05	103.91	0.99647	95.27	9.64	3.84	95.89	94.65	0.2849	0.7151
1.75	1209.03	12.00	102.07	0.99646	95.81	9.59	3.84	96.29	95.33	0.2858	0.7142
2.00	1146.64	11.96	100.73	0.99645	96.20	9.55	3.83	96.58	95.82	0.2862	0.7138
2.25	1084.14	11.94	99.76	0.99644	96.48	9.52	3.82	96.79	96.17	0.2863	0.7137
2.50	1021.64	11.93	99.05	0.99643	96.69	9.49	3.81	96.94	96.43	0.2863	0.7137
2.75	959.14	11.92	98.54	0.99643	96.84	9.47	3.80	97.05	96.63	0.2862	0.7138
3.00	896.64	11.91	98.17	0.99642	96.94	9.46	3.79	97.12	96.77	0.2861	0.7139
3.25	834.14	11.91	97.90	0.99642	97.02	9.46	3.79	97.18	96.87	0.2859	0.7141
3.50	771.64	11.92	97.71	0.99641	97.08	9.45	3.78	97.21	96.94	0.2858	0.7142
3.75	709.14	11.92	97.57	0.99641	97.12	9.45	3.78	97.24	97.00	0.2857	0.7143
4.00	646.64	11.92	97.46	0.99641	97.15	9.45	3.78	97.25	97.04	0.2857	0.7143
4.02	641.39	11.92	97.46	0.99641	97.15	9.45	3.78	97.25	97.05	0.2857	0.7143

NUMERO DO TESTE= 36

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1087.72	14.18	168.55	0.99000	72.72	0.67	0.67	72.72	72.72	0.8000	0.2000
0.25	1087.72	13.13	139.38	0.99889	97.43	8.44	2.83	98.23	94.28	0.5703	0.4297
0.50	1057.77	12.87	131.29	0.99904	104.27	9.48	3.40	104.63	102.83	0.5868	0.4132
0.75	1025.20	12.74	126.88	0.99909	107.99	9.83	3.67	108.05	107.77	0.5970	0.4030
1.00	995.55	12.65	124.03	0.99911	110.39	9.96	3.82	110.26	110.92	0.6036	0.3964
1.25	968.05	12.59	122.06	0.99912	112.06	9.99	3.91	111.82	113.01	0.6080	0.3920
1.50	940.70	12.55	120.64	0.99912	113.26	9.98	3.96	112.96	114.42	0.6110	0.3890
1.75	913.36	12.52	119.60	0.99913	114.13	9.97	3.98	113.82	115.37	0.6129	0.3871
2.00	886.02	12.50	118.83	0.99913	114.78	9.95	3.99	114.47	116.01	0.6141	0.3859
2.25	858.67	12.49	118.27	0.99913	115.25	9.93	4.00	114.96	116.43	0.6148	0.3852
2.50	831.33	12.48	117.85	0.99913	115.60	9.92	4.00	115.33	116.69	0.6152	0.3848
2.75	803.98	12.47	117.54	0.99912	115.87	9.91	4.00	115.62	116.86	0.6155	0.3845
3.00	776.64	12.47	117.31	0.99912	116.06	9.90	4.00	115.83	116.95	0.6156	0.3844
3.25	749.30	12.46	117.14	0.99912	116.20	9.90	4.00	116.00	116.99	0.6157	0.3843
3.50	721.95	12.46	117.01	0.99912	116.31	9.90	4.00	116.13	117.01	0.6157	0.3843
3.75	694.61	12.46	116.91	0.99912	116.39	9.89	4.00	116.23	117.00	0.6157	0.3843
4.00	667.27	12.47	116.84	0.99912	116.45	9.89	4.00	116.31	116.98	0.6157	0.3843
4.02	664.97	12.47	116.84	0.99912	116.45	9.89	4.00	116.32	116.97	0.6157	0.3843

NUMERO DO TESTE= 37

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1215.11	14.22	169.94	0.99000	71.06	1.23	1.23	71.06	71.06	0.8000	0.2000
0.25	1215.11	12.90	132.02	0.99800	88.92	8.37	2.89	89.89	85.15	0.5732	0.4268
0.50	1168.66	12.57	121.51	0.99824	93.84	9.33	3.36	94.47	91.39	0.5853	0.4147
0.75	1119.53	12.39	115.76	0.99832	96.53	9.62	3.61	96.89	95.12	0.5938	0.4062
1.00	1075.66	12.28	112.05	0.99835	98.26	9.70	3.73	98.44	97.56	0.5995	0.4005
1.25	1033.81	12.20	109.48	0.99836	99.47	9.70	3.79	99.53	99.23	0.6033	0.3967
1.50	992.56	12.15	107.64	0.99836	100.33	9.68	3.82	100.31	100.40	0.6057	0.3943
1.75	951.55	12.11	106.30	0.99836	100.95	9.65	3.83	100.89	101.21	0.6072	0.3928
2.00	910.31	12.08	105.32	0.99836	101.41	9.62	3.83	101.32	101.77	0.6080	0.3920
2.25	868.91	12.07	104.60	0.99836	101.74	9.60	3.83	101.64	102.16	0.6085	0.3915
2.50	827.50	12.05	104.08	0.99835	101.99	9.58	3.83	101.88	102.43	0.6087	0.3913
2.75	785.84	12.05	103.70	0.99835	102.17	9.57	3.83	102.05	102.61	0.6088	0.3912
3.00	744.05	12.04	103.42	0.99835	102.30	9.56	3.82	102.19	102.72	0.6088	0.3912
3.25	702.23	12.04	103.22	0.99835	102.39	9.55	3.82	102.29	102.80	0.6088	0.3912
3.50	660.05	12.04	103.07	0.99835	102.46	9.55	3.82	102.36	102.84	0.6087	0.3913
3.75	617.86	12.05	102.96	0.99835	102.51	9.55	3.82	102.42	102.86	0.6087	0.3913
4.00	575.67	12.05	102.88	0.99835	102.55	9.55	3.82	102.47	102.87	0.6087	0.3913
4.02	572.30	12.05	102.88	0.99835	102.55	9.55	3.82	102.47	102.87	0.6087	0.3913

NUMERO DO TESTE= 38

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1352.30	14.24	171.40	0.99000	77.59	1.74	1.74	77.59	77.59	0.8000	0.2000
0.25	1352.30	12.83	130.48	0.99719	90.94	8.38	3.02	91.90	87.12	0.5897	0.4103
0.50	1289.07	12.49	119.41	0.99749	94.54	9.30	3.44	95.26	91.64	0.5962	0.4038
0.75	1222.87	12.30	113.45	0.99759	96.47	9.57	3.64	97.00	94.39	0.6025	0.3975
1.00	1164.08	12.19	109.65	0.99763	97.71	9.65	3.74	98.08	96.21	0.6071	0.3929
1.25	1108.00	12.12	107.05	0.99764	98.55	9.64	3.78	98.82	97.47	0.6102	0.3898
1.50	1052.80	12.06	105.22	0.99764	99.14	9.62	3.80	99.34	98.35	0.6121	0.3879
1.75	997.72	12.03	103.91	0.99764	99.57	9.58	3.81	99.71	98.98	0.6133	0.3867
2.00	942.52	12.01	102.97	0.99763	99.87	9.56	3.81	99.98	99.43	0.6140	0.3860
2.25	887.05	11.99	102.30	0.99763	100.09	9.54	3.81	100.17	99.76	0.6143	0.3857
2.50	831.43	11.98	101.82	0.99763	100.24	9.52	3.80	100.31	99.99	0.6145	0.3855
2.75	775.57	11.98	101.48	0.99762	100.35	9.51	3.80	100.40	100.16	0.6145	0.3855
3.00	719.34	11.98	101.23	0.99762	100.43	9.50	3.80	100.47	100.28	0.6145	0.3855
3.25	663.09	11.98	101.06	0.99762	100.49	9.50	3.80	100.52	100.37	0.6144	0.3856
3.50	606.84	11.99	100.93	0.99762	100.53	9.50	3.79	100.56	100.43	0.6144	0.3856
3.75	550.59	11.99	100.84	0.99762	100.56	9.50	3.79	100.58	100.48	0.6144	0.3856
4.00	494.34	11.99	100.78	0.99762	100.58	9.50	3.80	100.60	100.51	0.6143	0.3857
4.02	489.81	12.00	100.78	0.99762	100.58	9.50	3.80	100.60	100.51	0.6143	0.3857

NUMERO DO TESTE= 39

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1744.27	18.00	176.25	0.99800	76.85	0.85	0.85	76.85	76.85	0.5000	0.5000
0.25	1744.27	17.58	150.74	0.99852	99.16	10.92	3.93	102.04	96.31	0.2631	0.7369
0.50	1701.28	17.22	141.85	0.99877	106.92	12.43	4.82	109.10	104.75	0.2779	0.7221
0.75	1654.45	17.01	136.65	0.99887	111.45	13.00	5.30	112.97	109.94	0.2878	0.7122
1.00	1612.38	16.87	133.18	0.99891	114.47	13.23	5.58	115.48	113.46	0.2949	0.7051
1.25	1573.00	16.78	130.72	0.99894	116.61	13.32	5.75	117.27	115.96	0.3001	0.6999
1.50	1533.94	16.71	128.91	0.99895	118.19	13.34	5.87	118.60	117.78	0.3039	0.6961
1.75	1494.88	16.66	127.55	0.99896	119.37	13.33	5.94	119.62	119.13	0.3067	0.6933
2.00	1456.55	16.62	126.52	0.99897	120.27	13.31	5.99	120.40	120.13	0.3086	0.6914
2.25	1419.44	16.59	125.74	0.99897	120.95	13.28	6.02	121.00	120.89	0.3101	0.6899
2.50	1382.33	16.58	125.14	0.99897	121.47	13.26	6.03	121.47	121.46	0.3111	0.6889
2.75	1345.22	16.56	124.68	0.99897	121.87	13.24	6.05	121.84	121.89	0.3117	0.6883
3.00	1308.11	16.56	124.33	0.99897	122.17	13.23	6.05	122.12	122.22	0.3122	0.6878
3.25	1269.22	16.55	124.06	0.99897	122.40	13.22	6.06	122.34	122.46	0.3125	0.6875
3.50	1230.16	16.55	123.85	0.99897	122.58	13.21	6.06	122.52	122.65	0.3127	0.6873
3.75	1191.09	16.55	123.69	0.99897	122.72	13.21	6.06	122.65	122.79	0.3129	0.6871
4.00	1152.03	16.55	123.57	0.99897	122.83	13.21	6.06	122.76	122.89	0.3129	0.6871
4.02	1148.75	16.55	123.56	0.99897	122.83	13.21	6.06	122.76	122.90	0.3129	0.6871

NUMERO DO TESTE= 40

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1842.27	18.81	177.46	0.99800	89.67	1.31	1.31	89.67	89.67	0.8000	0.2000
0.25	1842.27	17.31	145.08	0.99837	108.05	10.81	3.95	109.14	103.72	0.5938	0.4062
0.50	1777.77	16.96	136.36	0.99860	112.99	12.27	4.79	113.85	109.53	0.6096	0.3904
0.75	1711.13	16.78	131.74	0.99868	115.60	12.83	5.24	116.26	112.96	0.6204	0.3796
1.00	1653.23	16.66	128.83	0.99872	117.25	13.06	5.51	117.76	115.22	0.6280	0.3720
1.25	1599.02	16.59	126.84	0.99874	118.37	13.15	5.69	118.77	116.79	0.6335	0.3665
1.50	1546.63	16.54	125.42	0.99875	119.17	13.18	5.80	119.49	117.92	0.6375	0.3625
1.75	1495.84	16.51	124.38	0.99876	119.76	13.18	5.87	120.01	118.74	0.6404	0.3596
2.00	1445.06	16.48	123.62	0.99876	120.19	13.18	5.92	120.40	119.36	0.6424	0.3576
2.25	1394.28	16.47	123.05	0.99877	120.51	13.16	5.95	120.68	119.82	0.6439	0.3561
2.50	1343.50	16.46	122.63	0.99877	120.75	13.15	5.97	120.89	120.16	0.6449	0.3551
2.75	1292.72	16.46	122.32	0.99877	120.92	13.14	5.99	121.05	120.43	0.6456	0.3544
3.00	1241.94	16.46	122.09	0.99877	121.05	13.14	6.00	121.16	120.63	0.6461	0.3539
3.25	1191.16	16.46	121.91	0.99877	121.15	13.14	6.01	121.24	120.79	0.6465	0.3535
3.50	1140.38	16.46	121.79	0.99877	121.22	13.13	6.01	121.30	120.91	0.6467	0.3533
3.75	1089.59	16.47	121.69	0.99877	121.27	13.14	6.02	121.34	121.00	0.6469	0.3531
4.00	1038.81	16.47	121.62	0.99877	121.31	13.14	6.02	121.37	121.08	0.6470	0.3530
4.02	1034.55	16.47	121.62	0.99877	121.32	13.14	6.02	121.38	121.08	0.6470	0.3530

NUMERO DO TESTE= 41

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	2596.81	24.16	180.75	0.999000	77.40	0.99	0.99	77.40	77.40	0.8000	0.2000
0.25	2596.81	22.30	149.61	0.99902	107.75	13.46	5.02	109.37	101.38	0.5962	0.4038
0.50	2532.91	21.88	141.47	0.99918	115.66	15.47	6.24	116.97	110.45	0.6148	0.3852
0.75	2465.58	21.67	137.29	0.99923	119.72	16.31	6.93	120.75	115.67	0.6269	0.3731
1.00	2406.40	21.55	134.71	0.99926	122.22	16.71	7.36	123.02	119.05	0.6355	0.3645
1.25	2351.23	21.47	132.99	0.99928	123.89	16.91	7.66	124.53	121.38	0.6418	0.3582
1.50	2297.82	21.42	131.77	0.99929	125.07	17.00	7.86	125.58	123.05	0.6466	0.3534
1.75	2245.22	21.38	130.89	0.99929	125.92	17.05	8.01	126.34	124.27	0.6502	0.3498
2.00	2194.44	21.36	130.25	0.99930	126.55	17.06	8.11	126.89	125.18	0.6530	0.3470
2.25	2143.66	21.34	129.77	0.99930	127.01	17.07	8.19	127.30	125.87	0.6550	0.3450
2.50	2092.88	21.34	129.41	0.99930	127.35	17.07	8.25	127.59	126.39	0.6566	0.3434
2.75	2042.09	21.33	129.15	0.99930	127.61	17.06	8.29	127.81	126.80	0.6578	0.3422
3.00	1991.31	21.34	128.95	0.99930	127.80	17.06	8.32	127.97	127.11	0.6587	0.3413
3.25	1940.53	21.34	128.80	0.99930	127.94	17.06	8.34	128.09	127.36	0.6593	0.3407
3.50	1889.75	21.35	128.69	0.99930	128.05	17.06	8.36	128.18	127.55	0.6598	0.3402
3.75	1838.97	21.35	128.61	0.99931	128.13	17.07	8.38	128.24	127.70	0.6602	0.3398
4.00	1788.19	21.36	128.55	0.99931	128.19	17.07	8.39	128.28	127.82	0.6604	0.3396
4.02	1783.92	21.36	128.54	0.99931	128.19	17.07	8.39	128.29	127.83	0.6605	0.3395

NUMERO DO TESTE= 42

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	2724.20	24.21	182.57	0.999000	93.59	1.49	1.49	93.59	93.59	0.8000	0.2000
0.25	2724.20	22.40	152.11	0.99862	115.11	13.53	5.11	116.60	109.71	0.5780	0.4220
0.50	2640.16	21.98	143.87	0.99883	120.81	15.54	6.30	122.09	116.19	0.5952	0.4048
0.75	2553.41	21.77	139.58	0.99892	123.78	16.39	6.98	124.83	119.99	0.6070	0.3930
1.00	2478.62	21.64	136.92	0.99896	125.62	16.79	7.41	126.48	122.50	0.6156	0.3844
1.25	2409.48	21.56	135.13	0.99898	126.86	16.99	7.71	127.58	124.26	0.6219	0.3781
1.50	2343.25	21.51	133.86	0.99899	127.74	17.08	7.91	128.35	125.54	0.6267	0.3733
1.75	2278.53	21.48	132.94	0.99900	128.38	17.13	8.05	128.90	126.50	0.6303	0.3697
2.00	2214.59	21.46	132.26	0.99901	128.85	17.14	8.16	129.29	127.23	0.6331	0.3669
2.25	2151.09	21.44	131.75	0.99901	129.20	17.15	8.23	129.58	127.79	0.6352	0.3648
2.50	2087.81	21.44	131.37	0.99901	129.46	17.15	8.29	129.80	128.23	0.6368	0.3632
2.75	2024.53	21.44	131.09	0.99901	129.65	17.15	8.33	129.95	128.57	0.6380	0.3620
3.00	1961.25	21.44	130.88	0.99902	129.80	17.15	8.36	130.06	128.85	0.6389	0.3611
3.25	1897.97	21.45	130.72	0.99902	129.91	17.15	8.39	130.14	129.07	0.6395	0.3605
3.50	1834.69	21.45	130.60	0.99902	129.99	17.15	8.41	130.20	129.25	0.6400	0.3600
3.75	1771.41	21.46	130.51	0.99902	130.05	17.15	8.42	130.23	129.40	0.6404	0.3596
4.00	1707.95	21.47	130.44	0.99902	130.10	17.16	8.44	130.26	129.52	0.6407	0.3593
4.02	1702.85	21.48	130.43	0.99902	130.10	17.16	8.44	130.26	129.53	0.6407	0.3593

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1479.70	14.48	175.56	0.99000	83.45	1.18	1.18	83.45	83.45	0.2000	0.8000
0.25	1479.70	13.64	152.03	0.99644	94.86	5.24	3.04	96.51	94.45	0.1266	0.8734
0.50	1435.71	13.27	140.62	0.99700	100.38	6.20	3.60	101.75	100.04	0.1266	0.8734
0.75	1385.91	13.04	133.29	0.99720	103.93	6.64	3.86	104.94	103.68	0.1269	0.8731
1.00	1340.04	12.88	128.18	0.99729	106.40	6.85	3.99	107.10	106.22	0.1272	0.8728
1.25	1296.81	12.77	124.49	0.99733	108.18	6.96	4.06	108.64	108.06	0.1273	0.8727
1.50	1253.84	12.68	121.76	0.99735	109.49	7.00	4.09	109.77	109.43	0.1274	0.8726
1.75	1210.86	12.62	119.72	0.99736	110.48	7.01	4.09	110.62	110.44	0.1274	0.8726
2.00	1167.91	12.58	118.19	0.99736	111.22	7.01	4.09	111.25	111.21	0.1273	0.8727
2.25	1124.94	12.55	117.04	0.99735	111.77	7.00	4.08	111.74	111.78	0.1273	0.8727
2.50	1081.97	12.53	116.17	0.99735	112.19	6.99	4.08	112.11	112.21	0.1272	0.8728
2.75	1039.00	12.51	115.51	0.99734	112.51	6.98	4.07	112.40	112.54	0.1272	0.8728
3.00	996.03	12.50	115.01	0.99734	112.75	6.97	4.06	112.62	112.78	0.1271	0.8729
3.25	953.06	12.49	114.64	0.99733	112.93	6.96	4.05	112.79	112.96	0.1271	0.8729
3.50	910.09	12.49	114.35	0.99733	113.06	6.95	4.05	112.92	113.10	0.1271	0.8729
3.75	867.13	12.49	114.14	0.99733	113.17	6.95	4.04	113.02	113.20	0.1270	0.8730
4.00	824.16	12.49	113.98	0.99732	113.24	6.94	4.04	113.10	113.28	0.1270	0.8730
4.02	820.55	12.49	113.96	0.99732	113.25	6.94	4.04	113.10	113.29	0.1270	0.8730

NUMERO DO TESTE= 44

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1126.92	14.37	174.35	0.99000	73.55	0.53	0.53	73.55	73.55	0.8000	0.2000
0.25	1126.92	13.51	151.24	0.99881	98.40	5.12	2.89	98.80	96.82	0.6931	0.3069
0.50	1102.05	13.23	142.51	0.99901	107.77	6.11	3.49	108.01	106.83	0.6957	0.3043
0.75	1073.88	13.07	137.42	0.99908	113.23	6.58	3.79	113.33	112.85	0.6973	0.3027
1.00	1047.65	12.97	134.09	0.99911	116.80	6.82	3.95	116.79	116.82	0.6983	0.3017
1.25	1022.42	12.90	131.80	0.99913	119.25	6.95	4.04	119.18	119.53	0.6989	0.3011
1.50	998.98	12.85	130.17	0.99914	120.99	7.03	4.09	120.88	121.43	0.6993	0.3007
1.75	975.55	12.82	129.00	0.99915	122.25	7.06	4.11	122.12	122.77	0.6996	0.3004
2.00	952.11	12.79	128.14	0.99915	123.17	7.08	4.13	123.03	123.71	0.6997	0.3003
2.25	928.67	12.78	127.51	0.99915	123.84	7.09	4.13	123.70	124.38	0.6998	0.3002
2.50	905.23	12.77	127.05	0.99915	124.33	7.09	4.13	124.20	124.85	0.6999	0.3001
2.75	881.80	12.76	126.71	0.99915	124.70	7.09	4.13	124.58	125.18	0.6999	0.3001
3.00	858.36	12.75	126.45	0.99915	124.97	7.09	4.13	124.86	125.41	0.6999	0.3001
3.25	834.92	12.75	126.27	0.99915	125.17	7.08	4.13	125.07	125.56	0.6999	0.3001
3.50	811.48	12.75	126.13	0.99915	125.31	7.08	4.13	125.23	125.67	0.6999	0.3001
3.75	788.05	12.75	126.03	0.99915	125.42	7.08	4.13	125.35	125.73	0.6999	0.3001
4.00	764.61	12.75	125.95	0.99915	125.50	7.08	4.13	125.44	125.77	0.6999	0.3001
4.02	762.64	12.75	125.95	0.99915	125.51	7.08	4.13	125.44	125.78	0.6999	0.3001

NUMERO DO TESTE= 45

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1499.29	14.37	174.01	0.99000	84.37	1.16	1.16	84.37	84.37	0.8000	0.2000
0.25	1499.29	13.38	146.12	0.99741	98.04	5.15	2.98	98.46	96.33	0.6980	0.3020
0.50	1453.50	13.03	135.11	0.99781	103.41	6.09	3.52	103.75	102.07	0.6979	0.3021
0.75	1403.19	12.83	128.65	0.99796	106.57	6.52	3.77	106.81	105.61	0.6984	0.3016
1.00	1358.02	12.70	124.42	0.99802	108.64	6.73	3.90	108.80	107.98	0.6988	0.3012
1.25	1315.05	12.61	121.49	0.99805	110.06	6.84	3.97	110.17	109.64	0.6990	0.3010
1.50	1273.00	12.55	119.42	0.99807	111.07	6.89	4.00	111.14	110.82	0.6992	0.3008
1.75	1232.79	12.50	117.92	0.99807	111.80	6.91	4.02	111.84	111.67	0.6992	0.3008
2.00	1191.77	12.47	116.82	0.99808	112.34	6.92	4.02	112.35	112.29	0.6992	0.3008
2.25	1151.44	12.45	116.02	0.99808	112.73	6.92	4.02	112.72	112.74	0.6991	0.3009
2.50	1112.38	12.44	115.43	0.99807	113.01	6.91	4.01	113.00	113.06	0.6991	0.3009
2.75	1071.78	12.43	115.00	0.99807	113.22	6.91	4.01	113.21	113.29	0.6990	0.3010
3.00	1030.77	12.43	114.68	0.99807	113.38	6.90	4.01	113.36	113.46	0.6990	0.3010
3.25	989.75	12.43	114.45	0.99807	113.49	6.90	4.00	113.47	113.58	0.6990	0.3010
3.50	948.73	12.43	114.28	0.99807	113.57	6.89	4.00	113.55	113.67	0.6989	0.3011
3.75	907.72	12.43	114.15	0.99807	113.63	6.89	4.00	113.61	113.73	0.6989	0.3011
4.00	866.70	12.43	114.06	0.99807	113.68	6.89	4.00	113.66	113.77	0.6989	0.3011
4.02	863.26	12.43	114.05	0.99807	113.68	6.89	4.00	113.66	113.77	0.6989	0.3011

NUMERO DO TESTE= 46

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1832.47	14.80	174.49	0.99000	89.67	1.70	1.70	89.67	89.67	0.8000	0.2000
0.25	1832.47	13.74	145.11	0.99641	99.86	5.36	3.21	100.31	98.08	0.7055	0.2945
0.50	1768.97	13.36	133.34	0.99693	103.94	6.30	3.72	104.33	102.34	0.7025	0.2975
0.75	1699.61	13.14	126.51	0.99713	106.30	6.72	3.96	106.63	104.98	0.7020	0.2980
1.00	1637.88	13.00	122.00	0.99721	107.82	6.94	4.09	108.09	106.76	0.7020	0.2980
1.25	1579.86	12.91	119.07	0.99726	108.87	7.04	4.15	109.08	108.00	0.7020	0.2980
1.50	1523.78	12.85	116.95	0.99728	109.60	7.10	4.18	109.78	108.89	0.7020	0.2980
1.75	1468.67	12.81	115.43	0.99728	110.12	7.12	4.19	110.27	109.53	0.7019	0.2981
2.00	1413.98	12.78	114.35	0.99729	110.49	7.13	4.19	110.62	110.00	0.7019	0.2981
2.25	1359.54	12.76	113.56	0.99729	110.77	7.13	4.19	110.87	110.35	0.7018	0.2982
2.50	1305.24	12.75	112.99	0.99728	110.96	7.12	4.19	111.05	110.60	0.7018	0.2982
2.75	1250.95	12.74	112.57	0.99728	111.11	7.12	4.19	111.18	110.80	0.7017	0.2983
3.00	1196.33	12.74	112.27	0.99728	111.21	7.11	4.18	111.28	110.94	0.7017	0.2983
3.25	1141.64	12.74	112.05	0.99728	111.28	7.11	4.18	111.34	111.05	0.7016	0.2984
3.50	1086.95	12.74	111.90	0.99728	111.34	7.11	4.18	111.39	111.13	0.7016	0.2984
3.75	1032.27	12.75	111.78	0.99728	111.38	7.11	4.18	111.43	111.19	0.7016	0.2984
4.00	977.58	12.75	111.70	0.99728	111.41	7.11	4.18	111.45	111.24	0.7016	0.2984
4.02	973.20	12.75	111.69	0.99728	111.41	7.11	4.18	111.45	111.24	0.7016	0.2984

NUMERO DO TESTE= 47

X	p	VF	TF	EPSILON	TS	VS(1)	VS(2)	TS(1)	TS(2)	Y(1)	Y(2)
M	PASCAL	M/S	C	M3/M3	C	M/S	M/S	C	C	M3/M3	M3/M3
0.00	2528.22	18.37	179.37	0.99000	102.41	1.86	1.86	102.41	102.41	0.2000	0.8000
0.25	2528.22	17.42	158.60	0.99579	110.53	6.63	4.09	112.30	110.09	0.1335	0.8665
0.50	2454.52	17.01	148.43	0.99648	114.50	7.93	4.86	116.26	114.06	0.1334	0.8666
0.75	2372.38	16.76	141.94	0.99676	117.03	8.57	5.31	118.64	116.62	0.1341	0.8659
1.00	2298.84	16.59	137.44	0.99690	118.78	8.92	5.55	120.23	118.42	0.1347	0.8653
1.25	2229.89	16.47	134.19	0.99698	120.05	9.12	5.70	121.34	119.72	0.1352	0.8648
1.50	2163.60	16.38	131.77	0.99702	120.99	9.23	5.79	122.15	120.70	0.1356	0.8644
1.75	2098.92	16.32	129.96	0.99705	121.69	9.29	5.85	122.74	121.43	0.1359	0.8641
2.00	2035.14	16.27	128.58	0.99707	122.23	9.33	5.88	123.18	121.99	0.1361	0.8639
2.25	1971.86	16.24	127.52	0.99707	122.64	9.34	5.90	123.50	122.42	0.1363	0.8637
2.50	1908.96	16.22	126.71	0.99708	122.95	9.35	5.91	123.74	122.76	0.1364	0.8636
2.75	1846.17	16.21	126.09	0.99708	123.20	9.35	5.91	123.92	123.02	0.1365	0.8635
3.00	1783.67	16.20	125.61	0.99708	123.38	9.34	5.91	124.05	123.22	0.1366	0.8634
3.25	1721.17	16.19	125.24	0.99708	123.53	9.34	5.91	124.14	123.37	0.1366	0.8634
3.50	1658.67	16.19	124.96	0.99708	123.64	9.34	5.91	124.20	123.50	0.1367	0.8633
3.75	1595.81	16.19	124.74	0.99708	123.72	9.34	5.91	124.24	123.59	0.1367	0.8633
4.00	1532.92	16.20	124.57	0.99708	123.79	9.33	5.91	124.27	123.67	0.1367	0.8633
4.02	1527.89	16.20	124.56	0.99708	123.79	9.33	5.91	124.27	123.67	0.1367	0.8633

NUMERO DO TESTE= 48

X	p	VF	TF	EPSILON	TS	VS(1)	VS(2)	TS(1)	TS(2)	Y(1)	Y(2)
M	PASCAL	M/S	C	M3/M3	C	M/S	M/S	C	C	M3/M3	M3/M3
0.00	2371.43	18.58	178.24	0.99000	93.23	1.81	1.81	93.23	93.23	0.8000	0.2000
0.25	2371.43	17.30	150.00	0.99692	104.73	6.61	4.07	105.25	102.66	0.7111	0.2889
0.50	2292.65	16.85	138.89	0.99742	109.24	7.88	4.85	109.75	107.23	0.7111	0.2889
0.75	2207.82	16.60	132.47	0.99761	111.85	8.50	5.26	112.30	110.04	0.7123	0.2877
1.00	2133.44	16.44	128.32	0.99770	113.53	8.84	5.50	113.93	111.94	0.7134	0.2866
1.25	2064.44	16.33	125.46	0.99776	114.69	9.04	5.65	115.04	113.28	0.7143	0.2857
1.50	1998.50	16.26	123.44	0.99779	115.51	9.15	5.74	115.82	114.27	0.7150	0.2850
1.75	1934.30	16.21	121.97	0.99780	116.10	9.21	5.80	116.38	115.00	0.7155	0.2845
2.00	1871.14	16.18	120.90	0.99781	116.54	9.25	5.83	116.79	115.55	0.7160	0.2840
2.25	1808.58	16.15	120.10	0.99782	116.86	9.27	5.85	117.08	115.97	0.7163	0.2837
2.50	1746.29	16.14	119.51	0.99782	117.10	9.28	5.86	117.30	116.30	0.7165	0.2835
2.75	1684.18	16.13	119.08	0.99782	117.28	9.29	5.87	117.46	116.55	0.7167	0.2833
3.00	1622.07	16.13	118.75	0.99783	117.41	9.29	5.88	117.57	116.75	0.7168	0.2832
3.25	1559.96	16.13	118.51	0.99783	117.51	9.29	5.88	117.66	116.91	0.7169	0.2831
3.50	1497.85	16.13	118.33	0.99783	117.58	9.29	5.88	117.72	117.04	0.7169	0.2831
3.75	1435.74	16.14	118.19	0.99783	117.64	9.29	5.89	117.76	117.14	0.7170	0.2830
4.00	1373.63	16.15	118.09	0.99783	117.68	9.29	5.89	117.79	117.22	0.7170	0.2830
4.02	1368.66	16.15	118.08	0.99783	117.68	9.29	5.89	117.79	117.23	0.7170	0.2830

ANEXO 16

RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DOS TESTES EXPERIMENTAIS COM
MISTURAS BINÁRIAS UTILIZANDO O MODELO III

TABELA A16.1. PERFIS DAS VARIÁVEIS FLUIDODINÂMICAS E TÉRMICAS
OBTIDOS POR MODELO DE SIMULAÇÃO, PARA MISTURAS BINA-
RIAS, CONSIDERANDO O EFEITO DE MISTURA E OS CHOQUES
ENTRE AS PARTÍCULAS.

NÚMERO DO TESTE= 19

X	p	VF	TF	EPSILON	TS	VS(1)	VS(2)	TS(1)	TS(2)	Y(1)	Y(2)
M	PASCAL	M/S	C	M3/M3	C	M/S	M/S	C	C	M3/M3	M3/M3
0.00	1175.91	14.16	167.51	0.99880	62.57	0.57	0.57	62.57	62.57	0.2000	0.8000
0.25	1175.91	13.14	139.59	0.99900	90.37	7.22	5.42	97.90	88.54	0.1545	0.8455
0.50	1149.28	12.86	130.61	0.99915	99.29	8.16	6.45	107.81	97.22	0.1615	0.8385
0.75	1119.64	12.71	125.69	0.99921	104.18	8.55	6.92	112.50	102.15	0.1647	0.8353
1.00	1092.30	12.61	122.56	0.99923	107.26	8.72	7.15	114.99	105.37	0.1665	0.8335
1.25	1066.73	12.55	120.48	0.99924	109.34	8.81	7.27	116.33	107.64	0.1675	0.8325
1.50	1041.34	12.50	119.01	0.99925	110.80	8.85	7.33	117.01	109.29	0.1681	0.8319
1.75	1015.95	12.47	117.95	0.99925	111.85	8.86	7.36	117.29	110.52	0.1684	0.8316
2.00	991.81	12.45	117.18	0.99925	112.62	8.87	7.37	117.34	111.46	0.1685	0.8315
2.25	968.38	12.44	116.61	0.99925	113.18	8.86	7.38	117.25	112.19	0.1686	0.8314
2.50	944.94	12.43	116.19	0.99925	113.59	8.86	7.38	117.07	112.75	0.1687	0.8313
2.75	921.50	12.42	115.87	0.99925	113.90	8.86	7.37	116.86	113.18	0.1687	0.8313
3.00	898.06	12.41	115.64	0.99925	114.13	8.85	7.37	116.64	113.52	0.1687	0.8313
3.25	874.63	12.41	115.46	0.99925	114.31	8.85	7.37	116.42	113.79	0.1687	0.8313
3.50	850.57	12.41	115.33	0.99925	114.44	8.85	7.36	116.22	114.01	0.1687	0.8313
3.75	825.18	12.41	115.23	0.99925	114.54	8.84	7.36	116.03	114.18	0.1687	0.8313
4.00	799.79	12.41	115.15	0.99925	114.61	8.84	7.36	115.86	114.31	0.1687	0.8313
4.02	797.66	12.41	115.14	0.99925	114.62	8.84	7.36	115.85	114.32	0.1687	0.8313

NÚMERO DO TESTE= 20

X	p	VF	TF	EPSILON	TS	VS(1)	VS(2)	TS(1)	TS(2)	Y(1)	Y(2)
M	PASCAL	M/S	C	M3/M3	C	M/S	M/S	C	C	M3/M3	M3/M3
0.00	1420.90	14.16	169.16	0.99880	76.67	1.25	1.25	76.67	76.67	0.2000	0.8000
0.25	1420.90	12.98	135.70	0.99785	91.84	6.93	5.58	98.04	90.29	0.1675	0.8325
0.50	1371.03	12.64	124.70	0.99816	96.82	7.83	6.56	104.24	94.97	0.1733	0.8267
0.75	1317.59	12.45	118.70	0.99827	99.53	8.19	6.99	107.13	97.63	0.1759	0.8241
1.00	1270.36	12.34	114.93	0.99831	101.23	8.35	7.20	108.61	99.39	0.1772	0.8228
1.25	1226.31	12.26	112.38	0.99833	102.38	8.42	7.29	109.35	100.64	0.1779	0.8221
1.50	1183.34	12.21	110.60	0.99834	103.18	8.45	7.34	109.65	101.57	0.1783	0.8217
1.75	1140.38	12.17	109.33	0.99835	103.76	8.46	7.35	109.69	102.28	0.1785	0.8215
2.00	1097.41	12.15	108.40	0.99835	104.18	8.45	7.35	109.57	102.83	0.1786	0.8214
2.25	1054.44	12.13	107.72	0.99834	104.48	8.45	7.35	109.35	103.27	0.1786	0.8214
2.50	1011.47	12.12	107.21	0.99834	104.71	8.44	7.34	109.07	103.62	0.1787	0.8213
2.75	968.50	12.12	106.83	0.99834	104.88	8.43	7.34	108.78	103.91	0.1787	0.8213
3.00	925.53	12.11	106.55	0.99834	105.01	8.43	7.33	108.47	104.14	0.1786	0.8214
3.25	882.56	12.11	106.34	0.99834	105.10	8.42	7.33	108.18	104.33	0.1786	0.8214
3.50	839.59	12.11	106.17	0.99834	105.18	8.42	7.33	107.90	104.50	0.1786	0.8214
3.75	796.63	12.11	106.04	0.99834	105.23	8.42	7.32	107.64	104.63	0.1786	0.8214
4.00	753.66	12.12	105.94	0.99834	105.28	8.42	7.32	107.40	104.75	0.1786	0.8214
4.02	750.05	12.12	105.94	0.99834	105.28	8.42	7.32	107.38	104.75	0.1786	0.8214

NUMERO DO TESTE= 21

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1705.08	14.14	170.89	0.99000	90.77	2.06	2.06	90.77	90.77	0.2000	0.8000
0.25	1705.08	12.98	137.19	0.99654	100.01	6.88	5.76	104.70	98.84	0.1732	0.8268
0.50	1627.46	12.63	125.99	0.99701	103.07	7.74	6.70	108.80	101.64	0.1780	0.8220
0.75	1545.43	12.45	120.05	0.99717	104.70	8.09	7.11	110.67	103.21	0.1801	0.8199
1.00	1473.41	12.35	116.41	0.99724	105.69	8.26	7.31	111.58	104.22	0.1812	0.8188
1.25	1406.28	12.28	114.02	0.99728	106.34	8.33	7.40	112.00	104.93	0.1817	0.8183
1.50	1341.16	12.24	112.40	0.99729	106.79	8.36	7.44	112.14	105.45	0.1820	0.8180
1.75	1277.38	12.21	111.26	0.99730	107.10	8.37	7.46	112.10	105.85	0.1822	0.8178
2.00	1214.88	12.19	110.45	0.99730	107.32	8.37	7.46	111.95	106.16	0.1822	0.8178
2.25	1152.38	12.18	109.87	0.99730	107.47	8.37	7.46	111.74	106.40	0.1823	0.8177
2.50	1089.88	12.18	109.46	0.99730	107.59	8.37	7.46	111.50	106.61	0.1823	0.8177
2.75	1027.38	12.17	109.15	0.99730	107.67	8.36	7.46	111.25	106.77	0.1823	0.8177
3.00	964.88	12.16	108.92	0.99729	107.73	8.36	7.46	111.00	106.91	0.1823	0.8177
3.25	902.38	12.15	108.75	0.99729	107.78	8.36	7.45	110.75	107.03	0.1822	0.8178
3.50	839.88	12.15	108.62	0.99729	107.81	8.36	7.45	110.51	107.14	0.1822	0.8178
3.75	777.38	12.14	108.52	0.99729	107.84	8.36	7.46	110.29	107.22	0.1822	0.8178
4.00	714.88	12.14	108.44	0.99730	107.86	8.37	7.46	110.08	107.30	0.1822	0.8178
4.20	664.63	12.20	108.39	0.99730	107.87	8.37	7.46	109.93	107.36	0.1822	0.8178

NUMERO DO TESTE= 22

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1009.33	13.95	161.20	0.99000	67.65	0.69	0.69	67.65	67.65	0.5000	0.5000
0.25	1009.33	12.90	132.03	0.99896	91.64	7.67	5.79	95.33	87.98	0.4285	0.5715
0.50	978.24	12.64	123.78	0.99910	98.41	8.63	6.88	102.54	94.31	0.4417	0.5583
0.75	944.63	12.50	119.41	0.99915	102.00	9.00	7.35	106.09	97.93	0.4478	0.5522
1.00	914.13	12.42	116.68	0.99917	104.24	9.16	7.58	108.13	100.37	0.4509	0.5491
1.25	885.33	12.36	114.83	0.99918	105.75	9.23	7.69	109.38	102.14	0.4527	0.5473
1.50	857.98	12.33	113.54	0.99918	106.81	9.25	7.74	110.14	103.49	0.4536	0.5464
1.75	830.64	12.30	112.60	0.99919	107.57	9.26	7.76	110.61	104.56	0.4541	0.5459
2.00	803.30	12.28	111.92	0.99919	108.13	9.25	7.76	110.86	105.41	0.4543	0.5457
2.25	775.95	12.27	111.43	0.99918	108.53	9.25	7.76	110.99	106.10	0.4544	0.5456
2.50	748.61	12.26	111.05	0.99918	108.84	9.24	7.75	111.03	106.66	0.4545	0.5455
2.75	721.27	12.26	110.78	0.99918	109.06	9.24	7.75	111.01	107.13	0.4545	0.5455
3.00	693.92	12.25	110.57	0.99918	109.23	9.23	7.75	110.95	107.52	0.4545	0.5455
3.25	666.58	12.25	110.41	0.99918	109.36	9.23	7.74	110.88	107.85	0.4545	0.5455
3.50	639.23	12.25	110.29	0.99918	109.45	9.23	7.74	110.79	108.12	0.4544	0.5456
3.75	611.89	12.25	110.20	0.99918	109.53	9.22	7.74	110.70	108.36	0.4544	0.5456
4.00	584.55	12.25	110.13	0.99918	109.58	9.22	7.74	110.62	108.56	0.4544	0.5456
4.02	582.25	12.25	110.13	0.99918	109.59	9.22	7.74	110.61	108.57	0.4544	0.5456

NUMERO DO TESTE= 23

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1234.71	14.01	163.97	0.99000	72.99	1.19	1.19	72.99	72.99	0.5000	0.5000
0.25	1234.71	12.78	128.88	0.99823	89.71	7.55	6.00	93.07	86.35	0.4426	0.5574
0.50	1186.67	12.46	118.93	0.99846	94.44	8.48	7.05	98.35	90.52	0.4539	0.5461
0.75	1136.06	12.30	113.70	0.99853	96.92	8.82	7.48	100.93	92.91	0.4590	0.5410
1.00	1091.38	12.20	110.45	0.99856	98.47	8.96	7.68	102.40	94.53	0.4615	0.5385
1.25	1048.85	12.14	108.27	0.99858	99.50	9.01	7.76	103.28	95.72	0.4628	0.5372
1.50	1007.84	12.10	106.74	0.99858	100.22	9.02	7.80	103.80	96.65	0.4634	0.5366
1.75	966.82	12.07	105.65	0.99858	100.74	9.02	7.80	104.09	97.39	0.4638	0.5362
2.00	925.80	12.05	104.96	0.99858	101.12	9.01	7.80	104.23	98.00	0.4639	0.5361
2.25	884.79	12.03	104.28	0.99858	101.39	9.00	7.79	104.27	98.51	0.4639	0.5361
2.50	843.77	12.03	103.85	0.99858	101.59	8.99	7.79	104.24	98.94	0.4639	0.5361
2.75	802.76	12.02	103.53	0.99858	101.74	8.99	7.78	104.17	99.31	0.4639	0.5361
3.00	761.74	12.02	103.29	0.99858	101.85	8.98	7.77	104.07	99.63	0.4639	0.5361
3.25	720.73	12.02	103.11	0.99858	101.94	8.98	7.77	103.97	99.91	0.4639	0.5361
3.50	679.71	12.02	102.98	0.99858	102.00	8.98	7.77	103.85	100.15	0.4638	0.5362
3.75	638.70	12.02	102.87	0.99858	102.05	8.98	7.77	103.74	100.37	0.4638	0.5362
4.00	597.68	12.02	102.79	0.99858	102.09	8.98	7.77	103.62	100.56	0.4638	0.5362
4.02	594.23	12.02	102.78	0.99858	102.09	8.98	7.77	103.61	100.58	0.4638	0.5362

NUMERO DO TESTE= 24

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1352.30	13.78	166.04	0.99000	74.83	1.78	1.78	74.83	74.83	0.5000	0.5000
0.25	1352.30	12.42	125.75	0.99732	87.38	7.36	6.06	90.39	84.38	0.4509	0.5491
0.50	1286.34	12.07	114.37	0.99765	90.91	8.21	7.03	94.48	87.35	0.4607	0.5393
0.75	1217.20	11.90	108.51	0.99775	92.73	8.51	7.41	96.44	89.02	0.4649	0.5351
1.00	1156.44	11.79	104.93	0.99779	93.84	8.63	7.57	97.53	90.15	0.4669	0.5331
1.25	1099.22	11.73	102.57	0.99781	94.57	8.67	7.64	98.17	90.98	0.4678	0.5322
1.50	1043.48	11.68	100.95	0.99781	95.07	8.67	7.65	98.53	91.62	0.4683	0.5317
1.75	988.32	11.65	99.82	0.99781	95.42	8.66	7.65	98.71	92.14	0.4685	0.5315
2.00	933.24	11.63	99.01	0.99781	95.67	8.65	7.64	98.78	92.57	0.4686	0.5314
2.25	878.16	11.62	98.43	0.99780	95.85	8.64	7.63	98.77	92.94	0.4686	0.5314
2.50	823.09	11.62	98.02	0.99780	95.98	8.63	7.63	98.71	93.25	0.4685	0.5315
2.75	767.64	11.61	97.71	0.99780	96.07	8.62	7.62	98.63	93.52	0.4685	0.5315
3.00	712.17	11.61	97.49	0.99780	96.14	8.62	7.62	98.52	93.77	0.4685	0.5315
3.25	656.70	11.62	97.32	0.99780	96.19	8.62	7.61	98.41	93.98	0.4685	0.5315
3.50	601.23	11.62	97.19	0.99780	96.23	8.62	7.61	98.29	94.18	0.4684	0.5316
3.75	545.77	11.62	97.10	0.99780	96.26	8.62	7.61	98.17	94.36	0.4684	0.5316
4.00	490.13	11.63	97.02	0.99780	96.29	8.62	7.61	98.06	94.52	0.4684	0.5316
4.02	485.66	11.63	97.01	0.99780	96.29	8.62	7.61	98.05	94.53	0.4684	0.5316

NUMERO DO TESTE= 25

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1048.52	14.25	173.22	0.99000	79.70	0.65	0.65	79.70	79.70	0.8000	0.2000
0.25	1048.52	13.15	142.66	0.99916	106.41	8.27	5.86	107.53	102.00	0.7370	0.2630
0.50	1018.53	12.91	135.17	0.99926	112.93	9.31	7.01	114.07	108.43	0.7488	0.2512
0.75	986.05	12.80	131.34	0.99930	116.28	9.68	7.52	117.36	112.01	0.7544	0.2456
1.00	957.03	12.73	128.96	0.99931	118.34	9.83	7.77	119.35	114.38	0.7576	0.2424
1.25	929.69	12.68	127.36	0.99931	119.74	9.88	7.89	120.66	116.09	0.7593	0.2407
1.50	902.34	12.65	126.24	0.99932	120.71	9.90	7.94	121.55	117.38	0.7603	0.2397
1.75	875.00	12.63	125.44	0.99932	121.41	9.90	7.96	122.17	118.38	0.7608	0.2392
2.00	847.66	12.61	124.86	0.99932	121.91	9.89	7.97	122.60	119.18	0.7611	0.2389
2.25	820.31	12.60	124.44	0.99932	122.27	9.89	7.97	122.89	119.83	0.7612	0.2388
2.50	792.97	12.59	124.13	0.99932	122.54	9.88	7.97	123.09	120.35	0.7612	0.2388
2.75	765.63	12.59	123.91	0.99932	122.73	9.87	7.96	123.23	120.79	0.7612	0.2388
3.00	738.28	12.59	123.75	0.99932	122.88	9.87	7.96	123.31	121.14	0.7612	0.2388
3.25	710.94	12.59	123.63	0.99932	122.98	9.87	7.96	123.37	121.44	0.7612	0.2388
3.50	683.59	12.59	123.54	0.99932	123.05	9.87	7.95	123.40	121.70	0.7612	0.2388
3.75	656.25	12.59	123.47	0.99932	123.11	9.87	7.95	123.41	121.91	0.7612	0.2388
4.00	628.91	12.59	123.43	0.99932	123.15	9.87	7.95	123.42	122.09	0.7612	0.2388
4.02	626.61	12.59	123.42	0.99932	123.15	9.87	7.95	123.42	122.11	0.7612	0.2388

NUMERO DO TESTE= 26

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1254.31	14.02	174.35	0.99000	81.81	1.21	1.21	81.81	81.81	0.8000	0.2000
0.25	1254.31	12.69	135.46	0.99840	99.64	8.04	6.05	100.69	95.44	0.7506	0.2494
0.50	1206.09	12.40	125.90	0.99858	104.01	8.97	7.13	105.17	99.38	0.7608	0.2392
0.75	1155.83	12.26	121.02	0.99864	106.24	9.28	7.57	107.41	101.59	0.7654	0.2346
1.00	1111.44	12.17	118.00	0.99866	107.62	9.40	7.77	108.76	103.08	0.7678	0.2322
1.25	1068.82	12.11	115.97	0.99867	108.55	9.43	7.85	109.64	104.19	0.7690	0.2310
1.50	1027.80	12.07	114.56	0.99867	109.19	9.43	7.87	110.23	105.05	0.7696	0.2304
1.75	986.79	12.05	113.55	0.99867	109.65	9.42	7.88	110.63	105.74	0.7699	0.2301
2.00	945.77	12.03	112.83	0.99867	109.98	9.40	7.87	110.89	106.31	0.7700	0.2300
2.25	904.76	12.02	112.31	0.99866	110.21	9.39	7.86	111.07	106.79	0.7700	0.2300
2.50	863.74	12.01	111.94	0.99866	110.38	9.38	7.85	111.18	107.20	0.7700	0.2300
2.75	822.73	12.01	111.67	0.99866	110.51	9.37	7.85	111.24	107.55	0.7700	0.2300
3.00	781.71	12.01	111.47	0.99866	110.59	9.37	7.84	111.28	107.86	0.7700	0.2300
3.25	740.70	12.01	111.33	0.99866	110.66	9.37	7.84	111.29	108.14	0.7699	0.2301
3.50	699.68	12.01	111.23	0.99866	110.71	9.37	7.84	111.29	108.38	0.7699	0.2301
3.75	658.66	12.01	111.15	0.99866	110.74	9.37	7.84	111.27	108.60	0.7699	0.2301
4.00	617.65	12.02	111.09	0.99866	110.77	9.37	7.84	111.26	108.79	0.7699	0.2301
4.02	614.20	12.02	111.09	0.99866	110.77	9.37	7.84	111.26	108.81	0.7699	0.2301

NUMERO DO TESTE= 27

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1969.66	18.40	175.47	0.99000	88.85	1.31	1.31	88.85	88.85	0.5000	0.5000
0.25	1969.66	16.94	143.38	0.99847	106.81	9.71	7.65	110.33	103.30	0.4405	0.5595
0.50	1904.03	16.58	134.46	0.99870	111.79	11.07	9.15	115.83	107.76	0.4525	0.5475
0.75	1835.84	16.40	129.86	0.99878	114.36	11.64	9.84	118.44	110.28	0.4582	0.5418
1.00	1776.63	16.30	127.05	0.99881	115.92	11.92	10.21	119.88	111.96	0.4612	0.5388
1.25	1721.66	16.23	125.19	0.99883	116.96	12.06	10.40	120.73	113.19	0.4630	0.5370
1.50	1669.17	16.19	123.88	0.99884	117.69	12.13	10.51	121.23	114.14	0.4640	0.5360
1.75	1618.39	16.16	122.95	0.99885	118.21	12.17	10.56	121.51	114.91	0.4646	0.5354
2.00	1567.61	16.14	122.26	0.99885	118.59	12.18	10.59	121.65	115.53	0.4650	0.5350
2.25	1516.83	16.13	121.75	0.99885	118.87	12.19	10.61	121.69	116.06	0.4652	0.5348
2.50	1466.05	16.12	121.37	0.99885	119.07	12.19	10.61	121.67	116.50	0.4653	0.5347
2.75	1415.27	16.12	121.08	0.99885	119.25	12.19	10.61	121.61	116.88	0.4653	0.5347
3.00	1364.48	16.12	120.86	0.99885	119.37	12.19	10.61	121.53	117.21	0.4653	0.5347
3.25	1313.70	16.12	120.69	0.99885	119.46	12.19	10.61	121.43	117.49	0.4653	0.5347
3.50	1262.92	16.12	120.55	0.99885	119.53	12.19	10.61	121.32	117.75	0.4653	0.5347
3.75	1212.14	16.13	120.45	0.99885	119.59	12.19	10.62	121.22	117.97	0.4653	0.5347
4.00	1161.36	16.13	120.36	0.99885	119.64	12.20	10.62	121.11	118.16	0.4653	0.5347
4.02	1157.09	16.13	120.36	0.99885	119.64	12.20	10.62	121.10	118.18	0.4653	0.5347

NUMERO DO TESTE= 28

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	2146.05	18.42	175.13	0.99000	93.59	1.98	1.98	93.59	93.59	0.5000	0.5000
0.25	2146.05	16.86	140.30	0.99772	106.54	9.64	7.87	109.56	103.53	0.4480	0.5520
0.50	2053.10	16.47	130.66	0.99804	110.11	10.96	9.33	113.65	106.59	0.4585	0.5415
0.75	1957.66	16.29	125.78	0.99816	111.91	11.51	9.99	115.56	108.29	0.4632	0.5368
1.00	1875.91	16.18	122.85	0.99821	113.00	11.78	10.33	116.59	109.43	0.4658	0.5342
1.25	1800.67	16.12	120.93	0.99823	113.71	11.92	10.51	117.18	110.26	0.4672	0.5328
1.50	1728.77	16.07	119.61	0.99825	114.20	11.99	10.61	117.51	110.90	0.4680	0.5320
1.75	1658.64	16.05	118.67	0.99825	114.54	12.03	10.66	117.68	111.42	0.4685	0.5315
2.00	1589.38	16.03	118.00	0.99826	114.79	12.04	10.69	117.75	111.85	0.4687	0.5313
2.25	1520.63	16.02	117.50	0.99826	114.98	12.05	10.70	117.75	112.22	0.4689	0.5311
2.50	1451.88	16.02	117.14	0.99826	115.11	12.05	10.70	117.70	112.53	0.4689	0.5311
2.75	1383.14	16.02	116.86	0.99826	115.21	12.05	10.71	117.63	112.81	0.4690	0.5310
3.00	1314.41	16.02	116.66	0.99826	115.29	12.06	10.71	117.54	113.05	0.4690	0.5310
3.25	1245.66	16.03	116.50	0.99826	115.35	12.06	10.71	117.43	113.27	0.4690	0.5310
3.50	1176.91	16.04	116.37	0.99826	115.39	12.06	10.71	117.33	113.47	0.4690	0.5310
3.75	1108.16	16.04	116.28	0.99826	115.43	12.07	10.72	117.22	113.65	0.4690	0.5310
4.00	1039.41	16.05	116.20	0.99826	115.46	12.07	10.72	117.12	113.81	0.4690	0.5310
4.02	1033.91	16.05	116.19	0.99826	115.46	12.07	10.72	117.11	113.82	0.4690	0.5310

NUMERO DO TESTE= 29

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1734.48	18.71	178.59	0.99000	88.67	1.00	1.00	88.67	88.67	0.8000	0.2000
0.25	1734.48	17.21	146.19	0.99897	112.51	10.50	7.63	113.71	107.74	0.7436	0.2564
0.50	1680.73	16.90	138.44	0.99911	118.20	11.94	9.22	119.46	113.17	0.7549	0.2451
0.75	1624.73	16.75	134.59	0.99916	121.02	12.52	9.96	122.24	116.16	0.7604	0.2396
1.00	1575.89	16.66	132.26	0.99918	122.72	12.79	10.35	123.87	118.13	0.7636	0.2364
1.25	1529.98	16.61	130.73	0.99919	123.85	12.91	10.57	124.92	119.56	0.7655	0.2345
1.50	1486.13	16.57	129.66	0.99920	124.63	12.97	10.68	125.62	120.66	0.7667	0.2333
1.75	1443.16	16.55	128.90	0.99920	125.19	13.00	10.75	126.10	121.53	0.7674	0.2326
2.00	1400.19	16.53	128.35	0.99920	125.59	13.01	10.78	126.43	122.23	0.7677	0.2323
2.25	1357.22	16.52	127.94	0.99920	125.88	13.01	10.79	126.65	122.82	0.7680	0.2320
2.50	1314.25	16.52	127.65	0.99920	126.10	13.01	10.80	126.80	123.31	0.7681	0.2319
2.75	1271.28	16.52	127.43	0.99920	126.26	13.01	10.80	126.89	123.73	0.7682	0.2318
3.00	1228.31	16.52	127.27	0.99920	126.38	13.01	10.80	126.95	124.08	0.7682	0.2318
3.25	1185.34	16.52	127.15	0.99920	126.46	13.01	10.80	126.98	124.39	0.7682	0.2318
3.50	1142.38	16.52	127.06	0.99920	126.53	13.01	10.80	127.00	124.66	0.7682	0.2318
3.75	1099.41	16.53	126.99	0.99920	126.58	13.01	10.81	127.00	124.89	0.7682	0.2318
4.00	1056.44	16.53	126.94	0.99920	126.61	13.01	10.81	127.00	125.09	0.7682	0.2318
4.02	1052.83	16.53	126.93	0.99920	126.62	13.01	10.81	127.00	125.11	0.7682	0.2318

NUMERO DO TESTE= 30

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	2518.42	24.06	175.30	0.99000	85.19	0.93	0.93	85.19	85.19	0.8000	0.2000
0.25	2518.42	22.32	146.83	0.99925	115.18	13.19	9.38	116.54	109.82	0.7367	0.2633
0.50	2453.91	21.99	140.33	0.99936	122.01	15.20	11.50	123.37	116.63	0.7486	0.2514
0.75	2385.97	21.84	137.23	0.99940	125.27	16.08	12.57	126.53	120.28	0.7547	0.2453
1.00	2326.42	21.76	135.42	0.99942	127.16	16.53	13.19	128.32	122.63	0.7584	0.2416
1.25	2271.16	21.71	134.26	0.99943	128.38	16.77	13.56	129.42	124.28	0.7608	0.2392
1.50	2217.04	21.68	133.47	0.99944	129.21	16.91	13.78	130.15	125.52	0.7624	0.2376
1.75	2166.20	21.66	132.91	0.99944	129.79	16.99	13.93	130.63	126.48	0.7634	0.2366
2.00	2115.42	21.65	132.52	0.99944	130.21	17.04	14.02	130.96	127.25	0.7641	0.2359
2.25	2064.64	21.65	132.23	0.99944	130.51	17.07	14.07	131.18	127.87	0.7645	0.2355
2.50	2013.86	21.65	132.02	0.99944	130.73	17.08	14.11	131.32	128.38	0.7648	0.2352
2.75	1963.08	21.65	131.86	0.99944	130.89	17.09	14.13	131.42	128.81	0.7649	0.2351
3.00	1912.30	21.65	131.75	0.99944	131.01	17.10	14.15	131.48	129.17	0.7651	0.2349
3.25	1861.52	21.66	131.66	0.99944	131.10	17.11	14.16	131.51	129.47	0.7651	0.2349
3.50	1810.73	21.67	131.60	0.99944	131.16	17.12	14.17	131.53	129.73	0.7652	0.2348
3.75	1759.95	21.68	131.55	0.99944	131.21	17.13	14.18	131.54	129.95	0.7652	0.2348
4.00	1709.17	21.69	131.51	0.99944	131.25	17.13	14.18	131.54	130.14	0.7652	0.2348
4.02	1704.91	21.69	131.51	0.99944	131.25	17.13	14.19	131.53	130.15	0.7652	0.2348

NUMERO DO TESTE= 31

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	2890.80	24.10	178.94	0.99000	87.94	1.68	1.68	87.94	87.94	0.8000	0.2000
0.25	2890.80	21.97	142.58	0.99867	109.64	13.03	9.77	111.00	104.48	0.7401	0.2599
0.50	2791.99	21.54	134.02	0.99886	114.71	14.92	11.85	116.18	109.13	0.7509	0.2491
0.75	2691.37	21.34	129.90	0.99893	117.15	15.74	12.86	118.60	111.66	0.7563	0.2437
1.00	2605.58	21.23	127.47	0.99896	118.59	16.14	13.41	119.97	113.33	0.7594	0.2406
1.25	2526.88	21.17	125.90	0.99897	119.51	16.35	13.73	120.82	114.55	0.7613	0.2387
1.50	2451.80	21.13	124.83	0.99898	120.15	16.47	13.92	121.37	115.49	0.7625	0.2375
1.75	2378.70	21.10	124.07	0.99899	120.59	16.53	14.03	121.74	116.25	0.7633	0.2367
2.00	2306.67	21.09	123.53	0.99899	120.92	16.56	14.10	121.98	116.80	0.7637	0.2363
2.25	2235.16	21.08	123.13	0.99899	121.15	16.58	14.13	122.14	117.41	0.7640	0.2360
2.50	2164.06	21.08	122.84	0.99899	121.32	16.60	14.16	122.23	117.87	0.7642	0.2358
2.75	2092.97	21.09	122.62	0.99899	121.45	16.60	14.17	122.29	118.26	0.7643	0.2357
3.00	2021.88	21.10	122.46	0.99899	121.55	16.61	14.18	122.32	118.61	0.7643	0.2357
3.25	1950.78	21.10	122.34	0.99899	121.62	16.62	14.19	122.33	118.92	0.7644	0.2356
3.50	1879.69	21.12	122.25	0.99899	121.67	16.63	14.20	122.32	119.20	0.7644	0.2356
3.75	1808.59	21.13	122.18	0.99899	121.71	16.63	14.20	122.31	119.44	0.7644	0.2356
4.00	1737.50	21.14	122.13	0.99899	121.74	16.64	14.21	122.29	119.66	0.7644	0.2356
4.02	1731.81	21.14	122.12	0.99899	121.75	16.64	14.21	122.29	119.68	0.7644	0.2356

NUMERO DO TESTE= 32

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1430.70	14.17	174.52	0.99000	78.87	1.67	1.67	78.87	78.87	0.8000	0.2000
0.25	1430.70	12.66	130.03	0.99781	93.87	8.05	6.25	94.90	89.76	0.7556	0.2444
0.50	1368.28	12.33	119.21	0.99805	97.50	8.94	7.30	98.66	92.87	0.7649	0.2351
0.75	1303.55	12.17	113.77	0.99813	99.32	9.23	7.71	100.51	94.60	0.7690	0.2310
1.00	1246.56	12.07	110.45	0.99815	100.43	9.32	7.88	101.61	95.77	0.7710	0.2290
1.25	1192.61	12.01	108.25	0.99816	101.17	9.34	7.94	102.31	96.63	0.7720	0.2280
1.50	1139.73	11.97	106.74	0.99816	101.68	9.34	7.96	102.77	97.31	0.7725	0.2275
1.75	1087.39	11.94	105.68	0.99815	102.03	9.32	7.95	103.08	97.86	0.7727	0.2273
2.00	1035.05	11.92	104.93	0.99815	102.28	9.31	7.94	103.28	98.32	0.7727	0.2273
2.25	982.34	11.91	104.40	0.99815	102.46	9.29	7.93	103.40	98.72	0.7727	0.2273
2.50	929.55	11.91	104.02	0.99815	102.59	9.28	7.92	103.47	99.06	0.7727	0.2273
2.75	876.42	11.91	103.75	0.99814	102.68	9.28	7.91	103.51	99.36	0.7727	0.2273
3.00	823.30	11.91	103.56	0.99814	102.74	9.27	7.91	103.52	99.63	0.7726	0.2274
3.25	770.17	11.91	103.43	0.99814	102.79	9.27	7.91	103.52	99.87	0.7726	0.2274
3.50	717.05	11.91	103.33	0.99814	102.82	9.27	7.91	103.51	100.09	0.7726	0.2274
3.75	663.69	11.92	103.25	0.99814	102.85	9.27	7.91	103.49	100.29	0.7726	0.2274
4.00	610.17	11.92	103.20	0.99814	102.86	9.26	7.91	103.46	100.47	0.7726	0.2274
4.02	605.89	11.92	103.20	0.99814	102.86	9.26	7.91	103.46	100.49	0.7726	0.2274

NUMERO DO TESTE= 33

X	P	VF	TF	EPSILON	TS	VS(1)	VS(2)	TS(1)	TS(2)	Y(1)	Y(2)
M	PASCAL	M/S	C	M3/M3	C	M/S	M/S	C	C	M3/M3	M3/M3
0.00	1714.88	14.28	174.17	0.99000	85.47	1.70	1.70	85.47	85.47	0.2000	0.8000
0.25	1714.88	13.32	146.97	0.99619	94.55	6.35	4.16	103.34	92.36	0.1402	0.8598
0.50	1652.65	12.95	135.17	0.99678	98.47	7.11	4.97	110.11	95.57	0.1483	0.8517
0.75	1584.38	12.73	128.07	0.99700	100.83	7.43	5.36	113.57	97.66	0.1521	0.8479
1.00	1523.34	12.59	123.32	0.99710	102.41	7.59	5.56	115.41	99.17	0.1543	0.8457
1.25	1466.08	12.49	119.97	0.99715	103.52	7.66	5.66	116.32	100.34	0.1555	0.8445
1.50	1410.77	12.42	117.51	0.99718	104.34	7.69	5.71	116.66	101.27	0.1561	0.8439
1.75	1356.50	12.37	115.67	0.99719	104.95	7.69	5.72	116.64	102.04	0.1565	0.8435
2.00	1302.68	12.33	114.27	0.99719	105.42	7.69	5.74	116.39	102.68	0.1567	0.8433
2.25	1249.16	12.30	113.18	0.99719	105.78	7.68	5.74	116.00	103.23	0.1568	0.8432
2.50	1195.65	12.28	112.32	0.99718	106.06	7.67	5.73	115.53	103.70	0.1569	0.8431
2.75	1142.13	12.27	111.64	0.99718	106.29	7.66	5.72	115.02	104.11	0.1569	0.8431
3.00	1088.62	12.26	111.09	0.99718	106.47	7.65	5.72	114.49	104.47	0.1569	0.8431
3.25	1035.10	12.25	110.63	0.99717	106.62	7.64	5.71	113.97	104.79	0.1569	0.8431
3.50	981.52	12.24	110.26	0.99717	106.74	7.63	5.70	113.46	105.07	0.1568	0.8432
3.75	927.63	12.24	109.95	0.99717	106.85	7.63	5.70	112.98	105.32	0.1568	0.8432
4.00	873.72	12.24	109.68	0.99717	106.94	7.62	5.70	112.52	105.55	0.1568	0.8432
4.02	869.41	12.24	109.66	0.99717	106.94	7.62	5.69	112.48	105.56	0.1568	0.8432

NUMERO DO TESTE= 34

X	P	VF	TF	EPSILON	TS	VS(1)	VS(2)	TS(1)	TS(2)	Y(1)	Y(2)
M	PASCAL	M/S	C	M3/M3	C	M/S	M/S	C	C	M3/M3	M3/M3
0.00	930.93	14.19	165.52	0.99000	58.40	0.72	0.72	58.40	58.40	0.5000	0.5000
0.25	930.93	13.13	136.56	0.99069	81.38	7.53	4.32	88.56	74.23	0.3634	0.6366
0.50	899.70	12.82	126.74	0.99890	89.15	8.44	5.31	97.85	80.49	0.3848	0.6152
0.75	865.39	12.64	121.13	0.99897	93.59	8.79	5.77	102.70	84.52	0.3951	0.6049
1.00	834.14	12.53	117.45	0.99900	96.49	8.93	6.01	105.56	87.48	0.4008	0.5992
1.25	804.78	12.45	114.87	0.99902	98.53	8.99	6.18	107.32	89.80	0.4040	0.5960
1.50	775.48	12.39	112.98	0.99902	100.82	9.01	6.19	108.39	91.71	0.4058	0.5942
1.75	748.09	12.35	111.57	0.99902	101.14	9.01	6.22	109.01	93.31	0.4069	0.5931
2.00	720.75	12.32	110.49	0.99902	101.98	9.00	6.22	109.33	94.66	0.4074	0.5926
2.25	693.41	12.30	109.67	0.99902	102.64	8.99	6.22	109.45	95.87	0.4077	0.5923
2.50	666.06	12.28	109.02	0.99902	103.15	8.97	6.22	109.42	96.90	0.4078	0.5922
2.75	638.72	12.27	108.51	0.99902	103.55	8.96	6.21	109.31	97.82	0.4078	0.5922
3.00	611.38	12.26	108.10	0.99902	103.87	8.95	6.20	109.15	98.63	0.4078	0.5922
3.25	584.03	12.25	107.76	0.99902	104.13	8.95	6.20	108.95	99.34	0.4078	0.5922
3.50	556.69	12.25	107.49	0.99902	104.35	8.94	6.19	108.73	99.98	0.4077	0.5923
3.75	529.34	12.24	107.27	0.99902	104.52	8.93	6.19	108.51	100.56	0.4077	0.5923
4.00	502.00	12.24	107.08	0.99902	104.67	8.93	6.18	108.29	101.07	0.4077	0.5923
4.02	499.70	12.24	107.06	0.99902	104.68	8.93	6.18	108.28	101.11	0.4077	0.5923

NUNERO DO TESTE= 35

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1597.29	14.25	171.23	0.99000	75.57	1.94	1.94	75.57	75.57	0.5000	0.5000
0.25	1597.29	12.95	133.72	0.99676	86.57	7.38	5.04	91.53	81.61	0.4061	0.5939
0.50	1525.34	12.56	121.22	0.99721	90.22	6.20	6.01	96.46	83.98	0.4227	0.5773
0.75	1449.47	12.35	114.35	0.99735	92.22	6.51	6.43	98.97	85.46	0.4302	0.5698
1.00	1382.66	12.22	110.08	0.99741	93.47	6.63	6.62	100.41	86.53	0.4341	0.5659
1.25	1319.92	12.14	107.16	0.99744	94.33	6.68	6.71	101.27	87.38	0.4362	0.5638
1.50	1259.21	12.08	105.10	0.99745	94.93	6.68	6.75	101.77	88.08	0.4373	0.5627
1.75	1199.52	12.04	103.62	0.99745	95.36	6.68	6.76	102.03	88.69	0.4378	0.5622
2.00	1140.92	12.01	102.53	0.99745	95.68	6.66	6.75	102.13	89.22	0.4380	0.5620
2.25	1082.33	11.99	101.72	0.99744	95.91	6.65	6.74	102.13	89.69	0.4381	0.5619
2.50	1023.73	11.98	101.10	0.99744	96.09	6.64	6.74	102.05	90.13	0.4381	0.5619
2.75	965.14	11.97	100.63	0.99744	96.23	6.63	6.73	101.93	90.52	0.4381	0.5619
3.00	905.78	11.97	100.26	0.99743	96.33	6.62	6.72	101.77	90.89	0.4380	0.5620
3.25	845.23	11.97	99.97	0.99743	96.42	6.62	6.71	101.60	91.23	0.4380	0.5620
3.50	784.69	11.97	99.73	0.99743	96.49	6.61	6.71	101.42	91.55	0.4379	0.5621
3.75	724.14	11.97	99.53	0.99743	96.54	6.61	6.71	101.24	91.85	0.4379	0.5621
4.00	663.59	11.97	99.36	0.99743	96.59	6.61	6.71	101.05	92.14	0.4379	0.5621
4.02	658.51	11.97	99.35	0.99743	96.60	6.61	6.71	101.04	92.16	0.4379	0.5621

NUNERO DO TESTE= 36

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1087.72	14.18	168.55	0.99000	72.72	0.67	0.67	72.72	72.72	0.8000	0.2000
0.25	1087.72	13.11	138.80	0.99903	97.92	8.18	4.31	100.16	89.07	0.6761	0.3239
0.50	1057.44	12.86	130.80	0.99917	104.68	9.18	5.32	107.16	94.87	0.6969	0.3031
0.75	1024.66	12.73	126.53	0.99921	108.28	9.54	5.81	110.76	98.47	0.7070	0.2930
1.00	994.86	12.64	123.82	0.99923	110.57	9.68	6.05	112.97	101.07	0.7126	0.2874
1.25	967.23	12.59	121.96	0.99923	112.14	9.72	6.18	114.43	103.08	0.7159	0.2841
1.50	939.89	12.55	120.63	0.99924	113.26	9.74	6.24	115.41	104.72	0.7177	0.2823
1.75	912.55	12.52	119.67	0.99924	114.07	9.73	6.27	116.09	106.08	0.7187	0.2813
2.00	885.20	12.50	118.95	0.99924	114.67	9.72	6.26	116.55	107.25	0.7193	0.2807
2.25	857.86	12.49	118.43	0.99924	115.12	9.71	6.25	116.85	108.25	0.7196	0.2804
2.50	830.52	12.48	118.03	0.99924	115.45	9.70	6.28	117.05	109.12	0.7197	0.2803
2.75	803.17	12.47	117.74	0.99923	115.70	9.70	6.28	117.17	109.89	0.7197	0.2803
3.00	775.93	12.47	117.51	0.99923	115.89	9.69	6.28	117.23	110.57	0.7197	0.2803
3.25	748.48	12.47	117.34	0.99923	116.03	9.69	6.27	117.26	111.17	0.7197	0.2803
3.50	721.14	12.47	117.21	0.99923	116.14	9.68	6.27	117.26	111.70	0.7197	0.2803
3.75	693.80	12.47	117.11	0.99923	116.22	9.68	6.27	117.24	112.18	0.7196	0.2804
4.00	666.45	12.47	117.03	0.99923	116.29	9.68	6.27	117.22	112.61	0.7196	0.2804
4.02	664.16	12.47	117.02	0.99923	116.29	9.68	6.27	117.21	112.64	0.7196	0.2804

NUMERO DO TESTE= 37

X	P	VF	TF	EPSILON	TS	VS(1)	VS(2)	TS(1)	TS(2)	Y(1)	Y(2)
M	PASCAL	M/S	C	M3/M3	C	M/S	M/S	C	C	M3/M3	M3/M3
0.00	1215.11	14.22	169.94	0.99000	71.06	1.23	1.23	71.06	71.06	0.8000	0.2000
0.25	1215.11	12.87	131.16	0.99829	89.33	8.06	4.73	91.44	81.15	0.6955	0.3045
0.50	1167.80	12.54	120.77	0.99850	94.20	8.97	5.76	96.64	84.72	0.7139	0.2861
0.75	1117.95	12.37	115.28	0.99857	96.77	9.28	6.21	99.31	86.92	0.7225	0.2775
1.00	1073.73	12.27	111.81	0.99859	98.39	9.38	6.43	100.93	88.53	0.7271	0.2729
1.25	1031.81	12.20	109.45	0.99860	99.50	9.41	6.53	102.00	89.80	0.7296	0.2704
1.50	990.77	12.15	107.70	0.99860	100.28	9.40	6.57	102.71	90.85	0.7309	0.2691
1.75	950.14	12.11	106.57	0.99860	100.85	9.39	6.58	103.19	91.76	0.7316	0.2684
2.00	909.52	12.09	105.69	0.99860	101.26	9.37	6.58	103.50	92.55	0.7319	0.2681
2.25	868.89	12.08	105.04	0.99860	101.56	9.35	6.57	103.70	93.26	0.7320	0.2680
2.50	828.08	12.07	104.56	0.99860	101.79	9.34	6.56	103.82	93.89	0.7320	0.2680
2.75	787.06	12.06	104.20	0.99860	101.95	9.33	6.55	103.88	94.47	0.7319	0.2681
3.00	746.05	12.06	103.94	0.99859	102.08	9.32	6.54	103.90	95.00	0.7319	0.2681
3.25	704.83	12.06	103.73	0.99859	102.17	9.32	6.54	103.89	95.49	0.7318	0.2682
3.50	663.42	12.06	103.58	0.99859	102.24	9.32	6.54	103.86	95.94	0.7318	0.2682
3.75	622.02	12.06	103.46	0.99859	102.30	9.31	6.54	103.82	96.36	0.7318	0.2682
4.00	580.61	12.06	103.37	0.99859	102.34	9.32	6.53	103.78	96.76	0.7317	0.2683
4.02	577.30	12.06	103.36	0.99859	102.35	9.32	6.53	103.78	96.79	0.7317	0.2683

NUMERO DO TESTE= 38

X	P	VF	TF	EPSILON	TS	VS(1)	VS(2)	TS(1)	TS(2)	Y(1)	Y(2)
M	PASCAL	M/S	C	M3/M3	C	M/S	M/S	C	C	M3/M3	M3/M3
0.00	1352.30	14.24	171.40	0.99000	77.59	1.74	1.74	77.59	77.59	0.8000	0.2000
0.25	1352.30	12.80	129.55	0.99758	91.24	8.05	5.03	92.97	84.35	0.7135	0.2865
0.50	1287.48	12.46	118.59	0.99787	94.81	8.93	6.05	96.84	86.71	0.7299	0.2701
0.75	1219.94	12.28	112.91	0.99796	96.65	9.22	6.49	98.78	88.14	0.7375	0.2625
1.00	1160.49	12.18	109.40	0.99799	97.79	9.32	6.69	99.95	89.17	0.7414	0.2586
1.25	1104.25	12.11	107.05	0.99800	98.55	9.34	6.78	100.70	89.99	0.7434	0.2566
1.50	1049.30	12.07	105.41	0.99800	99.08	9.33	6.82	101.19	90.67	0.7444	0.2556
1.75	994.63	12.04	104.25	0.99800	99.46	9.32	6.82	101.51	91.26	0.7449	0.2551
2.00	939.95	12.02	103.42	0.99800	99.73	9.30	6.82	101.72	91.78	0.7451	0.2549
2.25	885.27	12.01	102.83	0.99799	99.92	9.29	6.81	101.84	92.25	0.7452	0.2548
2.50	830.58	12.00	102.39	0.99799	100.06	9.28	6.80	101.91	92.67	0.7452	0.2548
2.75	775.71	12.00	102.08	0.99799	100.16	9.27	6.79	101.94	93.07	0.7451	0.2549
3.00	720.63	12.00	101.85	0.99799	100.24	9.26	6.79	101.94	93.44	0.7451	0.2549
3.25	665.55	12.00	101.67	0.99799	100.29	9.26	6.79	101.92	93.79	0.7450	0.2550
3.50	610.13	12.00	101.54	0.99799	100.33	9.26	6.78	101.89	94.11	0.7450	0.2550
3.75	554.66	12.00	101.44	0.99799	100.37	9.26	6.78	101.86	94.42	0.7450	0.2550
4.00	499.19	12.01	101.36	0.99799	100.39	9.26	6.78	101.82	94.71	0.7449	0.2551
4.02	494.75	12.01	101.36	0.99799	100.39	9.26	6.78	101.81	94.73	0.7449	0.2551

NUMERO DO TESTE= 39

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1744.27	18.80	176.25	0.99000	76.85	0.85	0.85	76.85	76.85	0.5000	0.5000
0.25	1744.27	17.55	150.02	0.99881	99.79	9.77	5.63	107.09	92.54	0.3637	0.6363
0.50	1698.89	17.19	141.35	0.99901	107.36	11.13	7.04	116.10	98.68	0.3856	0.6144
0.75	1649.67	17.00	136.50	0.99909	111.58	11.71	7.76	120.64	102.59	0.3967	0.6033
1.00	1605.94	16.88	133.38	0.99912	114.30	12.00	8.18	123.25	105.43	0.4033	0.5967
1.25	1564.73	16.79	131.20	0.99914	116.20	12.16	8.42	124.81	107.65	0.4074	0.5926
1.50	1525.67	16.73	129.62	0.99916	117.57	12.24	8.57	125.75	109.46	0.4099	0.5901
1.75	1486.61	16.69	128.44	0.99916	118.60	12.28	8.66	126.29	110.98	0.4116	0.5884
2.00	1447.55	16.66	127.53	0.99917	119.39	12.30	8.71	126.56	112.28	0.4126	0.5874
2.25	1408.46	16.64	126.82	0.99917	120.01	12.31	8.74	126.65	113.41	0.4133	0.5867
2.50	1369.42	16.62	126.26	0.99917	120.49	12.31	8.75	126.63	114.40	0.4137	0.5863
2.75	1331.70	16.61	125.81	0.99917	120.88	12.31	8.76	126.53	115.28	0.4139	0.5861
3.00	1294.59	16.60	125.45	0.99917	121.20	12.31	8.77	126.38	116.05	0.4141	0.5859
3.25	1257.48	16.59	125.15	0.99917	121.46	12.30	8.77	126.21	116.75	0.4142	0.5858
3.50	1220.38	16.59	124.90	0.99917	121.67	12.30	8.77	126.01	117.37	0.4142	0.5858
3.75	1183.00	16.59	124.69	0.99917	121.85	12.30	8.76	125.81	117.92	0.4142	0.5858
4.00	1143.94	16.59	124.51	0.99917	122.01	12.30	8.76	125.61	118.42	0.4142	0.5858
4.02	1140.66	16.59	124.50	0.99917	122.02	12.30	8.76	125.60	118.46	0.4142	0.5858

NUMERO DO TESTE= 40

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1842.27	18.81	177.46	0.99000	89.67	1.31	1.31	89.67	89.67	0.8000	0.2000
0.25	1842.27	17.28	144.42	0.99856	108.43	10.44	6.03	110.49	100.20	0.6976	0.3024
0.50	1776.11	16.93	135.81	0.99877	113.30	11.85	7.50	115.66	103.88	0.7166	0.2834
0.75	1707.91	16.76	131.39	0.99884	115.80	12.41	8.23	118.22	106.13	0.7261	0.2739
1.00	1648.64	16.66	128.68	0.99887	117.33	12.67	8.63	119.73	107.75	0.7315	0.2685
1.25	1593.56	16.59	126.85	0.99889	118.37	12.79	8.86	120.70	109.03	0.7348	0.2652
1.50	1540.44	16.55	125.56	0.99889	119.09	12.84	8.99	121.35	110.08	0.7369	0.2631
1.75	1488.61	16.52	124.63	0.99890	119.62	12.86	9.07	121.78	110.98	0.7381	0.2619
2.00	1437.83	16.50	123.95	0.99890	120.01	12.87	9.11	122.07	111.76	0.7389	0.2611
2.25	1387.05	16.48	123.44	0.99890	120.29	12.87	9.13	122.25	112.46	0.7393	0.2607
2.50	1336.27	16.48	123.05	0.99890	120.51	12.87	9.14	122.36	113.09	0.7396	0.2604
2.75	1285.48	16.47	122.76	0.99890	120.67	12.87	9.14	122.43	113.66	0.7397	0.2603
3.00	1234.70	16.47	122.54	0.99890	120.80	12.87	9.15	122.45	114.19	0.7398	0.2602
3.25	1183.92	16.48	122.37	0.99890	120.89	12.86	9.15	122.45	114.67	0.7398	0.2602
3.50	1133.14	16.48	122.24	0.99890	120.97	12.87	9.15	122.43	115.11	0.7398	0.2602
3.75	1082.36	16.48	122.13	0.99890	121.03	12.87	9.15	122.40	115.52	0.7398	0.2602
4.00	1031.58	16.49	122.05	0.99890	121.07	12.87	9.15	122.36	115.90	0.7398	0.2602
4.02	1027.31	16.49	122.04	0.99890	121.08	12.87	9.15	122.36	115.94	0.7398	0.2602

NUMERO DO TESTE= 41

X	P	VF	TF	EPSILON	TS	VS(1)	VS(2)	TS(1)	TS(2)	Y(1)	Y(2)
M	PASCAL	M/S	C	M3/M3	C	M/S	M/S	C	C	M3/M3	M3/M3
0.00	2596.81	24.16	180.75	0.99000	77.40	0.99	0.99	77.40	77.40	0.8000	0.2000
0.25	2596.81	22.27	149.12	0.99912	108.23	13.08	7.02	111.15	96.68	0.6798	0.3202
0.50	2531.55	21.86	141.11	0.99926	116.01	15.02	8.89	119.21	103.36	0.7008	0.2992
0.75	2462.72	21.66	137.10	0.99931	119.91	15.86	9.90	123.07	107.42	0.7118	0.2882
1.00	2402.42	21.54	134.67	0.99933	122.26	16.27	10.50	125.28	110.31	0.7185	0.2815
1.25	2346.33	21.47	133.06	0.99934	123.82	16.49	10.87	126.67	112.53	0.7229	0.2771
1.50	2291.75	21.43	131.94	0.99935	124.91	16.61	11.11	127.58	114.33	0.7258	0.2742
1.75	2239.02	21.39	131.13	0.99936	125.69	16.68	11.27	128.18	115.83	0.7277	0.2723
2.00	2186.28	21.37	130.54	0.99936	126.27	16.72	11.37	128.58	117.11	0.7291	0.2709
2.25	2134.98	21.36	130.09	0.99936	126.70	16.74	11.43	128.84	118.22	0.7299	0.2701
2.50	2084.20	21.36	129.76	0.99936	127.02	16.75	11.47	129.00	119.20	0.7305	0.2695
2.75	2033.42	21.35	129.50	0.99936	127.27	16.75	11.50	129.09	120.07	0.7309	0.2691
3.00	1982.64	21.36	129.30	0.99936	127.46	16.76	11.52	129.14	120.84	0.7311	0.2689
3.25	1931.86	21.36	129.15	0.99936	127.61	16.76	11.53	129.15	121.53	0.7313	0.2687
3.50	1881.08	21.36	129.02	0.99936	127.73	16.77	11.54	129.14	122.15	0.7314	0.2686
3.75	1830.30	21.37	128.93	0.99936	127.82	16.77	11.54	129.11	122.72	0.7314	0.2686
4.00	1779.52	21.38	128.85	0.99936	127.90	16.78	11.55	129.08	123.22	0.7315	0.2685
4.02	1775.25	21.38	128.84	0.99936	127.90	16.78	11.55	129.07	123.26	0.7315	0.2685

NUMERO DO TESTE= 42

X	P	VF	TF	EPSILON	TS	VS(1)	VS(2)	TS(1)	TS(2)	Y(1)	Y(2)
M	PASCAL	M/S	C	M3/M3	C	M/S	M/S	C	C	M3/M3	M3/M3
0.00	2724.20	24.21	182.57	0.99000	93.59	1.49	1.49	93.59	93.59	0.8000	0.2000
0.25	2724.20	22.37	151.66	0.99878	115.60	13.06	7.45	118.21	106.22	0.6722	0.3278
0.50	2638.34	21.96	143.57	0.99897	121.24	15.00	9.40	124.19	110.63	0.6924	0.3076
0.75	2549.48	21.76	139.50	0.99904	124.08	15.84	10.43	127.07	113.33	0.7029	0.2971
1.00	2473.03	21.65	137.03	0.99907	125.80	16.26	11.04	128.73	115.27	0.7092	0.2908
1.25	2402.56	21.58	135.39	0.99909	126.94	16.49	11.42	129.77	116.78	0.7132	0.2868
1.50	2335.28	21.53	134.25	0.99910	127.73	16.62	11.65	130.44	118.02	0.7159	0.2841
1.75	2269.80	21.50	133.43	0.99911	128.31	16.69	11.81	130.88	119.07	0.7176	0.2824
2.00	2205.30	21.49	132.82	0.99911	128.73	16.73	11.90	131.17	119.99	0.7188	0.2812
2.25	2141.31	21.48	132.36	0.99911	129.05	16.76	11.97	131.35	120.80	0.7196	0.2804
2.50	2077.64	21.47	132.02	0.99912	129.29	16.77	12.01	131.45	121.53	0.7201	0.2799
2.75	2014.31	21.47	131.75	0.99912	129.48	16.78	12.03	131.51	122.18	0.7204	0.2796
3.00	1951.03	21.48	131.54	0.99912	129.62	16.79	12.05	131.52	122.78	0.7206	0.2794
3.25	1887.75	21.48	131.38	0.99912	129.73	16.79	12.06	131.51	123.32	0.7207	0.2793
3.50	1824.47	21.49	131.25	0.99912	129.82	16.80	12.07	131.49	123.83	0.7208	0.2792
3.75	1761.19	21.50	131.15	0.99912	129.89	16.81	12.08	131.45	124.30	0.7208	0.2792
4.00	1697.91	21.51	131.06	0.99912	129.95	16.81	12.08	131.41	124.73	0.7208	0.2792
4.02	1692.84	21.51	131.06	0.99912	129.96	16.81	12.08	131.40	124.76	0.7208	0.2792

NUMERO DO TESTE= 43

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1479.70	14.48	175.56	0.99000	83.45	1.18	1.18	83.45	83.45	0.2000	0.8000
0.25	1479.70	13.63	151.92	0.99662	94.92	4.27	3.34	99.04	93.89	0.1636	0.8364
0.50	1435.63	13.26	140.55	0.99717	100.42	4.96	4.01	106.11	98.99	0.1681	0.8319
0.75	1385.91	13.04	133.31	0.99737	103.92	5.27	4.33	110.32	102.32	0.1703	0.8297
1.00	1340.20	12.88	128.30	0.99747	106.34	5.43	4.50	112.98	104.68	0.1715	0.8285
1.25	1297.23	12.77	124.69	0.99751	108.08	5.51	4.58	114.69	106.43	0.1722	0.8278
1.50	1254.27	12.69	122.03	0.99753	109.36	5.55	4.63	115.77	107.76	0.1726	0.8274
1.75	1212.95	12.63	120.05	0.99754	110.32	5.56	4.64	116.42	108.80	0.1728	0.8272
2.00	1171.94	12.59	118.55	0.99754	111.04	5.56	4.65	116.77	109.61	0.1729	0.8271
2.25	1130.92	12.56	117.41	0.99754	111.59	5.55	4.64	116.91	110.26	0.1730	0.8270
2.50	1089.91	12.54	116.54	0.99754	112.01	5.54	4.64	116.92	110.78	0.1730	0.8270
2.75	1048.89	12.52	115.88	0.99753	112.33	5.53	4.63	116.83	111.20	0.1730	0.8270
3.00	1007.88	12.51	115.37	0.99753	112.57	5.53	4.62	116.67	111.55	0.1730	0.8270
3.25	966.86	12.50	114.90	0.99753	112.76	5.52	4.62	116.49	111.83	0.1729	0.8271
3.50	925.84	12.50	114.68	0.99752	112.90	5.51	4.61	116.28	112.06	0.1729	0.8271
3.75	884.83	12.50	114.44	0.99752	113.02	5.51	4.61	116.06	112.26	0.1729	0.8271
4.00	843.81	12.49	114.26	0.99752	113.11	5.51	4.60	115.85	112.42	0.1729	0.8271
4.02	840.37	12.50	114.25	0.99752	113.11	5.51	4.60	115.83	112.43	0.1729	0.8271

NUMERO DO TESTE= 44

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1126.92	14.37	174.35	0.99000	73.55	0.53	0.53	73.55	73.55	0.8000	0.2000
0.25	1126.92	13.51	151.18	0.99884	98.47	5.02	3.34	99.37	94.87	0.7270	0.2730
0.50	1102.00	13.23	142.45	0.99904	107.84	5.97	4.15	108.91	103.56	0.7355	0.2645
0.75	1073.95	13.07	137.37	0.99911	113.29	6.41	4.57	114.39	108.89	0.7400	0.2600
1.00	1047.80	12.97	134.06	0.99915	116.83	6.65	4.80	117.90	112.55	0.7427	0.2573
1.25	1022.83	12.90	131.79	0.99916	119.27	6.77	4.93	120.28	115.21	0.7444	0.2556
1.50	999.39	12.85	130.17	0.99917	120.99	6.84	5.01	121.94	117.21	0.7455	0.2545
1.75	975.95	12.82	129.01	0.99918	122.24	6.88	5.06	123.11	118.76	0.7462	0.2538
2.00	952.52	12.79	128.16	0.99918	123.14	6.90	5.08	123.94	119.98	0.7466	0.2534
2.25	929.08	12.78	127.54	0.99918	123.81	6.90	5.09	124.53	120.95	0.7468	0.2532
2.50	905.64	12.77	127.08	0.99918	124.30	6.91	5.10	124.94	121.74	0.7470	0.2530
2.75	882.20	12.76	126.74	0.99918	124.67	6.91	5.10	125.24	122.37	0.7471	0.2529
3.00	858.77	12.75	126.49	0.99918	124.93	6.90	5.10	125.45	122.89	0.7471	0.2529
3.25	835.33	12.75	126.30	0.99918	125.13	6.90	5.10	125.59	123.32	0.7471	0.2529
3.50	811.89	12.75	126.16	0.99918	125.28	6.90	5.10	125.68	123.66	0.7471	0.2529
3.75	788.45	12.75	126.05	0.99918	125.39	6.90	5.10	125.75	123.98	0.7471	0.2529
4.00	765.02	12.75	125.98	0.99918	125.48	6.90	5.10	125.79	124.23	0.7471	0.2529
4.02	763.05	12.75	125.97	0.99918	125.48	6.90	5.10	125.79	124.25	0.7471	0.2529

NUMERO DO TESTE= 45

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1499.29	14.37	174.01	0.99000	84.37	1.16	1.16	84.37	84.37	0.8000	0.2000
0.25	1499.29	13.37	146.01	0.99750	98.09	5.01	3.61	98.86	94.99	0.7426	0.2574
0.50	1453.53	13.02	135.00	0.99790	103.47	5.90	4.43	104.45	99.55	0.7504	0.2496
0.75	1403.31	12.82	128.57	0.99804	106.61	6.30	4.84	107.68	102.36	0.7543	0.2457
1.00	1358.30	12.69	124.38	0.99811	108.66	6.51	5.05	109.74	104.31	0.7566	0.2434
1.25	1315.41	12.61	121.49	0.99814	110.06	6.61	5.17	111.14	105.75	0.7579	0.2421
1.50	1274.40	12.55	119.45	0.99816	111.06	6.66	5.24	112.11	106.87	0.7587	0.2413
1.75	1233.47	12.50	117.98	0.99817	111.70	6.68	5.27	112.70	107.75	0.7592	0.2408
2.00	1194.41	12.48	116.90	0.99817	112.30	6.69	5.28	113.26	108.47	0.7595	0.2405
2.25	1155.34	12.46	116.12	0.99817	112.68	6.69	5.29	113.59	109.06	0.7596	0.2404
2.50	1116.28	12.44	115.54	0.99817	112.96	6.69	5.29	113.81	109.56	0.7597	0.2403
2.75	1077.22	12.43	115.11	0.99817	113.17	6.68	5.28	113.97	109.98	0.7597	0.2403
3.00	1038.16	12.43	114.80	0.99817	113.32	6.68	5.28	114.07	110.35	0.7597	0.2403
3.25	999.09	12.43	114.56	0.99817	113.44	6.68	5.28	114.13	110.67	0.7597	0.2403
3.50	960.03	12.43	114.39	0.99816	113.52	6.67	5.27	114.16	110.95	0.7597	0.2403
3.75	920.97	12.43	114.26	0.99816	113.58	6.67	5.27	114.18	111.20	0.7597	0.2403
4.00	881.91	12.43	114.16	0.99816	113.63	6.67	5.27	114.18	111.42	0.7597	0.2403
4.02	878.63	12.43	114.16	0.99816	113.63	6.67	5.27	114.18	111.44	0.7597	0.2403

NUMERO DO TESTE= 46

X M	p PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	1832.47	14.80	174.49	0.99000	89.67	1.70	1.70	89.67	89.67	0.8000	0.2000
0.25	1832.47	13.74	144.99	0.99653	99.91	5.21	3.91	100.59	97.16	0.7500	0.2500
0.50	1768.88	13.35	133.20	0.99706	103.98	6.09	4.74	104.87	100.45	0.7570	0.2430
0.75	1699.47	13.14	126.40	0.99725	106.33	6.49	5.15	107.30	102.46	0.7606	0.2394
1.00	1637.83	13.00	122.03	0.99734	107.84	6.69	5.37	108.84	103.84	0.7626	0.2374
1.25	1579.97	12.91	119.07	0.99739	108.87	6.80	5.49	109.87	104.86	0.7638	0.2362
1.50	1524.10	12.85	116.99	0.99741	109.58	6.85	5.56	110.57	105.64	0.7645	0.2355
1.75	1469.30	12.81	115.52	0.99742	110.09	6.87	5.59	111.05	106.26	0.7649	0.2351
2.00	1415.03	12.78	114.46	0.99742	110.46	6.88	5.60	111.38	106.76	0.7651	0.2349
2.25	1361.13	12.76	113.69	0.99742	110.72	6.88	5.61	111.61	107.19	0.7652	0.2348
2.50	1307.22	12.75	113.13	0.99742	110.91	6.88	5.61	111.76	107.55	0.7653	0.2347
2.75	1253.31	12.74	112.72	0.99742	111.05	6.87	5.60	111.85	107.86	0.7653	0.2347
3.00	1199.41	12.74	112.42	0.99742	111.16	6.87	5.60	111.91	108.13	0.7653	0.2347
3.25	1145.50	12.74	112.21	0.99742	111.23	6.87	5.60	111.95	108.37	0.7653	0.2347
3.50	1091.59	12.74	112.05	0.99742	111.29	6.87	5.60	111.96	108.59	0.7653	0.2347
3.75	1037.56	12.75	111.93	0.99742	111.33	6.87	5.60	111.96	108.79	0.7653	0.2347
4.00	983.27	12.75	111.84	0.99742	111.36	6.87	5.60	111.96	108.97	0.7653	0.2347
4.02	978.92	12.75	111.83	0.99742	111.36	6.87	5.60	111.96	108.98	0.7653	0.2347

NUMERO DO TESTE= 47

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	2528.22	18.37	179.37	0.99000	102.41	1.86	1.86	102.41	102.41	0.2000	0.8000
0.25	2528.22	17.41	158.46	0.99597	110.58	5.48	4.44	113.97	109.74	0.1685	0.8315
0.50	2453.76	17.01	148.31	0.99665	114.55	6.43	5.37	119.25	113.37	0.1727	0.8273
0.75	2370.92	16.76	141.89	0.99692	117.05	6.92	5.87	122.37	115.72	0.1748	0.8252
1.00	2296.92	16.59	137.48	0.99706	118.77	7.20	6.16	124.33	117.37	0.1761	0.8239
1.25	2227.71	16.47	134.31	0.99714	120.00	7.37	6.33	125.60	118.60	0.1768	0.8232
1.50	2161.28	16.39	131.97	0.99719	120.91	7.47	6.44	126.40	119.54	0.1773	0.8227
1.75	2096.55	16.33	130.21	0.99721	121.60	7.53	6.51	126.89	120.27	0.1776	0.8224
2.00	2032.84	16.28	128.87	0.99723	122.12	7.57	6.55	127.17	120.85	0.1778	0.8222
2.25	1969.73	16.25	127.85	0.99724	122.51	7.59	6.57	127.29	121.32	0.1780	0.8220
2.50	1907.08	16.23	127.06	0.99725	122.82	7.60	6.58	127.30	121.70	0.1781	0.8219
2.75	1844.58	16.22	126.44	0.99725	123.06	7.60	6.59	127.24	122.01	0.1781	0.8219
3.00	1782.08	16.21	125.97	0.99725	123.25	7.61	6.60	127.13	122.27	0.1781	0.8219
3.25	1719.58	16.21	125.59	0.99725	123.39	7.61	6.60	126.99	122.49	0.1781	0.8219
3.50	1657.08	16.20	125.30	0.99725	123.50	7.61	6.60	126.83	122.67	0.1782	0.8218
3.75	1594.58	16.21	125.07	0.99725	123.59	7.61	6.60	126.66	122.83	0.1782	0.8218
4.00	1532.08	16.21	124.88	0.99725	123.67	7.61	6.60	126.48	122.96	0.1782	0.8218
4.02	1527.08	16.21	124.87	0.99725	123.67	7.61	6.60	126.47	122.97	0.1782	0.8218

NUMERO DO TESTE= 48

X M	P PASCAL	VF M/S	TF C	EPSILON M3/M3	TS C	VS(1) M/S	VS(2) M/S	TS(1) C	TS(2) C	Y(1) M3/M3	Y(2) M3/M3
0.00	2371.43	18.58	178.24	0.99000	93.23	1.81	1.81	93.23	93.23	0.8000	0.2000
0.25	2371.43	17.29	149.88	0.99700	104.78	6.44	4.82	105.54	101.74	0.7497	0.2503
0.50	2292.35	16.84	138.77	0.99750	109.29	7.65	5.96	110.26	105.41	0.7570	0.2430
0.75	2207.20	16.59	132.38	0.99769	111.89	8.24	6.55	112.94	107.65	0.7609	0.2391
1.00	2132.57	16.43	128.27	0.99779	113.55	8.57	6.90	114.64	109.19	0.7632	0.2368
1.25	2063.41	16.33	125.46	0.99784	114.69	8.76	7.11	115.78	110.33	0.7647	0.2353
1.50	1997.36	16.26	123.48	0.99787	115.49	8.87	7.24	116.56	111.21	0.7656	0.2344
1.75	1933.13	16.21	122.04	0.99789	116.07	8.94	7.32	117.11	111.92	0.7662	0.2338
2.00	1869.95	16.18	121.00	0.99790	116.50	8.97	7.37	117.50	112.50	0.7666	0.2334
2.25	1807.42	16.16	120.22	0.99790	116.81	9.00	7.40	117.77	112.98	0.7669	0.2331
2.50	1745.23	16.15	119.65	0.99791	117.04	9.01	7.42	117.96	113.40	0.7671	0.2329
2.75	1683.19	16.14	119.22	0.99791	117.22	9.02	7.43	118.08	113.75	0.7672	0.2328
3.00	1621.47	16.14	118.90	0.99791	117.35	9.02	7.43	118.17	114.07	0.7672	0.2328
3.25	1559.75	16.14	118.66	0.99791	117.45	9.02	7.44	118.22	114.35	0.7672	0.2326
3.50	1498.03	16.14	118.48	0.99791	117.52	9.02	7.44	118.25	114.60	0.7673	0.2327
3.75	1436.31	16.14	118.34	0.99791	117.58	9.03	7.44	118.26	114.82	0.7673	0.2327
4.00	1374.59	16.15	118.23	0.99791	117.62	9.03	7.44	118.27	115.03	0.7673	0.2327
4.02	1369.63	16.15	118.23	0.99791	117.62	9.03	7.44	118.27	115.04	0.7673	0.2327