

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE CAMPINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE
SECADORES PNEUMÁTICOS VERTICAIS

AUTOR : JOSÉ ROBERTO CAMPANHA

ORIENTADOR: CESAR COSTAPINTO SANTANA

Tese submetida à Comissão de
Pós-Graduação da Faculdade de
Engenharia de Campinas - UNICAMP
como parte dos requisitos necessá-
rios para obtenção do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA QUÍMICA

Campinas, SP. - Brasil

Fevereiro de 1987

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

.....
.....
.....
.....
.....

Aos meus pais Guilherme (in memoriam)
e D. Lila por tudo e a Kassima pela
compreensão

.....
.....

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Cesar Costapinto Santana, pela dedicada orientação no desenvolvimento do trabalho.

Ao Departamento de Engenharia Química da FEC/UNICAMP, pelo uso de suas instalações.

A Margarida Seixas Maia e Odette Ropello, pelo esmero no serviço de datilografia.

Ao Lênio José Guerreiro de Faria, que obteve todos os dados experimentais no qual esse trabalho é baseado.

RESUMO

Nesse trabalho propõe-se o modelo matemático unidimensional de um secador pneumático vertical e verifica-se a influência da variação da porosidade no modelo. As equações do modelo são obtidas das equações de conservação da quantidade de movimento, de energia e de massa. São propostas 8 equações e as variáveis envolvidas são: a velocidade do fluido, a velocidade do sólido, a porosidade, a pressão, a temperatura do fluido, a temperatura do sólido, a umidade do fluido e a umidade do sólido. A seguir os resultados obtidos, são comparados a resultados experimentais realizados com esferas de vidro de diâmetro médio de 0,24mm e partículas de areia com diâmetros de 0,46mm e 0,55mm.

NOMENCLATURA

- a - área de contato da partícula por unidade de volume do sistema, m^2/m^3
- a_m - área de contato da partícula para transferência de massa por unidade de volume do sistema, m^2/m^3
- a_T - área de contato da partícula para transferência de ca-lor por unidade de volume do sistema, m^2/m^3
- A - coeficiente da equação (79), adimensional
- A^* - coeficiente da equação (79), adimensional
- b - força de campo, por unidade de massa, m/s^2
- c_A - calor específico da água líquida, J/Kg K
- c_f - calor específico do fluido, J/Kg K
- c_s - calor específico do sólido, J/Kg K
- c_v - calor específico do vapor d'água, J/Kg K
- C_{DS} - coeficiente de arraste, adimensional
- d_p - diâmetro da partícula, m
- D - diâmetro do tubo de secagem, m
- D_{AB} - coeficiente de difusão vapor d'água-ar, m^2/s
- f_f - fator de fricção da parede do tubo no fluido
- f_p - fator de fricção da parede do tubo no sólido
- f_s - força de arraste por unidade de volume, $Kg/m^2 s^2$
- F_{fs} - força que o fluido exerce nas partículas por unidade de volume, $Kg/m^2 s^2$
- F_{sf} - força que as partículas exercem no fluido por unidade de volume, $Kg/m^2 s^2$
- g - aceleração da gravidade, m/s^2
- G_f - vazão mássica do ar seco, Kg/s
- G_s - vazão mássica do sólido seco, Kg/s

- h - coeficiente de transferência de calor ar-sólido, $W/m^2 K$
 h_{fg} - entalpia de vaporização da água a $0^{\circ}C$, J/Kg
 \underline{I} - tensor unitário
 K_f - condutividade térmica do ar, $W/m K$
 K_y - coeficiente de transferência de massa ar-sólido, $Kg/m^2 s$
 l_i - força de interação entre os dois componentes da mistura (força resistiva) por unidade de volume das partículas, $Kg/m^2 s^2$.
 m - parte dinâmica da força de interação, $Kg/m^2 s^2$
 M - massa total, Kg
 n - constante adimensional
 P - pressão total ou barométrica, N/m^2
 P_v - pressão parcial do vapor d'água, N/m^2
 P_{sat} - pressão de saturação de vapor d'água, N/m^2
 q_{conv} - taxa de transferência de calor ar-sólido, J/s
 S - área da seção transversal do tubo de secagem, m^2
 t - tempo, s
 T - temperatura, $^{\circ}C$
 T_f - temperatura do fluido, $^{\circ}C$
 T_s - temperatura do sólido, $^{\circ}C$
 T_{BU} - temperatura do bulbo umido do ar, $^{\circ}C$
 v - velocidade, m/s
 v_f - velocidade do fluido, m/s
 v_i - velocidade do componente i da mistura, m/s
 v_s - velocidade do sólido, m/s
 v_{fs} - velocidade relativa fluido-partícula, m/s
 v_T - velocidade terminal das partículas, m/s
 V - volume, m^3

- x - comprimento do tubo de secagem, m
 X - conteúdo de umidade dos sólidos, Kg H₂O/Kg s.s
 Y - razão de umidade do ar, Kg H₂O/Kg a.s
 Y_{sat} - razão de umidade do ar na saturação, Kg H₂O/Kg a.s

Letras Gregas

- β - coeficiente da equação (78), s/m
 $\beta(\epsilon)$ - função utilizada nas equações (31), (32), (33) e (34)
 β_v - Relação entre o volume do sólido e do fluido
 ΔM - elemento de massa, Kg
 Δx - elemento de comprimento, m
 ΔV - elemento de volume, m³
 ϵ - porosidade
 μ - viscosidade, Kg/m.s
 μ_f - viscosidade do fluido, Kg/m.s
 π - 3,1415...
 $\bar{\rho}_i$ - Concentração do componente i da mistura, Kg/m³
 ρ_f - massa específica do fluido, Kg/m³
 $\bar{\rho}_f$ - Concentração do fluido na mistura, Kg/m³
 ρ_s - massa específica do sólido, Kg/m³
 $\bar{\rho}_s$ - Concentração do sólido na mistura, Kg/m³
 \vec{T} - tensor das tensões, Kg/m.s²
 T_i - tensão do componente i, Kg/m.s²
 τ_{pf} - força tangencial exercida pela parede no fluido, Kg/m.s²
 τ_{ps} - força tangencial exercida pela parede na partícula, Kg/m.s²

Subscritos

- f - relativo ao fluido
i - componente da mistura
s - relativo ao sólido

Grupos Adimensionais

- Nu - número de Nusselt, hd_p/K_f
Rey_s - número de Reynolds, $\rho_f \epsilon d_p v_{fs}/\mu_f$
Sc - número de Schmidt, $\mu_f/\rho_f D_{AB}$
Sh - número de Sherwood, $K_y d_p/\rho_f D_{AB}$

SUMÁRIO

	Página
<u>RESUMO</u>	iii
<u>ABSTRACT</u>	iv
<u>NOMENCLATURA</u>	v
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u>	1
1.1. Secador Pneumático	1
<u>CAPÍTULO 2 - OBJETIVOS DO TRABALHO</u>	7
<u>CAPÍTULO 3 - PARTE HIDRODINÂMICA</u>	8
3.1. Introdução	8
3.2. Apresentação de alguns modelos	10
3.2.1. Modelo da Teoria das Misturas	10
3.2.2. Modelo de CAPES e NAKAMURA ¹¹	15
3.2.3. Modelo de LEFROY e DAVIDSON ¹⁸	16
3.2.4. Modelo de WALLIS ³⁷	16
3.2.5. Modelo de SHOOK e MASLIYAH ²⁹	17
3.2.6. Modelo Anular de NAKAMURA e CAPES ²⁴	17
3.2.7. Modelo de SOO ³¹	18
3.2.8. Modelo de DEICH ¹²	19
3.2.9. Modelo de ARASTOPOUR e GIDASPOW ⁴	19
<u>CAPÍTULO 4</u>	21
4.1. Parte Térmica	21
<u>CAPÍTULO 5</u>	41
5.1. Transporte de Massa	41
<u>CAPÍTULO 6</u>	51
6.1. Apresentação dos Resultados	51
<u>CAPÍTULO 7</u>	105
7.1. Análise dos Resultados	105

	Página
7.1.1. Formulação não incluindo transporte de massa	105
<u>CAPÍTULO 8</u>	108
8.1. Conclusões e Sugestões	108
<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	111
<u>APÊNDICE A</u> - Listagem do programa empregado para o transporte de energia sem transferência de massa	116
<u>APÊNDICE B</u> - Listagem do programa empregado para secador pneumático	124

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. SECADOR PNEUMÁTICO

O processo no qual partículas são transportadas pelo ar e onde a fase sólida encontra-se diluída é denominada transporte pneumático. O termo pneumático é devido a que as partículas são arrastadas com gases, geralmente contra a força gravitacional.

Existem vários tipos de secadores^{25,23} mas nesse trabalho, trataremos unicamente do secador pneumático.

Num secador, o ar que entra encontra-se a uma temperatura superior à das partículas e durante o trajeto pelo secador ocorre a perda do líquido do sólido por evaporação. Nesse processo o tempo de retenção das partículas no secador é muito pequeno, não mais que poucos segundos, e a transferência de calor e massa que ocorre são quase instantâneas.

São por essas razões que os secadores pneumáticos são aconselháveis para processos nos quais os materiais a serem secos não podem ficar expostos as condições do processo por longos períodos de tempo, tais como materiais facilmente oxidáveis, explosivos, ou ainda materiais muito sensíveis ao calor.

As aplicações do transporte pneumático incluem a regeneração de catalisadores, combustão de carvão, refrigeração de reatores nucleares e ainda os secadores de minério, carvão, grãos de cereais, amido e produtos químicos.

Atualmente existe um bom conhecimento empírico do

transporte pneumático vertical e vários métodos para projetá-los são conhecidos^{11,24,17}.

Esses métodos não são totalmente confiáveis e fatores de segurança devem ser usados na sua aplicação. Os detalhes do escoamento bifásico sólido-gás não são bem conhecidos e tornam-se ainda mais complexos por fenômenos como aglomeração e recirculação de partículas, turbulência do fluido, e geralmente distribuição não uniforme das massas do fluido e do sólido.

Um esquema experimental simples do secador pneumático, é apresentado na Figura 1.1.

O produto a secar entra juntamente com o ar quente na parte inferior do tubo vertical de secagem.

As características essenciais de um secador, isto é, seu diâmetro, queda de pressão e o comprimento do tubo são obtidos geralmente através de uma instalação piloto; daí a importância de um modelo matemático, no qual o secador é representado por um certo número de equações, cuja solução prediz o comportamento do equipamento e a partir daí, o efeito dos vários parâmetros que influenciam esse comportamento podem ser investigados, e em vez de se fazerem novos testes em laboratório, as respostas podem ser obtidas do modelo matemático, resultando em projetos mais rápidos, melhores e mais econômicos.

O modelo matemático de um secador é obtido a partir das equações diferenciais do balanço de massa, energia e quantidade de movimento no sistema.

A idéia inicial desse trabalho partiu de um artigo pu

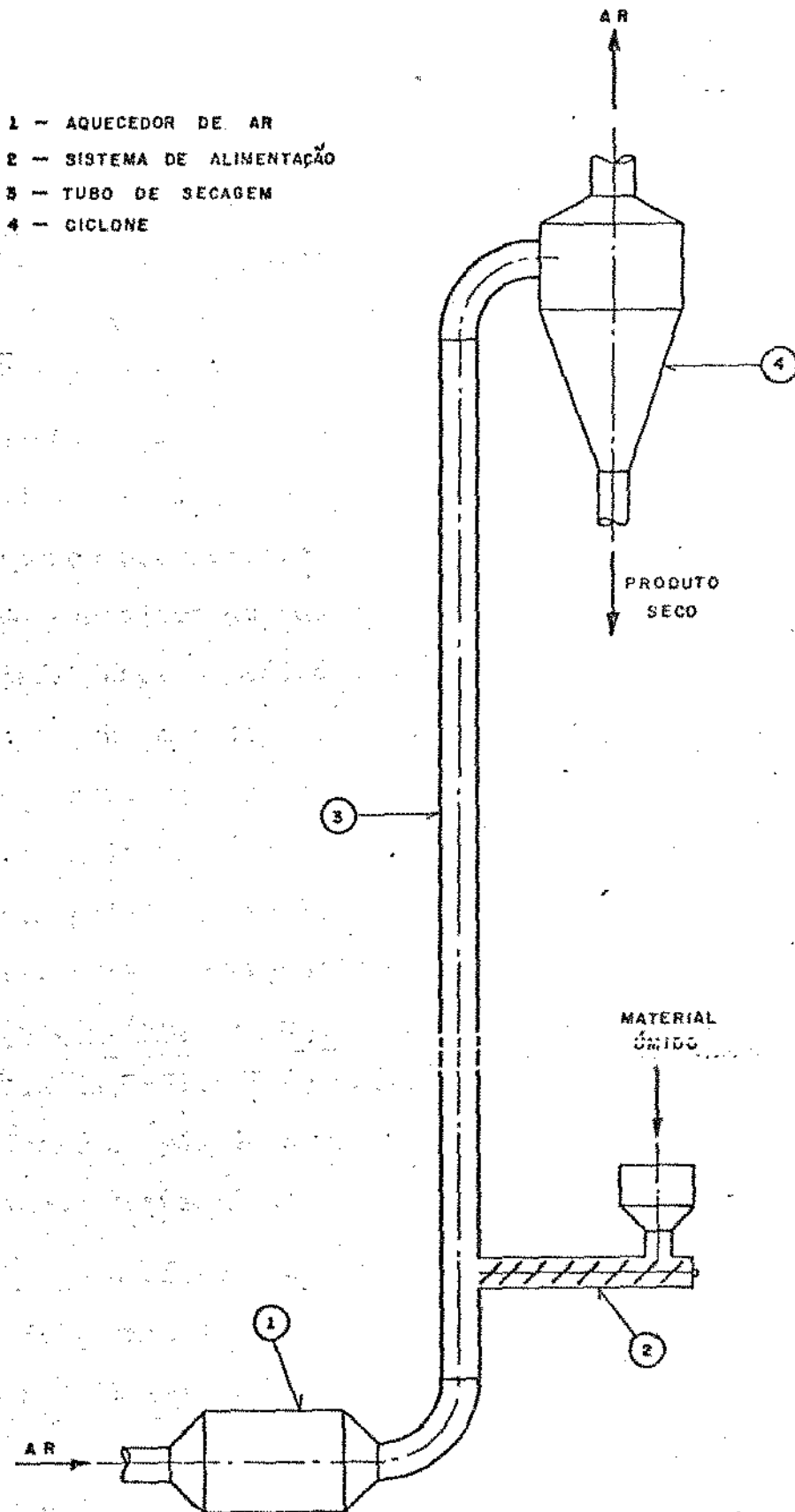


FIGURA 1.1 -- SECADOR PNEUMÁTICO DE MODELO SIMPLES

blicado por MENDES²² no qual é proposto um modelo para o seca
dor pneumático.

Tentou-se então generalizar algumas das hipóteses do
artigo. (O modelo proposto por Mendes será tratado na parte
final desse trabalho).

Procurou-se então um conjunto de 8 equações que des-
crevessem, em função do comprimento do tubo (x):

- a velocidade do sólido (v_s)
- a velocidade do fluido (v_f)
- a porosidade do meio (ϵ)
- a pressão (p)
- a temperatura do fluido (T_f)
- a temperatura do sólido (T_s)
- a umidade do sólido (X)
- a umidade do fluido (Y)

Para efeito de estudo, o modelo matemático do secador
pneumático será dividido em 3 partes:

- i) Parte hidrodinâmica
- ii) Parte térmica
- iii) Parte mássica

A parte hidrodinâmica tratará das 4 primeiras variá-
veis da lista acima. A parte térmica, tratará das temperatu-
ras do sólido (T_s) e fluido (T_f) e a parte mássica das umida-
des do sólido (X) e fluido (Y).

No desenvolvimento dessas equações, duas linhas são
geralmente empregadas:

- o estudo da dinâmica de uma partícula e sua extensão a sistemas de várias partículas
- a modificação de modelos da mecânica do contínuo.

A dinâmica de uma única partícula num escoamento turbulento foi investigada por SOO^{30,31}, TIEN³³, etc., e constitui-se num modelo que leva em consideração a turbulência do fluido.

Esses estudos tratam de obter uma descrição da difusão das partículas pela turbulência do fluido.

Embora contribuições importantes tenham sido feitas, esses estudos ainda não proveram informações suficientes para descrever o escoamento de suspensões em tubos, que representa o caso mais importante.

Muitos dos estudos teóricos recentes são dirigidos em tentar modificar as equações de conservação da mecânica do contínuo para descrever suspensões. As equações de conservação juntamente com as condições de contorno não representam uma descrição completa do escoamento. Em adição necessitamos as relações constitutivas do escoamento, expressando essas como funções das variáveis do campo. A definição dessas relações são retiradas principalmente das observações experimentais; a parte teórica e a parte experimental se completam.

Na parte experimental, faltam dados. Existem razões, pois a introdução de uma fase sólida, dobra o número de variáveis que devem ser medidas e aumentam o número de configurações de escoamento pela potência de 2. Por exemplo, um simples experimento envolvendo 3 números de Reynolds e 3 diâmetros de

tubos irá requerer no caso de uma única fase, medidas em 9 condições de escoamento. Mas um experimento similar para o escoamento bifásico com adição de 3 diâmetros de partículas e 3 densidades, expandirá o número de condições de escoamento para 81.

A segunda razão para a falta de dados experimentais é a dificuldade que os investigadores têm encontrado em medir as variáveis de transporte pois as partículas causam danos aos instrumentos de medida introduzidos nos tubos.

Nesse trabalho, as equações desenvolvidas são baseadas na modificação da mecânica do contínuo.

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS DO TRABALHO

Esse trabalho constitui-se parte de um programa de estudo do secador pneumático vertical desenvolvido no Laboratório de Desenvolvimento de Processos em Sistemas Particulados da UNICAMP, e a parte tratada nesse trabalho será unicamente a modelagem e simulação do secador pneumático vertical utilizando-se de dados experimentais obtidos em outra parte do programa, por FARIA¹⁶.

Procurou-se então nesse trabalho generalizar um conjunto de 4 equações propostas por MENDES²², na modelagem de um secador pneumático vertical, no qual, variáveis como temperatura do fluido, umidade do fluido, velocidade do fluido e porosidade são consideradas constantes. Encontrou-se então um conjunto de 8 equações que descrevem todas as variáveis do secador; a velocidade, temperatura e umidade do sólido e do fluido e ainda a porosidade e pressão.

Esse sistema de equações diferenciais com valores iniciais deverá ser resolvido pelo método de Runge-Kutta de 4ª ordem e a seguir os resultados confrontados com os dados experimentais obtidos por FARIA¹⁶ que realizou toda a parte experimental.

Verificar-se-á ainda no modelo, o efeito da concentração das partículas no comportamento do secador e os processos de transferência na região de aceleração, quando o regime não esta estabelecido dentro do tubo.

CAPÍTULO 3

PARTE HIDRODINÂMICA

3.1. INTRODUÇÃO

As equações da parte hidrodinâmica são válidas quando a fase sólida encontra-se diluída. Para fase sólida densa as equações são mais complexas devido a ter-se que considerar as interações entre as partículas e entre as fases.

Existem vários modelos baseados na mecânica do contínuo que descrevem a parte hidrodinâmica.

Quase todos esses modelos, alguns dos quais serão mencionados, baseiam-se nas equações de conservação de massa e quantidade de movimento.

Essas equações serão relacionadas abaixo e são o ponto de partida de todo o trabalho.

Vamos começar pela equação da continuidade para os componentes de uma mistura binária sólido-gás onde não existe geração de massa. Essas equações foram estabelecidas por TRUESDELL³⁵, e têm a forma:

$$\frac{\partial \bar{\rho}_f}{\partial t} + \nabla \cdot (\bar{\rho}_f \mathbf{v}_f) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{\rho}_s}{\partial t} + \nabla \cdot (\bar{\rho}_s \mathbf{v}_s) = 0 \quad (2)$$

$\bar{\rho}_f$: concentração do fluido na mistura

$\bar{\rho}_s$: concentração do sólido na mistura

\mathbf{v}_f : velocidade do fluido

\mathbf{v}_s : velocidade do sólido

Quando essas equações são aplicadas ao estudo de sistemas particulados, é costume introduzir-se um campo de porosidade, ϵ , e trabalhar com as massas específicas dos componentes puros, assim:

$$\bar{\rho}_f = \epsilon \rho_f \quad \bar{\rho}_s = (1-\epsilon) \rho_s \quad (3)$$

Supondo ainda que não haja variação da densidade dos componentes no tempo, obtemos para as equações da continuidade do fluido e do sólido num escoamento co-corrente num tubo vertical com $x=0$ na parte inferior:

$$\frac{d}{dx} (\rho_f \epsilon v_f) = 0 \quad (4)$$

$$\frac{d}{dx} [(1-\epsilon) \rho_s v_s] = 0 \quad (5)$$

Supondo a densidade do fluido constante (hipótese restritiva que poderá ser levantada) durante o escoamento pelo tubo, temos então 2 equações e 3 incógnitas que são: ϵ , v_f , v_s .

A terceira equação virá da equação de conservação da quantidade de movimento.

Para uma única fase temos (11)

$$\frac{\partial \rho \vec{v}}{\partial t} = - \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) - \nabla p - \nabla \cdot \underline{\underline{\tau}} + \rho \vec{g} \quad (6)$$

(A) (B) (C) (D) (E)

onde $\underline{\underline{\tau}}$ é o tensor das tensões e os termos da equação acima são:

- (A) : velocidade de ganho de quantidade de movimento
 (B) : velocidade de ganho de quantidade de movimento por convecção
 (C) : forças devido à pressão
 (D) : velocidade de ganho da quantidade de movimento por transporte viscoso
 (E) : forças devido ao campo gravitacional.

Na equação (6) supondo o regime estacionário, obtemos:

$$\nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = - \nabla p - \nabla \cdot \vec{\tau} + \rho \vec{g} \quad (7)$$

Nessa equação podemos acrescentar um termo que seja devido às forças exercidas pela parede do tubo nas partículas do gás e do sólido.

$$\nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = - \nabla p - \nabla \cdot \vec{\tau} + \rho \vec{g} + \vec{\tau}_p \quad (8)$$

Observamos que com essa equação é introduzida uma nova variável, a pressão que é a quarta incôgnita.

Como a equação acima é válida para uma única fase os modelos propostos pela maioria dos autores colocam uma equação análoga a essa para cada fase da mistura, aí, reside a diferença entre os vários modelos hidrodinâmicos. São então apresentados a seguir, alguns modelos representativos da literatura no tratamento de secadores pneumáticos.

3.2. APRESENTAÇÃO DE ALGUNS MODELOS

3.2.1. MODELO DA TEORIA DAS MISTURAS

Existem vários modelos baseados nas equações da teoria da mistura desenvolvida por TRUESDELL³⁵ e outros^{10,7,27}.

As equações que descrevem o comportamento hidrodinâmico de uma mistura binária onde não existe geração de massa, foram estabelecidas por TRUESDELL³⁵ e têm a forma:

$$\frac{\partial \bar{\rho}_i}{\partial t} + \nabla \cdot (\bar{\rho}_i \mathbf{v}_i) = 0 \quad (9)$$

$$\rho_i \left[\frac{\partial \mathbf{v}_i}{\partial t} + (\nabla \cdot \mathbf{v}_i) \mathbf{v}_i \right] = \nabla \cdot \boldsymbol{\tau}_i + \bar{\rho}_i \mathbf{b} + \mathbf{l}_i \quad (10)$$

$$i = 1, 2$$

onde:

- $\bar{\rho}_i$: concentração do componente i da mistura
- \mathbf{v}_i : velocidade do componente i
- $\boldsymbol{\tau}_i$: tensão do componente i
- \mathbf{b} : força do campo por unidade de massa
- \mathbf{l}_i : força de interação entre os dois componentes da mistura (força resistiva)

Além dessas equações TRUESDELL introduz o argumento de que a mistura quando vista como um corpo único, deve satisfazer as equações da mecânica do contínuo. Então para a mistura:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0 \quad (11)$$

$$\rho \left[\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\nabla \cdot \mathbf{v}) \mathbf{v} \right] = \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} + \rho \mathbf{b} \quad (12)$$

onde

$$\rho = \bar{\rho}_s + \bar{\rho}_f \quad (13)$$

$$\mathbf{v} = 1/\rho (\bar{\rho}_s \mathbf{v}_s + \bar{\rho}_f \mathbf{v}_f) \quad (14)$$

Do que foi exposto acima, temos que:

$$l_f + l_s = 0 \quad (15)$$

Quando aplicamos essas equações a sistemas particula dos, introduzimos o campo de porosidades ϵ e então obtemos:

$$\bar{\rho}_f = \epsilon \rho_f \quad \bar{\rho}_s = (1-\epsilon) \rho_s \quad (16)$$

Na maioria dos casos $b = g$ onde g é a aceleração da gra vidade e costuma-se dividir l_s em duas partes:

$$l_s = - (1-\epsilon) \rho_f g - m \quad (17)$$

onde m é chamado de parte dinâmica da força de interação e $(1-\epsilon) \rho_f g$ é identificado como o empuxo sobre o sólido (por uni dade de volume).

Então das equações (10), (15), (16), (17), obtemos:

$$\epsilon \rho_f \left[\frac{\partial v_f}{\partial t} + (\nabla v_f) v_f \right] = \nabla \cdot \tau_f + \rho_f g + m \quad (18)$$

$$(1-\epsilon) \rho_s \left[\frac{\partial v_s}{\partial t} + (\nabla v_s) v_s \right] = \nabla \cdot \tau_s + (\rho_s - \rho_f) (1-\epsilon) g - m \quad (19)$$

Supondo que não haja variação no tempo, isto é regime estacionário, temos das equações acima e da equação (9) que:

$$\frac{d}{dx} (\epsilon \rho_f V_f) = 0 \quad (20)$$

$$\frac{d}{dx} \left[(1-\epsilon) \rho_s v_s \right] = 0 \quad (21)$$

$$\epsilon \rho_f v_f \frac{dv_f}{dx} = \nabla \cdot \underline{\tau}_f + \rho_f g - m \quad (22)$$

$$(1-\epsilon) \rho_s v_s \frac{dv_s}{dx} = \nabla \cdot \underline{\tau}_s + (1-\epsilon) (\rho_s - \rho_f) g + m \quad (23)$$

LIU¹⁹, SAMPAIO e WILLIAMS²⁷ criticaram as equações (22) e (23) acima principalmente em relação ao termo $(\rho_s - \rho_f)$ na equação de movimento do sólido e propuseram as seguintes equações em substituição a equação (23):

$$(1-\epsilon) \rho_s v_s \frac{dv_s}{dx} = \nabla \cdot \underline{\tau}_s + (1-\epsilon) \rho_s g + m \quad (24)$$

Para o caso do escoamento unidimensional admite-se que:

$$\underline{\tau}_f = - p \underline{I} \quad (25)$$

e ainda baseando-se em resultados obtidos por TELLES³², MASSA RANI e SANTANA²¹ para o transporte vertical em tubos, o termo $\nabla \cdot \underline{\tau}_s$ é nulo para uma distribuição uniforme em cada seção transversal do tubo. Então obtemos:

$$\epsilon \rho_f v_f \frac{dv_f}{dx} = - \frac{dp}{dx} + \rho_f g - m \quad (26)$$

$$(1-\epsilon) \rho_s v_s \frac{dv_s}{dx} = (1-\epsilon) \rho_s g + m \quad (27)$$

Os valores de m , que correspondem à força resistiva, foram estabelecidos por MASSARANI e SANTANA²¹ e são os seguintes:

$$\epsilon < 0,75$$

$$m = \left[\frac{18 \mu (1-\epsilon) [1 + (1-\epsilon)^{1/3}]}{\epsilon d_p^2} e^{\frac{(1-\epsilon)}{0,6 \epsilon}} + \frac{\rho_f 44 (1-\epsilon)}{d_p e^{4,74 \epsilon}} V_{fs} \right] V_{fs} \quad (28)$$

$$\epsilon > 0,75 \quad \text{Rey}_s = \frac{V_{fs} \rho_f d_p}{\mu} < 70$$

$$m = \left[\frac{18 \mu (1-\epsilon) [1 + (1-\epsilon)^{1/3}]}{\epsilon d_p^2} e^{\frac{(1-\epsilon)}{0,6 \epsilon}} + 1,5 (1-\epsilon) \epsilon^{9/5} \left(\frac{\mu \rho_f^4}{d_p^6} \right)^{1/5} V_{fs}^{4/5} \right] V_{fs} \quad (29)$$

$$\epsilon > 0,75 \quad \text{Rey}_s > 70$$

$$m = \frac{44 \rho_f (1-\epsilon)}{d_p e^{4,74 \epsilon}} V_{fs}^2 \quad (30)$$

Observamos que as equações (20), (21), (26) e (27) formam um conjunto completo de equações para a parte hidrodinâmica.

Nos modelos que apresentamos a seguir, as duas primeiras equações do modelo são as equações da continuidade do sólido e do fluido, isto é, as equações (4) e (5) e as outras duas

baseadas na conservação da quantidade de movimento dos componentes ou da mistura, variam conforme o modelo.

3.2.2. MODELO DE CAPES E NAKAMURA¹¹

$$\frac{d}{dx} (\epsilon \rho_f v_f^2) = - \epsilon \frac{dp}{dx} - \beta (\epsilon) v_{fs}^2 - \frac{4}{D} \tau_{pf} - \rho_f g \quad (31)$$

$$\frac{d}{dx} [(1-\epsilon) \rho_s v_s^2] = - (1-\epsilon) \frac{dp}{dx} + \beta (\epsilon) v_{fs}^2 - \frac{4}{D} \tau_{ps} + \rho_s (1-\epsilon) g \quad (32)$$

onde: τ_{pf} : força tangencial exercida pela parede no fluido

$$\tau_{pf} = \frac{1}{2} \rho_f \epsilon v_f^2 f_f$$

τ_{ps} : força tangencial exercida pela parede nas partículas

$$\tau_{ps} = \frac{1}{2} \rho_s (1-\epsilon) v_s^2 f_p$$

D : diâmetro do tubo

$$\beta (\epsilon) = \rho_s g (1-\epsilon) / v_T^2 \epsilon^{2n-3}$$

v_T : velocidade terminal

$$n = 2,4$$

3.2.3. MODELO DE LEFROY E DAVIDSON¹⁸

$$\frac{d}{dx} (\rho_f \epsilon v_f^2) = - \epsilon \frac{dp}{dx} - \beta (\epsilon) v_{fs}^2 - \rho_f g \quad (33)$$

$$\frac{d}{dx} \left[(1-\epsilon) \rho_s v_s^2 \right] = - (1-\epsilon) \frac{dp}{dx} + \beta (\epsilon) v_{fs}^2 - \rho_s (1-\epsilon) g \quad (34)$$

$$\beta (\epsilon) = 1,75 \rho_f (1-\epsilon) / d_p$$

$$\beta (\epsilon) = 0,33 \rho_f (1-\epsilon) / d_p \epsilon^{1,78}$$

d_p : diâmetro da partícula

3.2.4. MODELO DE WALLIS³⁷

$$\rho_f v_f \frac{dv_f}{dx} = - \frac{dp}{dx} - \frac{(1-\epsilon) \epsilon^{-2,7} C_{DS} \frac{3}{4} \rho_f v_{fs}^2}{d_p} - \rho_f g \quad (35)$$

$$\rho_s v_s \frac{dv_s}{dx} = - \frac{dp}{dx} + \frac{\epsilon^{-1,7} C_{DS} \frac{3}{4} \rho_f v_{fs}^2}{d_p} - \rho_s g \quad (36)$$

$$C_{DS} = \frac{24}{Rey_s} (1 + 0,15 Rey_s^{0,687}) \quad Rey_s < 1000$$

$$C_{DS} = 0,44 \quad Rey_s > 1000$$

$$Rey_s = \frac{V_{fs} d_p \rho_f \epsilon}{\mu_f}$$

3.2.5. MODELO DE SHOOK E MASLIYAH²⁹

$$\rho_f v_f \frac{dv_f}{dx} = - \frac{dp}{dx} - \frac{f_s (1-\epsilon)}{\epsilon} - \rho_f g \quad (37)$$

$$\rho_s v_s \frac{dv_s}{dx} = - \frac{dp}{dx} + f_s - \rho_s g \quad (38)$$

$$f_s = \frac{3}{4} \rho_f \epsilon^{-1,7} v_{fs}^2 C_{DS} + \left(\frac{3-2\epsilon}{2\epsilon} \right) \rho_f v_s \frac{dv_{fs}}{dx}$$

C_{DS} e Rey_s são definidos como no modelo anterior

3.2.6. MODELO ANULAR DE NAKAMURA E CAPES²⁴

A partir desse modelo a terceira equação é obtida por uma soma das equações válidas para cada fase, é uma equação válida para a mistura e poderia ser obtida somando as equações abaixo válidas para o fluido e o sólido.

$$\epsilon \rho_f v_f \frac{dv_f}{dx} = - \epsilon \frac{dp}{dx} - F_{sf} - \frac{4}{D} \tau_{pf} - \epsilon \rho_f g \quad (39)$$

$$(1-\epsilon) \rho_s v_s \frac{dv_s}{dx} = (1-\epsilon) \frac{dp}{dx} + F_{fs} - \frac{4}{D} \tau_{ps} - (1-\epsilon) \rho_s g \quad (40)$$

Supondo que $F_{sf} = F_{fs}$, onde F_{sf} é a força que as partículas exercem no fluido, temos ao somar as equações acima que:

$$(1-\epsilon) \rho_s v_s \frac{dv_s}{dx} + \epsilon \rho_f v_f \frac{dv_f}{dx} = \frac{dp}{dx} + \left[(1-\epsilon) \rho_s + \epsilon \rho_f \right] g + \frac{4}{D} (\tau_{pf} + \tau_{ps}) \quad (41)$$

A equação acima é algumas vezes denominada equação da quantidade de movimento para a mistura ou equação da mistura, e é tomada como a terceira equação juntamente com as duas da continuidade.

Como temos 4 incógnitas v_f , v_s , ϵ , p existe a necessidade de uma quarta equação e aí novamente os autores diferem.

No modelo anular de CAPES e NAKAMURA temos então as duas equações da continuidade, a equação da mistura e a seguinte equação, denominada equação da queda de pressão na fase sólida e fluida.

$$\rho_s v_s \frac{dv_s}{dx} = - \frac{dp}{dx} + f_s - \rho_s g \quad (42)$$

$$f_s = \frac{3}{4} C_{DS} \frac{\rho_f v_{fs}^2}{dp} \epsilon^{-2,65} \quad (43)$$

Com Rey_s e C_{DS} já definidos anteriormente

3.2.7. MODELO DE SOO³¹

As primeiras 3 equações são iguais à do modelo anterior e a quarta denominada de equação da queda de pressão na

fase fluída é dada por:

$$\rho_s v_s \frac{dv_s}{dx} = f_s - \rho_s g \quad (44)$$

Com f_s definido como anteriormente

3.2.8. MODELO DE DEICH¹²

A quarta equação é conhecida como equação da queda de pressão em ambas as fases é dada por:

$$\rho_s v_s \frac{dv_s}{dx} = + \frac{P}{(1-\epsilon)} \frac{d\epsilon}{dx} + \frac{dp}{dx} + f_s - \rho_s g \quad (45)$$

3.2.9. MODELO DE ARASTOPOUR E GIDASPOW⁴

A quarta equação desse modelo é conhecida como equação da velocidade relativa e foi obtida por GIDASPOW⁴ utilizando métodos da Termodinâmica do não equilíbrio.

Segundo ARASTOPOUR e GIDASPOW⁴ o procedimento consiste em assumir existência da função entropia como função da energia interna, volume, número de moles, e também função da velocidade relativa. A entropia deve ser função da velocidade relativa e das velocidades individuais do fluido e do sólido separadamente, a fim de satisfazer o princípio da relatividade de GALILEU segundo o qual as leis físicas devem ser válidas em qualquer sistema de referência. Segundo os autores algumas das equações para o escoamento bifásico não satisfazem esse princípio, embora os erros numéricos encontrados sejam pequenos.

Depois de assumir a existência da função entropia foi então construído um balanço de energia e uma expressão para a produção de entropia no sistema foi deduzida e depois minimizada, utilizando métodos da termodinâmica dos processos irreversíveis desenvolvidos por ONSAGER. O resultado foi então a equação da velocidade relativa. Em seguida GIDASPOW demonstrou que a partir dessa equação é possível deduzir a lei de FICK da difusão de partículas e este fato é tomado como prova da validade da equação.

A dedução da equação acima foi restrita ao caso de operação isotérmica, sem mudança de fase.

Segundo GIDASPOW⁴ ela poderá ser facilmente estendida para o caso não isotérmico.

A equação é dada por:

$$\frac{1}{2} \frac{d}{dx} v_{fs}^2 = \frac{f_s}{\rho_s} - g \quad (46)$$

que juntamente com as 2 equações da continuidade e a da mistura formam um conjunto completo de equações para a obtenção das 4 incógnitas da parte fluidodinâmica.

A parte hidrodinâmica do escoamento co-corrente e contra-corrente são estudadas por ARASTOPOUR e GIDASPOW³ onde comparam os modelos 3-2-6, 3-2-7, 3-2-8 e 3-2-9.

Nesse trabalho utilizamos para a parte hidrodinâmica, as equações do modelo descrito acima, para descrever o comportamento fluidodinâmico do sistema.

CAPÍTULO 4

4.1. PARTE TÉRMICA

De posse então de 4 equações para a parte hidrodinâmica (Modelo de ARASTOPOUR e GIDASPOW) procurou-se mais duas equações que descrevessem a temperatura do sólido e do fluido no tubo.

Existem vários modelos que descrevem as equações para a temperatura do sólido e do fluido^{10,36,1,9}, inclusive modelos que levam em consideração a turbulência do fluido^{31,33}.

As equações usadas nesse trabalho são inspiradas nos trabalhos de BROOKER et alii⁹ e VORTMEYER e SCHAEFER³⁶ mas não são iguais as equações deduzidas pelos autores acima.

Antes de chegarmos as equações para o secador pneumático, vamos fazer uma pausa e estudarmos a transferência de calor para uma partícula num tubo. Vamos supor que essas partículas sejam não higroscópicas, isto é não retenham água.

Encontram-se vários trabalhos sobre os coeficientes de transferência de calor^{34,28,14,15,13}, no qual os coeficientes encontrados por vários autores foram analisados juntamente com sua faixa de validade. Foi desenvolvida ainda no Laboratório de Desenvolvimento de Processos em Sistemas Particulados da UNICAMP um trabalho experimental desenvolvido por TORREZAN et alii³⁴, no qual tratava de obter coeficientes de transferência de calor do ar para partículas esféricas de vidro. Nesse trabalho foram obtidos dados experimentais e uma nova correlação expressando o número de NUSSELT em função do número de REYNOLDS

da partícula e da concentração volumétrica que serão utilizados nesse trabalho.

A seguir deduziremos as equações para T_s e T_f .

Tomando um elemento de volume V do tubo de altura x e área transversal S temos que a quantidade de ar que passa pelo plano no ponto x no tempo dt é:

$$S v_f \rho_f dt \quad (47)$$

O calor sensível trocado pelo ar que entra no volume V no tempo dt é :

$$S v_f \rho_f c_f T_f dt \quad (48)$$

O calor sensível trocado pelo ar que sai de V no tempo dt é :

$$S v_f \rho_f c_f \left(T_f + \frac{dT}{dx} dx \right) dt \quad (49)$$

Então a quantidade de calor trocado é dado pela diferença das equações acima:

$$S v_f \rho_f c_f \frac{dT}{dx} dx dt \quad (50)$$

Como o ar se move entre as partículas a mudança que ocorre no calor sensível dentro do volume é devido à diferença de temperaturas entre o sólido e o fluido:

$$q_{conv} = h a (T_s - T_f) S dx dt \quad (51)$$

onde h é o coeficiente de troca de calor e a é a área de con-

tato da partícula por unidade de volume do sistema.

Igualando-se as equações (50) e (51) obtemos :

$$\rho_f v_f c_f \frac{d T_f}{dx} = ha (T_s - T_f) \quad (52)$$

Analogamente podemos deduzir para o sólido :

$$\rho_s v_s c_s \frac{d T_s}{dx} = ha (T_f - T_s) \quad (53)$$

Serão usadas nesse trabalho equações que diferem das equações acima apenas pela introdução da porosidade ϵ , e são dadas por :

$$\epsilon \rho_f v_f c_f \frac{d T_f}{dx} = ha (T_s - T_f) \quad (54)$$

$$(1-\epsilon) \rho_s v_s c_s \frac{d T_s}{dx} = ha (T_f - T_s) \quad (54)$$

O coeficiente de transferência de calor h , pode ser expresso por :

$$h = \frac{Nu \cdot K_f}{d_p} \quad (55)$$

onde K_f é a condutividade do fluido e d_p o diâmetro da partícula.

A área superficial específica da partícula a é dada para partículas esféricas por ⁶:

$$a = \frac{6(1-\epsilon)}{d_p} \quad (57)$$

Então o conjunto de 6 equações dadas pelas equações da continuidade (4) e (5), da mistura (41), da velocidade relativa (46) e das equações (54) e (55) formam um conjunto completo para encontrarmos as variáveis v_s , v_f , ϵ , p , T_f , T_s ao longo do tubo.

O número de Nusselt utilizado é aquele encontrado por TORREZAN et alii³⁴.

$$Nu = 0,0022 \text{Rey}_s^{0,9066} \cdot \beta_v^{-0,6019} \quad (58)$$

onde β_v é a concentração volumétrica e definida por TORREZAN et alii³⁴ por :

$$\beta_v = \frac{G_s \rho_f v_f}{G_f \rho_s v_s} = \frac{(1-\epsilon)}{\epsilon} \quad (59)$$

onde G_s e G_f são as vazões do sólido e fluido respectivamente.

No nosso modelo, as velocidades v_s e v_f são as velocidades intersticiais do sólido e do fluido definidas por :

$$v_f = \frac{G_f / \rho_f}{\frac{\pi D^2 \epsilon}{4}} \quad (60)$$

$$v_s = \frac{G_s / \rho_s}{\frac{\pi D^2}{4} \cdot (1-\epsilon)} \quad (61)$$

onde D é o diâmetro do tubo.

Temos então um problema matemático de resolução de 6 equações diferenciais com valores iniciais. Da tabela 2 do trabalho de TORREZAN et alii³⁴ (ver tabela 1, publicada aqui com a permissão dos autores), observamos que faltam os valores da pressão p e da porosidade ϵ .

O valor inicial da pressão foi tomado como 1 atm e os valores iniciais de ϵ podem ser calculados pela equação (59).

O método de resolução desse sistema de 6 equações com valores iniciais foi o de RUNGE-KUTTA de 4º ordem, e as equações são :

$$1^a : \frac{d}{dx} (\rho_f \epsilon v_f) = 0 \quad (62)$$

$$2^a : \frac{d}{dx} [\rho_s (1-\epsilon) v_s] = 0 \quad (63)$$

$$3^a : \epsilon \rho_f v_f \frac{dv_f}{dx} + (1-\epsilon) \rho_s v_s \frac{dv_s}{dx} = - \frac{dp}{dx} + [(1-\epsilon) \rho_s + \epsilon \rho_f] g. \quad (64)$$

$$4^a : \frac{1}{2} \frac{d}{dx} (v_f - v_s)^2 = \frac{f_s}{\rho_s} - g \quad (65)$$

$$5^a : \epsilon \rho_f v_f c_f \frac{dT_f}{dx} = ha (T_s - T_f) \quad (66)$$

$$6^a : (1-\epsilon) \rho_s v_s c_s \frac{dT_s}{dx} = ha (T_f - T_s) \quad (67)$$

Com :

$$h = \frac{Nu \cdot K_f}{d_p} \quad (68)$$

$$a = \frac{6(1-\epsilon)}{d_p} \quad (69)$$

$$f_s = \frac{3}{4} \cdot \frac{C_{DS} \rho_f (v_f - v_s)^2 \cdot \epsilon^{-2,65}}{d_p} \quad (70)$$

$$C_{DS} = \frac{24}{Rey_s} \left[1 + 0,15 \cdot Rey_s^{0,687} \right] \quad Rey_s < 1000 \quad (71)$$

$$C_{DS} = 0,44 \quad Rey_s > 1000 \quad (72)$$

$$Rey_s = \frac{\rho_f \epsilon d_p \cdot (v_f - v_s)}{\mu_f} \quad (73)$$

μ_f é a viscosidade do fluido-

$$Nu = 0,0022 Rey_s^{0,9066} \cdot \beta_v^{-0,6019} \quad (74)$$

$$\beta_v = \frac{G_s \rho_f v_f}{G_f \rho_s v_s} \quad (75)$$

Os resultados obtidos baseados na tabela 1, mostram que quanto menor a porosidade, maior será a transferência de calor, devido possivelmente à maior resistência encontrada pelo fluido.

As tabelas e os gráficos que se seguem são os dos experimentos 1 , 6 , 20 e 21 da tabela 1 e os dados experimentais obtidos são colocados juntos aqueles do modelo matemático. Observamos uma boa concordância entre eles.

A listagem do programa empregado para obter as tabelas (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9) está listado no APÊNDICE A.

TABELA 1 - RESULTADOS EXPERIMENTAIS COM ESFERAS DE VIDRO DE $d_p = 1 \text{ mm}$

Exp Nº	G_B (Kg/h)	G_P (Kg/h)	t_{g1} (°C)	t_{g2} (°C)	t_{a1} (°C)	t_{a2} (°C)	w (m/s)	v (m/s)	R_v $\times 10^3$	Ka_p	h (W/m ² °C)	N_v exp.	$\frac{N_v}{K_a^{0,42}}$
			entrada	l = 4,8 m	inicial	final							
1	173.2	258.8	95.5	58.5	14.5	54.0	19.88	12.11	1.11	496.4	993.1	31.4	0.1935
2	163.4	456.1	113.0	33.0	18.5	50.5	18.76	11.08	2.15	490.5	825.8	26.1	0.1625
3	161.6	556.6	114.5	65.5	38.0	58.0	18.55	10.91	2.66	488.4	459.0	14.5	0.0906
4	158.0	279.0	100.0	57.0	24.0	56.0	19.07	10.64	1.59	551.8	1287.6	40.7	0.2300
5	153.9	330.5	108.5	67.0	39.0	64.5	18.77	10.21	1.69	547.1	870.9	27.6	0.1567
6	155.2	453.2	115.5	63.0	33.5	59.5	17.76	10.16	2.33	485.7	671.7	21.3	0.0796
7	150.1	594.7	116.0	59.0	37.0	56.5	17.21	9.63	3.22	484.6	549.4	17.4	0.1092
8	149.4	427.0	103.0	72.0	35.0	69.0	17.96	9.51	2.34	539.9	558.2	17.7	0.1015
9	148.3	246.2	11.0	77.0	49.0	76.0	17.89	9.32	1.38	546.3	1136.2	35.9	0.2047
10	147.2	544.7	104.0	62.0	42.0	58.0	17.75	9.29	3.06	539.9	437.8	13.9	0.1332
11	144.4	279.1	109.0	56.0	20.0	45.0	17.36	8.93	2.21	538.8	423.9	13.4	0.0772
12	142.2	388.1	136.0	73.5	39.0	67.0	17.13	8.69	2.33	539.4	523.4	16.6	0.0953
13	139.7	350.6	112.5	57.0	24.0	53.5	16.83	8.40	2.18	538.7	619.8	19.6	0.1128
14	139.0	374.4	121.5	71.0	42.5	67.0	16.76	8.37	2.35	539.3	545.6	17.3	0.0993
15	132.5	374.8	124.0	55.5	17.0	52.0	15.20	7.60	2.37	485.5	559.9	17.7	0.1111
16	130.3	281.2	87.5	48.5	21.5	47.0	15.67	7.33	2.00	532.6	681.0	21.6	0.1255
17	123.1	209.5	123.0	69.0	17.0	62.0	14.14	6.50	1.68	487.8	498.1	15.8	0.0985
18	121.7	586.8	135.5	56.5	30.0	54.5	13.92	6.46	4.75	477.1	356.5	11.3	0.0718
19	120.6	605.9	136.5	58.0	31.0	56.0	13.80	6.34	5.00	476.7	333.9	10.6	0.0673
20	115.6	189.0	152.0	84.0	20.0	79.0	13.94	5.65	1.74	529.5	334.4	16.9	0.0988
21	110.5	523.4	135.0	64.5	38.0	61.5	12.62	5.20	5.36	474.0	232.1	7.9	0.0510
22	103.3	648.0	146.5	61.5	34.0	55.0	11.80	4.46	7.63	469.1	143.1	4.5	0.0392

***** HIDRO-TERMICA *****

DADOS INICIAIS

Densidade do solido= 2500
 Diametro da particula= .001
 Altura do secador = 4.80
 calor espec. solido = 752
 diametro do tubo = .0521
 vazao do solido = .07188
 vazao do ar = .04811
 porosidade inicial = .99500
 pressao inicial = 101000
 temp. inicial solido = 14.5
 temp. inicial ar = 95.5

Z	V.SÓLIDO	V.FLÚIDO	POROSIDADE	PRESSÃO	T.FLÚIDO	T.SÓLIDO
k= 2						
0.000	2.69	17.59	.99500	101000	95.50	14.50
.480	3.54	17.56	.99619	100914	68.56	39.53
.960	4.31	17.55	.99687	100842	59.70	47.77
1.440	5.03	17.55	.99731	100778	56.30	50.90
1.920	5.68	17.54	.99762	100720	54.89	52.23
2.400	6.28	17.54	.99785	100667	54.23	52.84
2.880	6.83	17.53	.99802	100619	53.91	53.14
3.360	7.33	17.53	.99815	100573	53.74	53.30
3.840	7.77	17.53	.99826	100531	53.65	53.38
4.320	8.17	17.53	.99834	100492	53.59	53.43
4.800	8.53	17.53	.99841	100455	53.56	53.46

rea= 643.779

nu= 37.4943

k= 2

TABELA 2 - RESULTADOS OBTIDOS COM OS DADOS DA CORRIDA Nº 1 E
POROSIDADE INICIAL 0,995

***** HIDRO-TERMICA *****

DADOS INICIAIS (M.K.S)

Densidade do solido= 2500
 Diametro da particula= .001
 Altura do secador = 4.80
 calor espec. solido = 752
 diametro do tubo = .0521
 vazao do solido = .07188
 vazao do ar = .04811
 porosidade inicial = .99870
 pressao inicial = 101000
 temp. inicial solido = 14.5
 temp. inicial ar = 95.5

Z	V.SÓLIDO	V.FLUIDO	POROSIDADE	PRESSÃO	T.FLUIDO	T.SÓLIDO
k= 2						
0.000	10.38	17.52	.99870	101000	95.50	14.50
.480	10.45	17.52	.99870	100976	83.52	25.60
.960	10.52	17.52	.99871	100952	75.04	33.46
1.440	10.58	17.52	.99872	100929	69.00	39.05
1.920	10.62	17.52	.99873	100906	64.6°	43.05
2.400	10.66	17.52	.99873	100884	61.59	45.92
2.880	10.70	17.52	.99873	100862	59.36	47.99
3.360	10.73	17.52	.99874	100840	57.75	49.48
3.840	10.75	17.52	.99874	100818	56.58	50.56
4.320	10.77	17.52	.99874	100797	55.73	51.35
4.800	10.79	17.52	.99875	100776	55.12	51.92

rea= 401.745

nu= 33.245

k= 2

TABELA 3 - RESULTADOS OBTIDOS COM OS DADOS DA CORRIDA Nº 1 E
POROSIDADE INICIAL 0,99870

TEMPERATURA DO FLUIDO

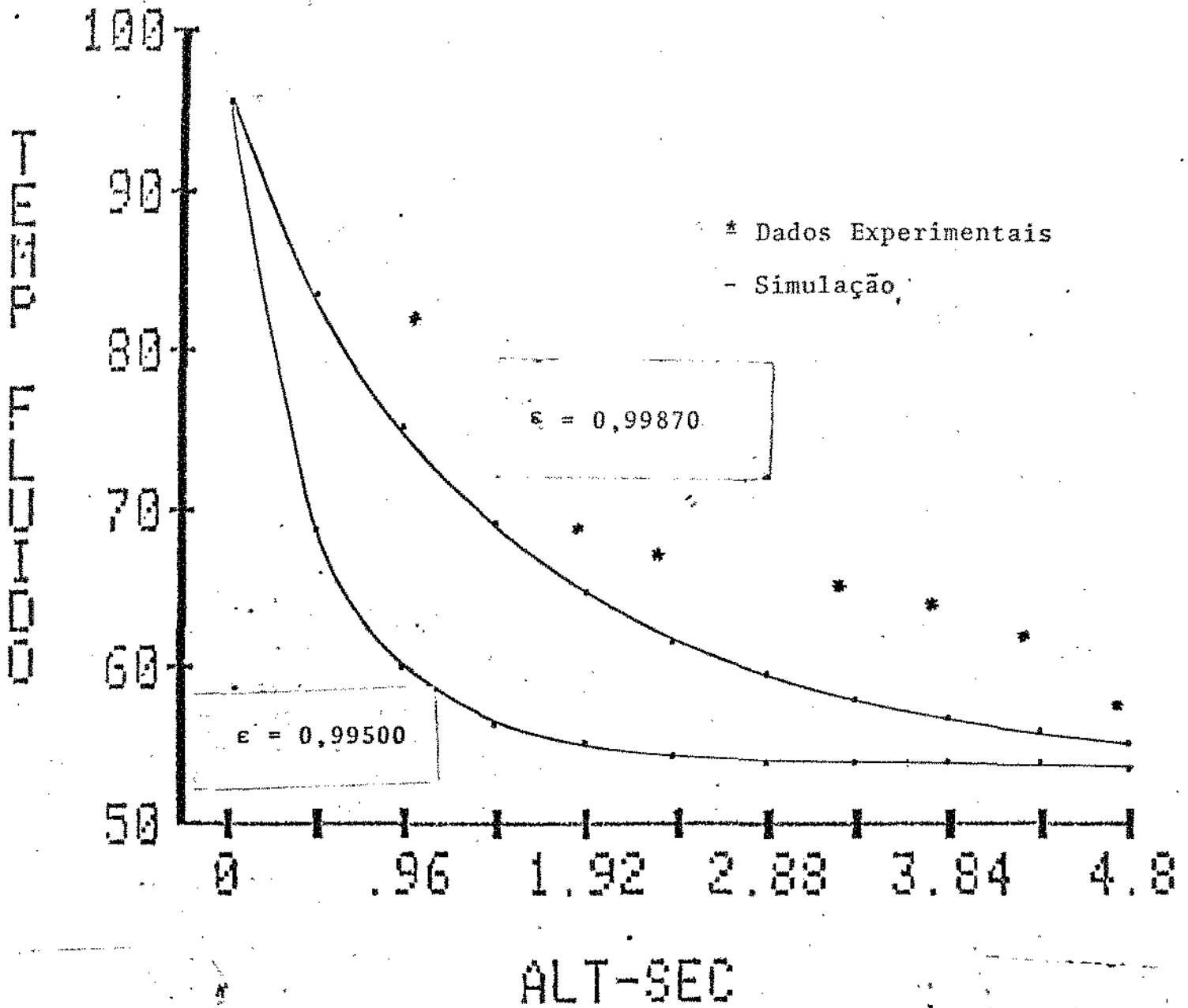


FIGURA 2 - GRÁFICO OBTIDO COM RESULTADOS DA CORRIDA Nº 1

***** HIDRO-TERMICA *****

DADOS INICIAIS (M.K.S).

Densidade do solido= 2500
 Diametro da particula= .001
 Altura do secador = 4.80
 calor espec. solido = 752
 diametro do tubo = .0521
 vazao do solido = .12588
 vazao do ar = .04311
 porosidade inicial = .99500
 pressao inicial = 101000
 temp. inicial solido = 33.5
 temp. inicial ar = 115.5

Z	V.SÓLIDO	V.FLUIDO	POROSIDADE	PRESSÃO	T.FLUIDO	T.SÓLIDO
k= 2						
0.000	4.72	15.76	.99500	101000	115.50	33.50
.480	5.25	15.75	.99550	100907	87.69	46.73
.960	5.73	15.74	.99587	100822	74.57	52.96
1.440	6.16	15.74	.99616	100743	68.01	56.09
1.920	6.54	15.74	.99638	100671	64.55	57.73
2.400	6.88	15.73	.99656	100603	62.66	58.63
2.880	7.19	15.73	.99671	100540	61.58	59.14
3.360	7.45	15.73	.99682	100480	60.95	59.44
3.840	7.69	15.73	.99692	100423	60.57	59.62
4.320	7.89	15.73	.99700	100369	60.34	59.73
4.800	8.07	15.73	.99706	100318	60.20	59.80

rea= 547.212

nu= 22.3105

k= 2

TABELA 4 - RESULTADOS OBTIDOS COM OS DADOS DA CORRIDA Nº 6 E
POROSIDADE INICIAL 0,99500

***** HIDRO-TERMICA *****

DADOS INICIAIS (M.K.S)

Densidade do solido= 2500
 Diametro da particula= .001
 Altura do secador = 4.80
 calor espec. solido = 752
 diametro do tubo = .0521
 vazao do solido = .12588
 vazao do ar = .04311
 porosidade inicial = .99000
 pressao inicial = 101000
 temp. inicial solido = 33.5
 temp. inicial ar = 115.5

Z	V.SÓLIDO	V.FLUIDO	POROSIDADE	PRESSÃO	T.FLUIDO	T.SÓLIDO
k= 2						
0.000	2.36	15.84	.99000	101000	115.50	33.50
.480	3.08	15.80	.99233	100849	79.49	50.70
.960	3.75	15.78	.99370	100722	67.83	56.26
1.440	4.37	15.76	.99459	100611	63.48	58.34
1.920	4.93	15.75	.99520	100512	61.67	59.20
2.400	5.44	15.75	.99565	100423	60.85	59.59
2.880	5.90	15.74	.99599	100341	60.45	59.78
3.360	6.31	15.74	.99625	100265	60.25	59.87
3.840	6.68	15.73	.99646	100194	60.14	59.92
4.320	7.00	15.73	.99662	100128	60.08	59.95
4.800	7.29	15.73	.99675	100066	60.05	59.97

rea= 602.762

nu= 22.9211

k= 2

TABELA 5 - RESULTADOS OBTIDOS COM OS DADOS DA CORRIDA Nº 6 E
POROSIDADE INICIAL = 0,99 000

TEMPERATURA DO FLUIDO

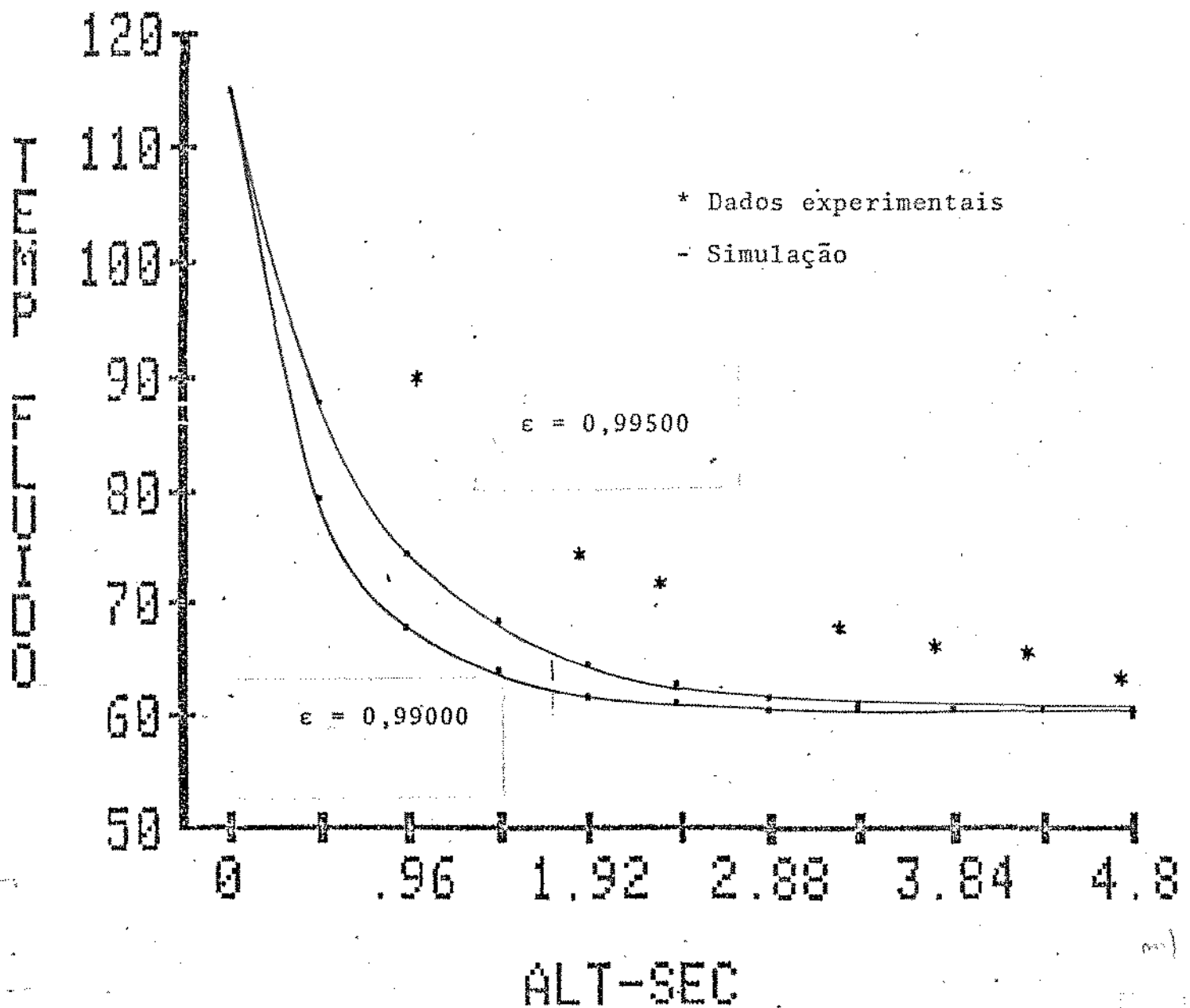


FIGURA 4 - GRÁFICO OBTIDO COM OS RESULTADOS DA CORRIDA Nº 6

***** HIDRO-TERMICA *****

DADOS INICIAIS

Densidade do solido= 2500
 Diametro da particula= .001
 Altura do secador = 4.80
 calor espec. solido = 752
 diametro do tubo = .0521
 vazao do solido = .0529
 vazao do ar = .03211
 porosidade inicial = .99500
 pressao inicial = 101000
 temp. inicial solido = 20
 temp. inicial ar = 152

Z	V.SÓLIDO	V.FLUIDO	POROSIDADE	PRESSÃO	T.FLUIDO	T.SÓLIDO
k= 2						
0.000	1.98	11.74	.99500	101000	152.00	20.00
.480	2.38	11.73	.99583	100930	106.02	58.77
.960	2.74	11.72	.99637	100870	90.49	71.85
1.440	3.05	11.72	.99675	100815	84.67	76.75
1.920	3.33	11.71	.99702	100766	82.31	78.74
2.400	3.58	11.71	.99722	100720	81.29	79.61
2.880	3.79	11.71	.99738	100677	80.82	80.00
3.360	3.98	11.71	.99750	100636	80.60	80.18
3.840	4.14	11.71	.99760	100597	80.49	80.28
4.320	4.28	11.70	.99767	100560	80.43	80.32
4.800	4.40	11.70	.99774	100524	80.41	80.35

rea= 522.453

nu= 25.0471

k= 2

TABELA 6 - RESULTADOS OBTIDOS COM OS DADOS DA CORRIDA Nº 20 E
POROSIDADE INICIAL 0,99500

***** HIDRO-TERMICA *****

DADOS INICIAIS

Densidade do solido= 2500
 Diametro da particula= .001
 Altura do secador = 4.80
 calor espec. solido = 752
 diametro do tubo = .0521
 vazao do solido = .0529
 vazao do ar = .03211
 porosidade inicial = .99800
 pressao inicial = 101000
 temp. inicial solido = 20
 temp. inicial ar = 152

Z	V.SÓLIDO	V.FLUIDO	POROSIDADE	PRESSÃO	T.FLUIDO	T.SÓLIDO
k= 2						
0.000	4.96	11.70	.99800	101000	152.00	20.00
.480	4.98	11.70	.99800	100969	121.99	45.23
.960	4.99	11.70	.99801	100940	104.59	59.87
1.440	5.01	11.70	.99801	100910	94.47	68.37
1.920	5.02	11.70	.99802	100880	88.58	73.33
2.400	5.03	11.70	.99802	100851	85.14	76.22
2.880	5.03	11.70	.99802	100821	83.13	77.91
3.360	5.04	11.70	.99802	100792	81.95	78.89
3.840	5.04	11.70	.99803	100762	81.27	79.47
4.320	5.05	11.70	.99803	100733	80.86	79.81
4.800	5.05	11.70	.99803	100703	80.63	80.01

rea= 475.513

nu= 24.9979

k= 2

TABELA 7 - RESULTADOS OBTIDOS COM OS DADOS DA CORRIDA Nº 20 E
POROSIDADE INICIAL 0,99800

TEMPERATURA DO FLUIDO

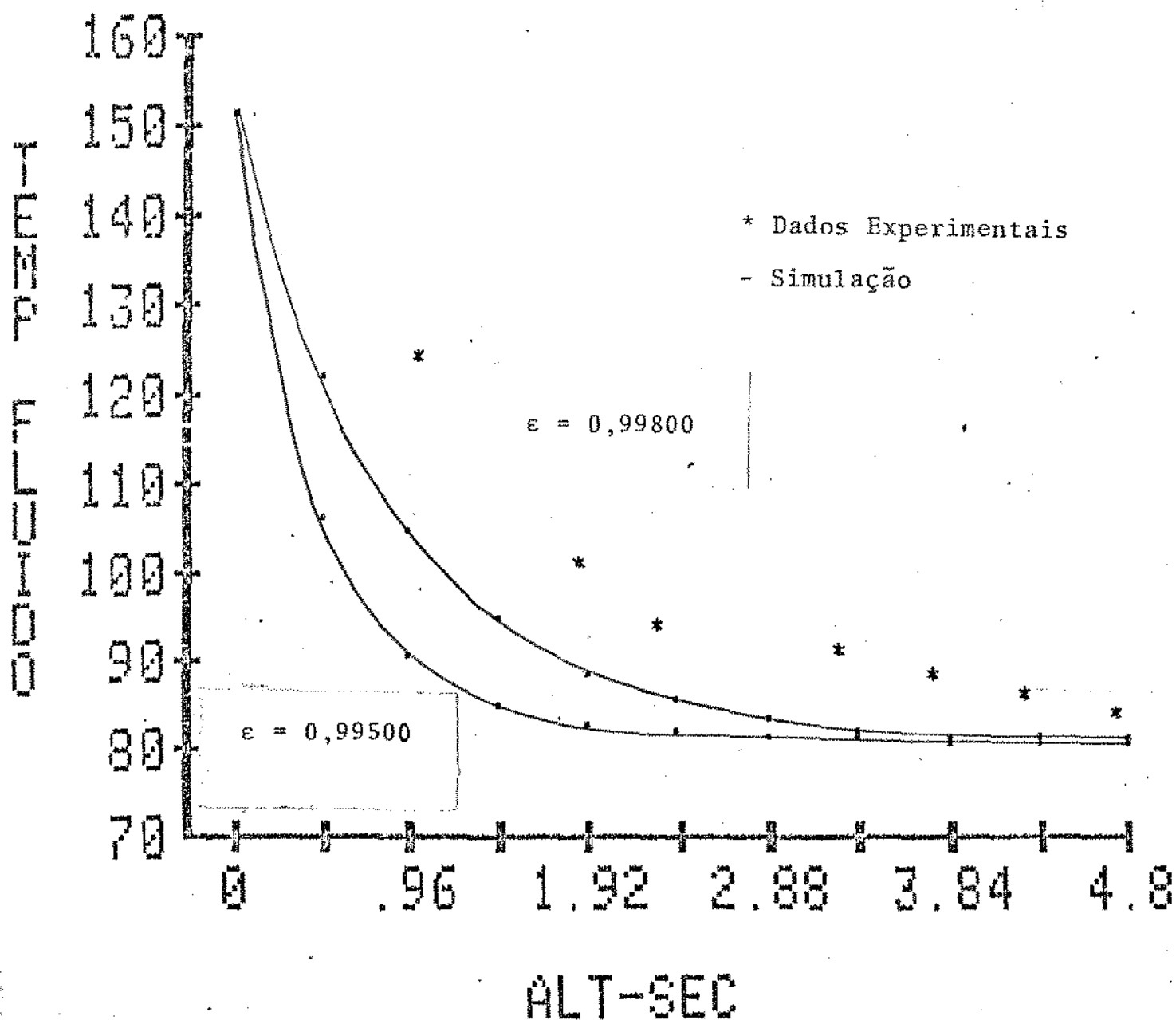


FIGURA 5 - GRÁFICO OBTIDO COM OS RESULTADOS DA CORRIDA Nº 20

***** HIDRO-TERMICA *****

DADOS INICIAIS

Densidade do solido= 2500
 Diametro da particula= .001
 Altura do secador = 4.80
 calor espec. solido = 752
 diametro do tubo = .0521
 vazao do solido = .14538
 vazao do ar = .03069
 porosidade inicial = .97000
 pressao inicial = 101000
 temp. inicial solido = 38
 temp. inicial ar = 135

Z	V.SÓLIDO	V.FLUIDO	POROSIDADE	PRESSÃO	T.FLUIDO	T.SÓLIDO
k= 2						
0.000	.91	11.51	.97000	101000	135.00	38.00
.480	1.34	11.39	.97973	100677	76.87	55.42
.960	1.76	11.34	.98453	100436	64.91	58.97
1.440	2.14	11.30	.98729	100240	61.80	59.89
1.920	2.48	11.28	.98903	100072	60.86	60.17
2.400	2.79	11.27	.99022	99924	60.53	60.27
2.880	3.05	11.26	.99107	99790	60.41	60.30
3.360	3.28	11.25	.99170	99667	60.36	60.32
3.840	3.49	11.25	.99218	99552	60.34	60.32
4.320	3.66	11.24	.99255	99445	60.34	60.33
4.800	3.81	11.24	.99284	99343	60.33	60.33

rea= 528.729

nu= 12.6096

k= 2

TABELA 8 - RESULTADOS OBTIDOS COM OS DADOS DA CORRIDA Nº 21 E
POROSIDADE INICIAL 0,97000

***** HIDRO-TERMICA *****

DADOS INICIAIS

Densidade do solido= 2500
 Diametro da particula= .001
 Altura do secador = 4.80
 calor espec. solido = 752
 diametro do tubo = .0521
 vazao do solido = .14538
 vazao do ar = .03069
 porosidade inicial = .99400
 pressao inicial = 101000
 temp. inicial solido = 38
 temp. inicial ar = 135

Z	V.SÓLIDO	V.FLUIDO	POROSIDADE	PRESSÃO	T.FLUIDO	T.SÓLIDO
k= 2						
0.000	4.54	11.23	.99400	101000	135.00	38.00
.480	4.56	11.23	.99402	100922	100.90	48.01
.960	4.57	11.23	.99403	100844	82.36	53.46
1.440	4.59	11.23	.99405	100768	72.24	56.42
1.920	4.60	11.23	.99406	100691	66.72	58.05
2.400	4.60	11.23	.99407	100614	63.69	58.94
2.880	4.61	11.23	.99408	100538	62.04	59.42
3.360	4.62	11.23	.99409	100462	61.13	59.69
3.840	4.62	11.23	.99409	100386	60.63	59.84
4.320	4.63	11.23	.99410	100310	60.35	59.92
4.800	4.63	11.23	.99410	100235	60.21	59.96

rea= 470.054

nu= 12.7491

k= 2

TABELA 9 - RESULTADOS OBTIDOS COM OS DADOS DA CORRIDA Nº 21 E
POROSIDADE INICIAL 0,99400

TEMPERATURA DO FLUIDO

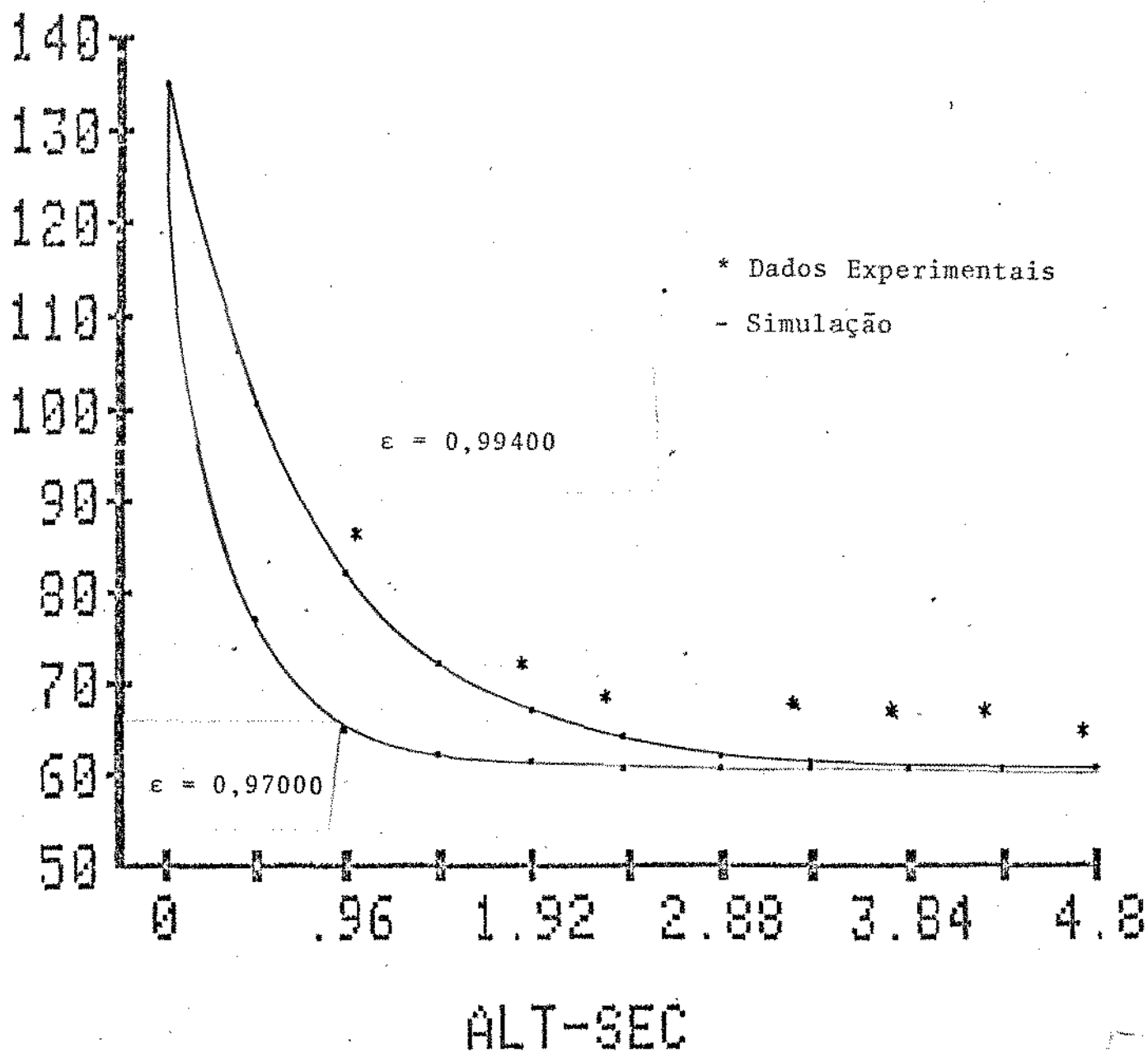


FIGURA 6 - GRÁFICO OBTIDO COM OS RESULTADOS DA CORRIDA Nº 21

CAPÍTULO 5

5.1. TRANSPORTE DE MASSA

Chega-se enfim ao modelo do secador pneumático. As equações da parte hidrodinâmica não precisam ser modificadas, mas a parte térmica sim, pois a transferência de água do sólido para o ar ocorre também devido a um gradiente de temperatura e as equações de transferência de massa e calor são então acopladas.

Antes de colocarmos essas equações, vamos então tratar do modelo que deu origem ao trabalho.

Esse modelo foi desenvolvido, por MENDES²² e leva em consideração a distribuição granulométrica do produto a secar. No nosso caso consideraremos todas as partículas de mesmo diâmetro e então para esse caso as equações do modelo de Mendes ficam, ao utilizarmos a notação do nosso trabalho.

$$\frac{dv_s}{dx} = \frac{3 \rho_f v_{fs}^2 C_{DS}}{4 \rho_s v_s d_p} - \frac{(\rho_s - \rho_f) g}{\rho_s v_s} \quad (76)$$

$$\frac{dT_s}{dx} = \frac{6 h (T_f - T_s)}{\rho_s v_s c_s d_p} + \frac{(h_{fg} - c_A T_s)}{c_s} \cdot \frac{dX}{dx} \quad (77)$$

$$\frac{dX}{dx} = \frac{-6\beta}{\rho_s v_s d_p} (P_{sat} - p) \quad (78)$$

$$\frac{dp}{dx} = - \frac{1}{2D} (A \rho_f v_f^2 + A^* \rho_s v_s^2) - \rho_s v_s \frac{dv_s}{dx} - \rho_s g. \quad (79)$$

onde : A, A*, h_{fg} , β , P_{sat} ; são :

A e A* são coeficientes da equação de pressão

h_{fg} = entalpia de vaporização do líquido

β = coeficiente análogo de transferência de massa

P_{sat} = pressão de saturação do vapor d'água

No modelo acima temos 4 equações e 4 incógnitas v_s, T_s, X, p pois nesse modelo v_f, T_f, Y são considerados constantes.

Tentou-se então generalizar esse modelo procurando um sistema de 8 equações que descrevessem todas as variáveis envolvidas, isto é; $v_s, v_f, \epsilon, p, T_s, T_f, X$ e Y .

A parte hidrodinâmica, já estava pronta. Precisavamos encontrar então 4 equações para T_s, T_f, X e Y .

Vários modelos foram testados utilizando-se dos dados experimentais obtidos num secador pneumático do Laboratório de Desenvolvimento de Processos em Sistemas Particulados da UNICAMP e que fazem parte de um trabalho experimental e desenvolvido por FARIA¹⁶.

Vamos começar por deduzir as equações de transferência de massa, que são similares àquelas do trabalho de MUJUNDAR²³.

A massa total de água num elemento de volume V é dada por :

$$\Delta M = G_s X + G_f Y \quad (80)$$

Pela conservação da massa temos que :

$$d(\Delta M) = 0 \quad (81)$$

$$d(G_s X) + d(G_f Y) = 0 \quad (82)$$

Tomando G_s e G_f constantes temos :

$$G_s dX + G_f dY = 0 \quad (83)$$

$$\frac{dY}{dx} = - \frac{G_s}{G_f} \cdot \frac{dX}{dx} \quad (84)$$

A água passará do sólido para o ar devido a um gradiente de concentração, essa transferência cessará quando o ar ficar saturado pelo vapor d'água, então a variação da quantidade de água no sólido é proporcional à diferença entre a umidade do ar saturado e o ar não saturado e a variação da quantidade de água no sólido entre $x + dx$ é dada por :

$$\frac{dX}{dx} = aK_y (Y_{sat} - Y) S \quad (85)$$

onde a é a área de contato da partícula por unidade de volume do sistema.

Tomando para o transporte de massa do sistema:

$$a = a_m = \frac{6(1-\epsilon)}{d_p} \quad (86)$$

e como já vimos anteriormente (61) que :

$$G_s = \rho_s v_s (1-\epsilon) S$$

obtemos :

$$\frac{dX}{dx} = \frac{6 G_s K_y (Y_{sat} - Y)}{\rho_s v_s d_p} \quad (87)$$

O número de SHERWOOD para transferência de massa é da
do por :

$$Sh = \frac{K_y d_p}{\rho_f D_{AB}} \quad (88)$$

onde D_{AB} é a difusividade do vapor d'água no ar e obtemos en-
tão que :

$$K_y = \frac{\rho_f D_{AB} Sh}{d_p} \quad (89)$$

A umidade de saturação do ar é dado por :

$$Y_{sat} = 0,622 \left(\frac{P_v}{P - P_v} \right) \quad (90)$$

onde p é a pressão do ar atmosférico não saturado e P_v é a pressão parcial do vapor d'água dessa mistura.

Existem correlações para o cálculo da pressão parcial do vapor. A utilizada nesse trabalho é dada pela equação de ANTOINE²³.

$$P_v = \frac{101000}{760} 10 \left(8,0714 - \frac{1733}{T + 233,84} \right) \quad (91)$$

A temperatura a ser usada nessa correlação é a temperatura do bulbo úmido pois como o tempo de residência das partículas no secador é muito pequeno (geralmente na faixa de 0,5 a 5 segundos), somente a umidade superficial das partículas pode ser eliminada, pois até que seja completada a secagem, a película de umidade superficial impede que a temperatura do sólido fique acima da temperatura de bulbo úmido.

Observa-se ainda experimentalmente que na secagem pneumática a temperatura de bulbo úmido varia muito pouco⁹ podendo considerá-la constante.

Foi então desenvolvido um programa de computador que simula parte de uma carta psicrométrica baseado nas equações publicadas por BROOKER⁸ na qual entrando com a temperatura do fluido, T_f e com a umidade do ar Y ele calcula a temperatura de bulbo úmido.

Os resultados obtidos para a temperatura de bulbo úmido concordam com os valores medidos por FARIA¹⁶.

Para o número de SHERWOOD utilizamos :

$$Sh = 2 + 0,65 \text{Rey}_s^{0,5} \cdot S_c^{0,33} \quad (92)$$

onde S_c é o número de SCHMIDT e dado por :

$$S_c = \frac{\mu_f}{\rho_f D_{AB}} \quad (93)$$

Então as equações (84) e (87) descrevem a transferência de água entre o sólido e o ar.

Vamos agora às equações que descrevem a transferência de calor entre o sólido e o fluido, isto é as equações para T_f e T_s .

Vamos então utilizar as equações deduzidas por BROOKER e alii³ e repetiremos aqui sua dedução .

Consideremos um elemento de volume $S \cdot dx$ do tubo de secagem. Então para a entalpia do fluido obtemos que a energia na forma de calor transferido por convecção é igual a diferença entre a entalpia que entra e a que sai do elemento de volume ($S \cdot dx$), mais a variação de entalpia do fluido no tempo.

A entalpia do fluido entrando em $S \cdot dx$ num tempo dt é:

$$(e \rho_f v_f c_f + e \rho_f v_f Y_{c,v}) S T_f dt dx \quad (94)$$

A entalpia do fluido saindo de $S \cdot dx$ num tempo dt é:

$$\left(\epsilon \rho_f v_f c_f + \epsilon \rho_f v_f Y c_v \right) \left(T_f + \frac{\partial T_f}{\partial x} dx \right) \cdot S dt \quad (95)$$

A variação de entalpia é a diferença entre as equações acima :

$$\left(\epsilon \rho_f v_f c_f + \epsilon \rho_f v_f \cdot Y c_v \right) \frac{\partial T_f}{\partial x} dx S dt \quad (96)$$

Como o fluido move-se entre as partículas, existe a troca de calor devido à convecção. A mudança no calor sensível do ar no tempo dt que resulta dessa transferência de calor é igual a :

$$q = ha (T_f - T_s) S dx dt \quad (97)$$

Então obtemos das equações acima, considerando o regime estacionário que:

$$\frac{dT_f}{dx} = \frac{-ha}{\rho_f v_f \epsilon (c_f + Y c_v)} (T_f - T_s) \quad (98)$$

Para a entalpia do sólido temos que a energia transferida por convecção do ar para o sólido é igual a soma das entalpias requeridas para o aquecimento das partículas, para a evaporação da água e para o aquecimento do vapor d'água. Então num tempo t a entalpia do sólido no elemento de volume e :

$$S dx \left[(1-\epsilon) \rho_s c_s + (1-\epsilon) \rho_s c_{A,X} \right] T_s \quad (99)$$

Num tempo $t + dt$ a entalpia é :

$$S dx \left[(1-\epsilon) \rho_s c_s + (1-\epsilon) \rho_s c_{A,X} \right] \left(T_s + \frac{\partial T_s}{\partial t} dt \right) \quad (100)$$

A quantidade de umidade evaporada num tempo dt é igual a mudança na razão de umidade do ar que passa através do elemento de volume :

$$\rho_f v_f \epsilon S \frac{\partial Y}{\partial x} dx dt \quad (101)$$

A entalpia necessária para a evaporação num tempo dt é :

$$S h_{fg} \rho_f v_f \epsilon \frac{\partial Y}{\partial x} dx dt \quad (102)$$

A entalpia para o aquecimento do vapor d'água que evaporou-se das partículas, que estão a temperatura T_s para o ar que está a T_f num tempo dt é :

$$c_v (T_f - T_s) G_f \frac{\partial Y}{\partial x} dx dt \quad (103)$$

O balanço de entalpia para o sólido resulta em :

$$\frac{\partial T_s}{\partial t} = \frac{ha}{(1-\epsilon) \rho_s (c_s + c_A X)} (T_f - T_s) - \frac{(h_{fg} + c_v (T_f - T_s))}{(1-\epsilon) \rho_s (c_s + c_A X)} G_f \frac{\partial Y}{\partial x} \quad (104)$$

Para o caso em que T_s seja constante no tempo obtemos :

$$\frac{dT_s}{dx} = \frac{ha (T_f - T_s)}{(1-\epsilon) \rho_s v_s (c_s + c_A X)} - \frac{(h_{fs} + c_v (T_f - T_s)) \rho_f v_f \epsilon}{(1-\epsilon) \rho_s v_s (c_s + c_A X)} \frac{dY}{dx} \quad (105)$$

onde :

$$Nu = 0,00114 \cdot Re_{s,0.8159} \cdot \beta_v^{-0.5984} \quad (Kacsmanzyk^{17}) \quad (106)$$

e :

$$a = a_T = \frac{6(1-\epsilon)}{d_p v_f} v_s \quad (\text{Andrieu e Bressat}^2) \quad (107)$$

Chegamos enfim as 8 equações que procuram simular um secador pneumático que são :

$$1^a : \frac{d}{dx} (\rho_f \epsilon v_f) = 0$$

$$2^a : \frac{d}{dx} \left[(1-\epsilon) \rho_s v_s \right] = 0$$

$$3^a : (1-\epsilon)\rho_s v_s \frac{dv_s}{dx} + \epsilon \rho_f v_f \frac{dv_f}{dx} = - \frac{dp}{dx} + [(1-\epsilon)\rho_s + \epsilon \rho_f]g$$

$$4^a : \frac{1}{2} \frac{d}{dx} v_{fs}^2 = \frac{f_s}{\rho_s} - g$$

$$5^a : \frac{dX}{dx} = - \frac{6 G_s}{\rho_s v_s d_p} K_y (Y_{sat} - Y)$$

$$6^a : \frac{dY}{dx} = - \frac{G_s}{G_f} \frac{dX}{dx}$$

$$7^a : \frac{dT_f}{dx} = \frac{-ha (T_f - T_s)}{\rho_f v_f \epsilon (c_f + c_v Y)}$$

$$8^a : \frac{dT_s}{dx} = \frac{ha (T_f - T_s)}{(1-\epsilon)\rho_s v_s (c_s + c_A X)} - \frac{(h_{fg} + c_v (T_f - T_s))}{(1-\epsilon)\rho_s v_s (c_s + c_A X)} \rho_f v_f \epsilon \frac{dY}{dx}$$

Essas equações com seus valores iniciais foram resolvidas pelo método de RUNGE-KUTTA de 4ª ordem e os gráficos foram feitos por computador (Apple II +) e os resultados serão discutidos no próximo Capítulo.

CAPÍTULO 6.

6.1. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Foram calculados nesse trabalho, os perfis longitudinais das variáveis v_s , v_f , ϵ , p , T_f , T_s , X e Y para partículas de areia com diâmetros médios de 0,46 mm e 0,55 mm e para esferas de vidro com diâmetro médio de 0,24 mm, baseados num modelo matemático num total de 7 conjuntos de valores experimentais na entrada do secador, realizado por FARIA¹⁶.

O programa desenvolvido para solucionar o sistema de equações proposto para a modelagem matemática do secador, está no Apêndice B.

Foram feitas várias suposições para simplificar o modelo a fim de que este pudesse ser calculado em um microcomputador num intervalo de tempo não muito longo. O número de iterações no cálculo do modelo foi de 200.

As principais hipóteses e restrições do modelo são:

- a densidade, calor específico, viscosidade e condutividade térmica do fluido são consideradas constantes ao longo do tubo do secador;
- todos os efeitos da irradiação de calor são considerados desprezíveis ;
- a temperatura de bulbo úmido por variar muito pouco é considerada constante ao longo do tubo, assim como a umidade de saturação.

- as partículas são consideradas tendo uma condutividade térmica alta, e então podemos desprezar o gradiente de temperatura em seu interior;
- as partículas são consideradas como esferas.

São apresentadas então nas tabelas 10, 11 e 12 os dados experimentais de FARIA¹⁶ e a seguir nas tabelas 13 a 27 e nas figuras 7 a 37 os resultados obtidos juntamente com os dados experimentais.

Os resultados experimentais obtidos por FARIA¹⁶, são obtidos em sua maioria apenas para um comprimento até a metade do secador e somente alguns parâmetros foram determinados, não sendo possível a verificação experimental de dados tais como , a velocidade do sólido, a velocidade do fluido e a porosidade.

Nas figuras 7 a 11 foram calculados os perfis de todas as variáveis envolvidas, v_s e v_f na figura 9, a variação de ϵ na figura 7, variação de pressão na figura 8 para : $\epsilon = 0,990$, variação da umidade do sólido na figura 10 e variação da umidade do fluido na figura 11 para dois valores da porosidade.

Tabela 10 - Resultados Experimentais do Secador Pneumático

Unidades : W_s (Kg sólido seco/s), W_g (Kg ar seco/s), W_{sg} ($=W_s/W_g$, adimensional),
 t_g ($^{\circ}$ C), t_s ($^{\circ}$ C), Y (Kg H_2O /Kg ar seco), X (Kg H_2O /Kg sólido seco)

Esferas de vidro (AB) - $d_p = 0,24$ mm

Posição	Z(m)	Entrada	0,70	1,20	1,70	2,20	Saída
Medidas	n ^o	1	2	3	4	5	-
Corrida 1	t_g	142	120,7	112,7	109,4	101,7	
$W_s=0,01211$	t_s	23,9					72,1
$W_g=0,03385$	Y	0,0247	0,0257	0,0258	0,0260	0,0260	
$W_{sg}=0,358$	X	0,0025					$0,353 \times 10^{-3}$
Corrida 2	t_g	141,8	117,6	105,5	102,8	99,8	
$W_s=0,00652$	t_s	23,8					75,9
$W_g=0,03385$	Y	0,0370	0,0381	0,0384	0,0386	0,0391	
$W_{sg}=0,193$	X	0,0055					$0,289 \times 10^{-3}$
Corrida 3	t_g	141,2	115,0	100,4	96,8	94,8	
$W_s=0,00652$	t_s	23,0					92,9
$W_g=0,03385$	Y	0,0395	0,0405	0,0409	0,0412	0,0412	
$W_{sg}=0,193$	X	0,0069					$0,162 \times 10^{-3}$
Corrida 4	t_g	150,0	124,0	114,2	108,5	107,9	
$W_s=0,00758$	t_s	25,9					84,4
$W_g=0,03419$	Y	0,0279	0,0281	0,0284	0,0285	0,0286	
$W_{sg}=0,216$	X	0,0045					$0,366 \times 10^{-3}$
Corrida 5	t_g	149,2	122,8	113,8	107,2	103,6	
$W_s=0,00946$	t_s	24,7					96,1
$W_g=0,03419$	Y	0,0387	0,0398	0,0400	0,0410	0,0430	
$W_{sg}=0,277$	X	0,0046					$0,527 \times 10^{-3}$
Corrida 6	t_g	150,0	121,7	111,5	104,1	101,3	
$W_s=0,01453$	t_s	24,4					90,5
$W_g=0,03419$	Y	0,0501	0,0518	0,0522	0,0523	0,0523	
$W_{sg}=0,425$	X	0,0046					$0,137 \times 10^{-3}$
Corrida 7	t_g	93,1	83,0	78,1	71,6	69,1	
$W_s=0,00893$	t_s	23,9					60,9
$W_g=0,03647$	Y	0,0270	0,0276	0,0278	0,0280	0,0281	
$W_{sg}=0,245$	X	0,0038					$0,636 \times 10^{-3}$

Continuação da Tabela 10

Corrida 8	t_g	140,3	113,6	109,2	99,1	98,5	
$W_s=0,01064$	t_s	24,7					85,9
$W_g=0,03586$	Y	0,0352	0,0368	0,0372	0,0382	0,0384	
$W_{sg}=0,297$	X	0,0038					$0,290 \times 10^{-3}$
Corrida 9	t_g	213,8	144,4	131,8	112,3	108,1	
$W_s=0,00818$	t_s	24,4					92,6
$W_g=0,03619$	Y	0,0364	0,0382	0,0384	0,0385	0,0390	
$W_{sg}=0,226$	X	0,0038					$0,127 \times 10^{-3}$
Corrida 10	t_g	162,4	135,3	125,0	116,7	112,9	
$W_s=0,00842$	t_s	26,1					78,9
$W_g=0,04484$	Y	0,0242	0,0252	0,054	0,0255	0,0256	
$W_{sg}=0,188$	X	0,0044					$0,638 \times 10^{-3}$
Corrida 11	t_g	160,9	125,0	116,9	106,6	104,1	
$W_s=0,00503$	t_s	24,2					88,9
$W_g=0,03487$	Y	0,0229	0,0235	0,0236	0,0238	0,0240	
$W_{sg}=0,144$	X	0,0035					$0,556 \times 10^{-3}$
Corrida 12	t_g	163,2	125,2	112,7	102,3	101,1	
$W_s=0,01162$	t_s	24,5					81,9
$W_g=0,02080$	Y	0,0484	0,0509	0,0510	0,0511	0,0512	
$W_{sg}=0,550$	X	0,0040					$6,400 \times 10^{-3}$

Continuação da Tabela 10

Areia - $d_p = 0,55$ mm

Posição	Z(m)	Entrada	0,70	1,20	1,70	2,20	Saída
Medidas	nº	1	2	3	4	5	
Corrida 13	t_g	93,7	79,5	65,1	64,4	63,7	
$W_s = 0,00820$	t_s	26,8					57,5
$W_g = 0,03244$	Y	0,0474	0,0486	0,0487	0,0488	0,0490	
$W_{sg} = 0,253$	X	0,0065					$0,386 \times 10^{-3}$
Corrida 14	t_g	204,5	175,6	146,4	125,2	117,6	
$W_s = 0,00820$	t_s	23,4					92,4
$W_g = 0,03244$	Y	0,0488	0,0510	0,0511	0,0513	0,0513	
$W_{sg} = 0,253$	X	0,0065					0
Corrida 15	t_g	144,0	125,7	107,5	96,8	93,7	
$W_s = 0,00436$	t_s	23,9					60,5
$W_g = 0,03244$	Y	0,0289	0,0301	0,0306	0,0308	0,0310	
$W_{sg} = 0,134$	X	0,0073					$0,110 \times 10^{-3}$
Corrida 16	t_g	145,6	119,2	101,3	93,3	89,6	
$W_s = 0,01300$	t_s	25,7					78,1
$W_g = 0,03244$	Y	0,0520	0,0542	0,0544	0,0547	0,0550	
$W_{sg} = 0,401$	X	0,0073					0
Corrida 17	t_g	156,5	133,6	116,1	111,7	111,0	
$W_s = 0,00656$	t_s	25,4					69,7
$W_g = 0,03058$	Y	0,0537	0,0555	0,0557	0,0561	0,0563	
$W_{sg} = 0,281$	X	0,0078					$0,116 \times 10^{-3}$
Corrida 18	t_g	157,3	136,5	127,5	117,8	116,2	
$W_s = 0,00858$	t_s	24,7					83,7
$W_g = 0,04536$	Y	0,0470	0,0479	0,0481	0,0484	0,0486	
$W_{sg} = 0,189$	X	0,0078					$0,186 \times 10^{-3}$
Corrida 19	t_g	157,3	130,2	121,9	115,3	111,7	
$W_s = 0,00614$	t_s	24,9					72,3
$W_g = 0,03462$	Y	0,0399	0,0415	0,0417	0,0419	0,0420	
$W_{sg} = 0,177$	X	0,0074					$0,390 \times 10^{-3}$

Continuação da Tabela 10.

10

Corrida 20	t_g	156,1	127,9	119,2	114,0	108,9	
$W_s=0,00614$	t_s	25,1					76,1
$W_g=0,03462$	Y	0,0674	0,0692	0,0698	0,0705	0,0710	
$W_{sg}=0,177$	X	0,0193					$0,280 \times 10^{-3}$
Corrida 31	t_g	150,1	123,4	115,7	108,7	106,4	
$W_s=0,00644$	t_s	24,9					77,5
$W_g=0,03913$	Y	0,0299	0,0310	0,0313	0,0315	0,0316	
$W_{sg}=0,165$	X	0,0059					$0,264 \times 10^{-3}$

Continuação da Tabela 10

Areia - $d_p = 0,46$ mm

Posição	Z(m)	Entrada	0,70	1,20	1,70	2,20	Saída
Medidas	nº	1	2	3	4	5	
Corrida 21	t_g	95,5	76,3	69,6	60,5	56,6	
$W_s=0,01032$	t_s	24,3					50,3
$W_g=0,03280$	Y	0,0482	0,0492	0,0496	0,0498	0,0501	
$W_{sg}=0,315$	X	0,0055					0
Corrida 22	t_g	146,7	112,1	100,6	85,4	84,3	
$W_s=0,00635$	t_s	25,9					67,1
$W_g=0,03280$	Y	0,0330	0,0338	0,0339	0,0341	0,0343	
$W_{sg}=0,194$	X	0,005					$0,163 \times 10^{-3}$
Corrida 23	t_g	208,2	155,1	141,4	119,2	115,0	
$W_s=0,00635$	t_s	25,7					82,3
$W_g=0,03280$	Y	0,0341	0,0357	0,0358	0,0360	0,0363	
$W_{sg}=0,194$	X	0,0055					0
Corrida 24	t_g	149,1	124,6	119,2	113,8	113,4	
$W_s=0,00638$	t_s	25,9					75,4
$W_g=0,04046$	Y	0,0544	0,0557	0,0559	0,0561	0,0562	
$W_{sg}=0,158$	X	0,0087					$0,161 \times 10^{-5}$
Corrida 25	t_g	148,7	113,7	111,3	98,5	94,2	
$W_s=0,00855$	t_s	24,8					84,3
$W_g=0,04046$	Y	0,0559	0,0569	0,0575	0,0578	0,0580	
$W_{sg}=0,211$	X	0,0087					0
Corrida 26	t_g	148,9	116,5	110,2	97,6	92,4	
$W_s=0,01093$	t_s	24,9					81,2
$W_g=0,04046$	Y	0,0586	0,0596	0,0599	0,0604	0,0611	
$W_{sg}=0,270$	X	0,0087					0
Corrida 27	t_g	150,2	114,8	103,0	98,7	94,2	
$W_s=0,00527$	t_s	25,1					60,7
$W_g=0,03504$	Y	0,0375	0,0388	0,0389	0,0411	0,0417	
$W_{sg}=0,150$	X	0,0078					$0,124 \times 10^{-3}$

Continuação da Tabela 10

Corrida 28	t_g	150,0	124,6	121,5	108,7	107,5	
$W_s=0,00527$	t_s	24,5					80,8
$W_g=0,04562$	Y	0,0348	0,0355	0,0358	0,0360	0,0363	
$W_{sg}=0,116$	X	0,0078					0
Corrida 29	t_g	149,2	119,0	105,3	96,5	93,6	
$W_s=0,00317$	t_s	25,9					68,2
$W_g=0,03280$	Y	0,0458	0,0472	0,0479	0,0481	0,0483	
$W_{sg}=0,097$	X	0,0164					0
Corrida 30	t_g	148,0	120,7	116,5	106,4	104,3	
$W_s=0,00530$	t_s	25,7					74,1
$W_g=0,03280$	Y	0,0234	0,0244	0,0246	0,0247	0,0249	
$W_{sg}=0,162$	X	0,0049					$0,143 \times 10^{-3}$
Corrida 32	t_g	150,0	124,0	122,8	113,8	112,3	
$W_s=0,00755$	t_s	25,0					82,4
$W_g=0,03943$	Y	0,0366	0,0378	0,0382	0,0383	0,0387	
$W_{sg}=0,191$	X	0,0058					$0,135 \times 10^{-3}$

Tabela 11 - TEMPERATURA DE BULBO ÚMIDO EXPERIMENTAL E
CALCULADA PARA AS CORRIDAS 5,6,8,16,21,26,32

CORRIDA	$T_{BU_{Exp}}$ ($^{\circ}C$)	$T_{BU_{Cal.}}$ ($^{\circ}C$)
5	48,2	47,78
6	50,5	50,31
8	46,7	46,21
16	50,5	50,38
21	45,3	45,53
26	51,9	51,88
32	48,0	47,35

Tabela 12 - Distribuição de Pressões no Tubo de Secagem

		Pressões (kPa)					
Posição	Z (m)	0,92	1,42	1,92	2,42	2,92	3,42
Medidas	nº	1	2	3	4	5	6
Corridas	1	95,588	95,549	95,471	95,432	95,344	95,305
	2	95,588	95,549	95,471	95,432	95,344	95,305
	3	95,588	95,549	95,480	95,441	95,363	95,314
	4	95,588	95,549	95,471	95,432	95,354	95,305
	5	95,588	95,549	95,480	95,441	95,353	95,304
	6	95,588	95,549	95,471	95,432	95,344	95,305
	7	95,367	95,318	95,220	95,181	95,013	95,054
	8	95,367	95,338	95,269	95,230	95,142	95,093
	9	95,367	95,328	95,240	95,201	95,103	95,044
	10	95,980	95,931	95,804	95,745	95,608	95,598
	11	95,588	95,549	95,480	95,441	95,353	95,343
	12	95,245	95,206	95,157	95,128	95,089	95,079
	13	95,490	95,451	95,392	95,363	95,285	95,246
	14	95,490	95,461	95,412	95,383	95,314	95,255
	15	95,392	95,363	95,304	95,275	95,206	95,157
	16	95,490	95,461	95,412	95,392	95,323	95,284
	17	95,490	95,470	95,431	95,411	95,342	95,303
	18	95,882	95,843	95,823	95,784	95,755	95,667
	19	95,490	95,461	95,392	95,363	95,285	95,226
	20	95,490	95,461	95,412	95,383	95,324	95,275
	21	95,490	95,470	95,411	95,382	95,313	95,274
	22	95,490	95,470	95,392	95,372	95,294	95,255
	23	95,490	95,470	95,401	95,372	95,294	95,245
	24	95,637	95,608	95,539	95,510	95,422	95,363
	25	95,735	95,696	95,598	95,559	95,432	95,383
	26	95,735	95,686	95,598	95,559	95,451	95,412
	27	95,441	95,421	95,362	95,333	95,264	95,225
	28	95,833	95,804	95,706	95,667	95,530	95,461
	29	95,392	95,372	95,323	95,303	95,234	95,195
	30	95,441	95,421	95,372	95,352	95,283	95,234
	31	95,637	95,608	95,520	95,491	95,393	95,364
	32	95,637	95,608	95,520	95,491	95,383	95,334

C05999

CORRIDA NUM=5

DADOS NO SISTEMA M.K.S

DENSIDADE SOLIDO=2500
 DIAMETRO SOLIDO=2.4E-04
 ALTURA SECADOR=4
 CALOR ESP.SOLIDO=754
 DIAMETRO TUBO =.0525
 VAZAO DO SOLIDO=9.46E-03
 VAZAO DO AR =.03419
 POROSIDADE INIC.=.99000
 PRESSAO INICIAL = 95600
 TEMP INICIAL AR =149.2
 TEMP INICIAL SOL=24.7
 UMIDADE INIC. AR=.0387
 UMIDADE INIC SOL=4.6E-03

TEMP. BULBO UMIDA=47.78
 YE=.081

Z	V.SOL	V.AR	POROS.	PRES.	T.AR	T.SOL	X.SOL	Y.AR
0.0	1.75	12.26	0.99900	95600	149.20	24.70	4.60	38.70
0.4	6.17	12.25	0.99972	95571	142.06	59.08	3.75	38.94
0.8	8.89	12.25	0.99980	95552	137.60	81.38	3.42	39.03
1.2	10.13	12.25	0.99983	95540	135.27	92.92	3.20	39.09
1.6	10.46	12.25	0.99983	95531	133.81	99.99	3.01	39.14
2.0	10.52	12.25	0.99983	95524	132.70	105.22	2.84	39.19
2.4	10.53	12.25	0.99983	95518	131.81	109.33	2.66	39.24
2.8	10.53	12.25	0.99983	95511	131.08	112.59	2.48	39.29
3.2	10.53	12.25	0.99983	95504	130.48	115.19	2.31	39.33
3.6	10.53	12.25	0.99983	95498	129.98	117.25	2.13	39.38
4.0	10.53	12.25	0.99983	95491	129.57	118.88	1.96	39.43

Tabela 13 - RESULTADOS OBTIDOS COM DADOS DA CORRIDA Nº 5 EPOROSIDADE INICIAL 0,99000

C0599

CORRIDA NUM=5

DADOS NO SISTEMA M.K.S

DENSIDADE SOLIDO=2500
 DIAMETRO SOLIDO=2.4E-04
 ALTURA SECADOR=4
 CALOR ESP.SOLIDO=754
 DIAMETRO TUBO =.0525
 VAZAO DO SOLIDO=9.46E-03
 VAZAO DO AR =.03419
 POROSIDADE INIC.=.99000
 PRESSAO INICIAL = 95600
 TEMP INICIAL AR =149.2
 TEMP INICIAL SOL=24.7
 UMIDADE INIC. AR=.0387
 UMIDADE INIC SOL=4.6E-03

TEMP. BULBO UMIDA=47.7B
 YE=.081

Z	V.SOL	V.AR	POROS.	PRES.	T.AR	T.SOL	X.SOL	Y.AR
0.0	0.17	12.37	0.99000	95600	149.20	24.70	4.60	38.70
0.4	5.04	12.25	0.99965	95564	142.71	50.33	2.32	39.33
0.8	8.25	12.25	0.99979	95542	137.44	76.52	1.92	39.44
1.2	9.89	12.25	0.99982	95527	134.69	90.12	1.68	39.51
1.6	10.41	12.25	0.99983	95518	133.08	97.90	1.49	39.56
2.0	10.51	12.25	0.99983	95511	131.92	103.42	1.32	39.61
2.4	10.53	12.25	0.99983	95504	130.99	107.72	1.14	39.66
2.8	10.53	12.25	0.99983	95498	130.24	111.13	0.97	39.71
3.2	10.53	12.25	0.99983	95491	129.61	113.84	0.79	39.75
3.6	10.53	12.25	0.99983	95484	129.10	115.98	0.62	39.80
4.0	10.53	12.25	0.99983	95478	128.67	117.69	0.45	39.85

Tabela 14 - RESULTADOS OBTIDOS COM DADOS DA CORRIDA 5 EPOROSIDADE INICIAL 0,99000

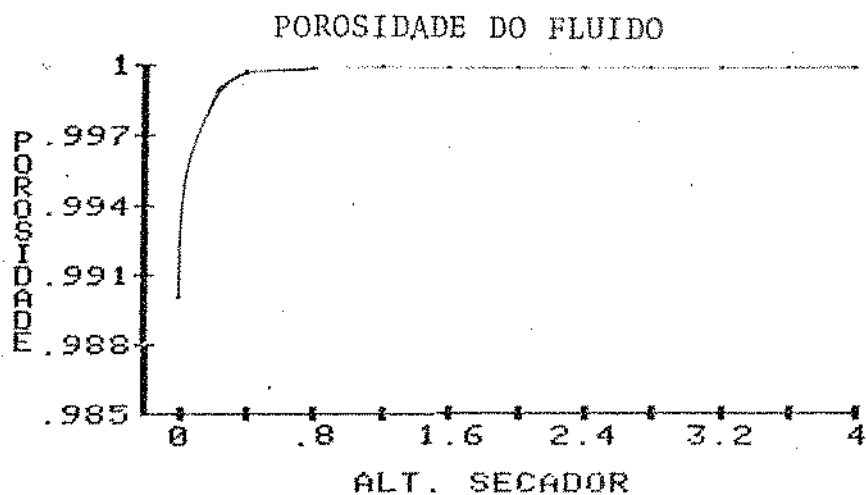


Figura 7 - GRÁFICO OBTIDO PARA A POROSIDADE COM DADOS DA TABELA 14 COM POROSIDADE INICIAL 0,99000

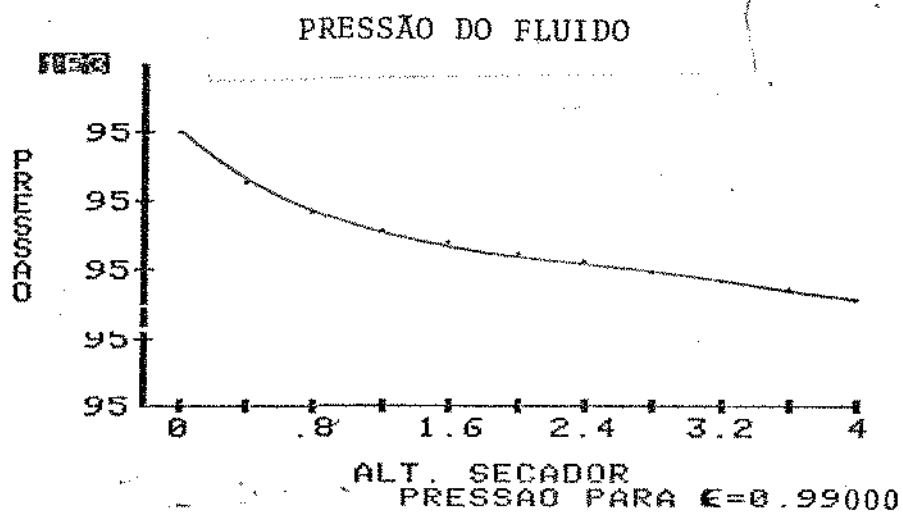


Figura 8 - GRÁFICO OBTIDO PARA A VARIAÇÃO DE PRESSÃO COM DADOS DA TABELA 14

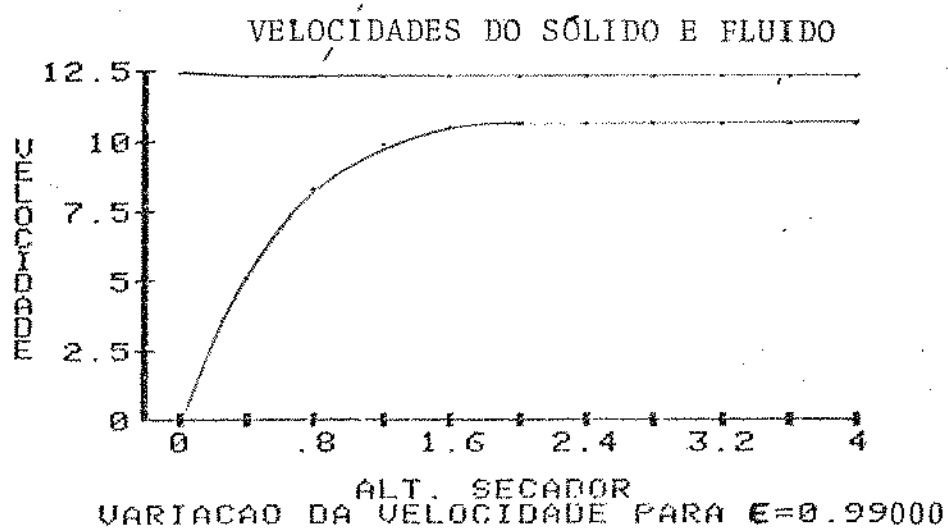


Figura 9 - GRÁFICO OBTIDO PARA A VELOCIDADE DO SÓLIDO E FLUIDO COM DADOS DA TABELA 14

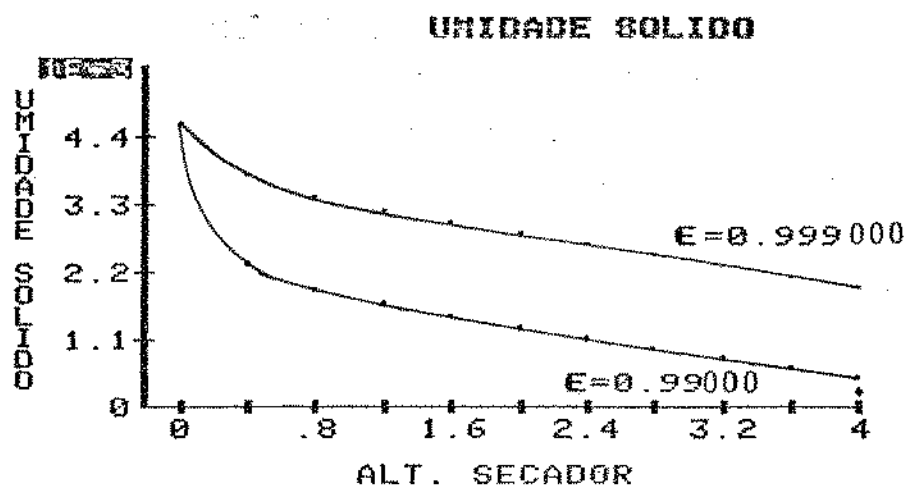


Figura 10 - GRÁFICO OBTIDO COM DADOS DAS TABELAS 13 E 14

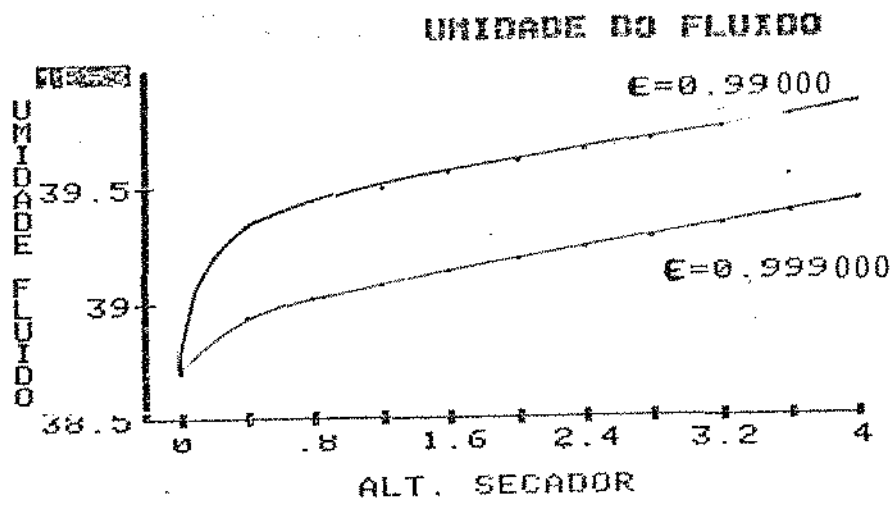


Figura 11 - GRÁFICO OBTIDO COM DADOS DAS TABELAS 13 E 14

CO699

CORRIDA NUM=6

DADOS NO SISTEMA M.K.S

DENSIDADE SOLIDO=2500
 DIAMETRO SOLIDO=2.4E-04
 ALTURA SECADOR=4
 CALOR ESP.SOLIDO=754
 DIAMETRO TUBO =.0525
 VAZAO DO SOLIDO=.01453
 VAZAO DO AR =.03419
 POROSIDADE INIC.=.99000
 PRESSAO INICIAL = 95600
 TEMP INICIAL AR =150
 TEMP INICIAL SOL=24.4
 UMIDADE INIC. AR=.0501
 UMIDADE INIC SOL=4.6E-03

TEMP. BULBO UMIDA=50.31
 YE=.094

Z	V.SOL	V.AR	POROS.	PRES.	T.AR	T.SOL	X.SOL	Y.AR
0.0	0.27	12.37	0.99000	95600	150.00	24.40	4.60	50.10
0.4	5.11	12.26	0.99947	95549	141.97	41.60	1.52	51.41
0.8	8.30	12.25	0.99968	95518	135.11	63.67	0.92	51.67
1.2	9.91	12.25	0.99973	95499	131.29	75.92	0.55	51.82
1.6	10.42	12.25	0.99974	95488	128.94	83.26	0.26	51.94
2.0	10.52	12.25	0.99974	95480	127.16	88.66	0.00	52.06
2.4	10.53	12.25	0.99974	95472	125.68	93.01	0.00	52.06
2.8	10.53	12.25	0.99974	95465	124.43	96.56	0.00	52.06
3.2	10.53	12.25	0.99974	95457	123.36	99.47	0.00	52.06
3.6	10.53	12.25	0.99974	95450	122.44	101.84	0.00	52.06
4.0	10.53	12.25	0.99974	95442	121.64	103.78	0.00	52.06

Tabela 15 - RESULTADOS OBTIDOS COM DADOS DA CORRIDA Nº 6 E

POROSIDADE INICIAL 0,99000

C06999

CORRIDA NUM=6

DADOS NO SISTEMA M.K.S

DENSIDADE SOLIDO=2500
 DIAMETRO SOLIDO=2.4E-04
 ALTURA SECADOR=4
 CALOR ESP. SOLIDO=754
 DIAMETRO TUBO =.0525
 VAZAO DO SOLIDO=.01453
 VAZAO DO AR =.03419
 POROSIDADE INIC.=.99900
 PRESSAO INICIAL = 95600
 TEMP INICIAL AR =150
 TEMP INICIAL SOL=24.4
 UMIDADE INIC. AR=.0501
 UMIDADE INIC SOL=4.6E-03

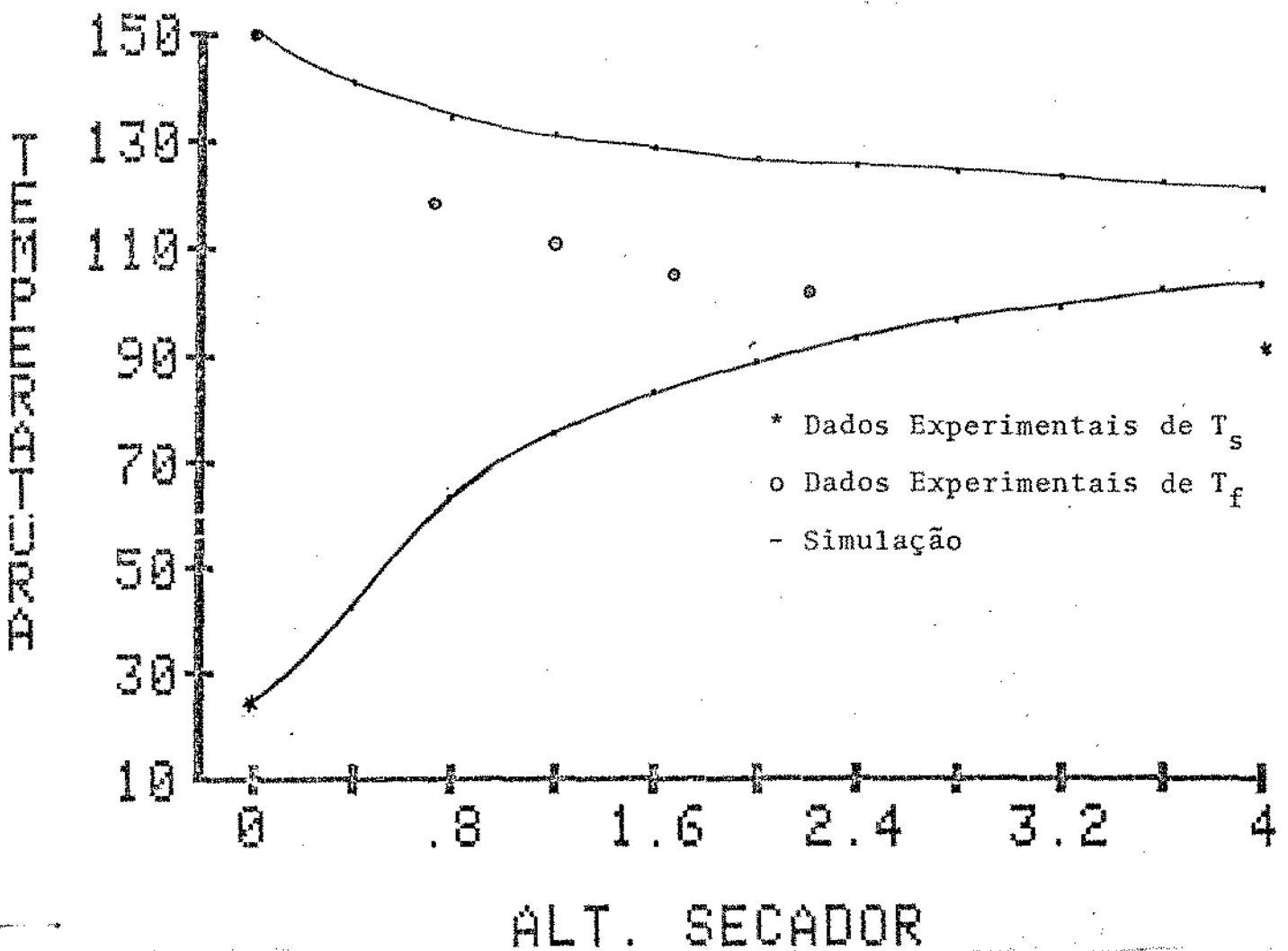
TEMP. BULBO UMIDA=50.31
 YE=.094

Z	V. SOL	V. AR	POROS.	PRES.	T. AR	T. SOL	X. SOL	Y. AR
0.0	2.69	12.26	0.99900	95600	150.00	24.40	4.60	50.10
0.4	6.79	12.25	0.99960	95562	141.08	51.81	3.57	50.54
0.8	9.22	12.25	0.99971	95537	135.55	69.53	3.10	50.74
1.2	10.24	12.25	0.99974	95523	132.42	79.36	2.77	50.88
1.6	10.48	12.25	0.99974	95513	130.29	85.88	2.49	51.00
2.0	10.53	12.25	0.99974	95505	128.58	90.98	2.21	51.11
2.4	10.53	12.25	0.99974	95498	127.13	95.14	1.94	51.23
2.8	10.53	12.25	0.99975	95490	125.90	98.55	1.66	51.35
3.2	10.53	12.25	0.99975	95483	124.85	101.36	1.39	51.46
3.6	10.53	12.25	0.99975	95475	123.95	103.66	1.12	51.58
4.0	10.53	12.25	0.99975	95468	123.16	105.54	0.85	51.69

Tabela 16 - RESULTADOS OBTIDOS COM DADOS DA CORRIDA Nº 16 E

POROSIDADE INICIAL 0,99900

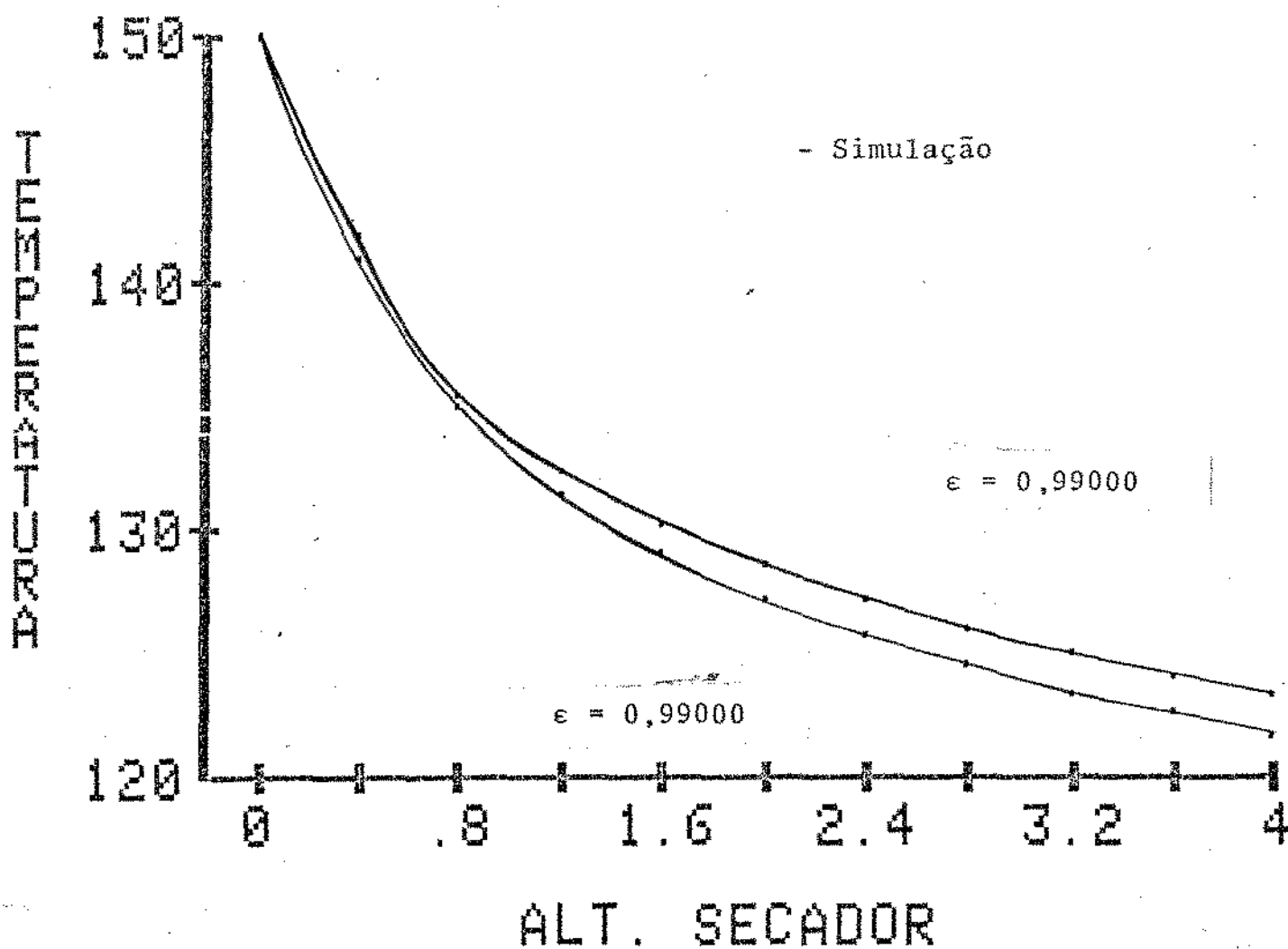
TEMPERATURA DO SÓLIDO E FLUIDO



Temperatura do sólido e fluido para $\epsilon=0,99000$

Figura 12 - GRÁFICO OBTIDO COM RESULTADOS DA TABELA Nº 15

TEMPERATURA DO FLUIDO

Figura 13 - GRÁFICO OBTIDO COM RESULTADOS DAS TABELAS 15 E 16

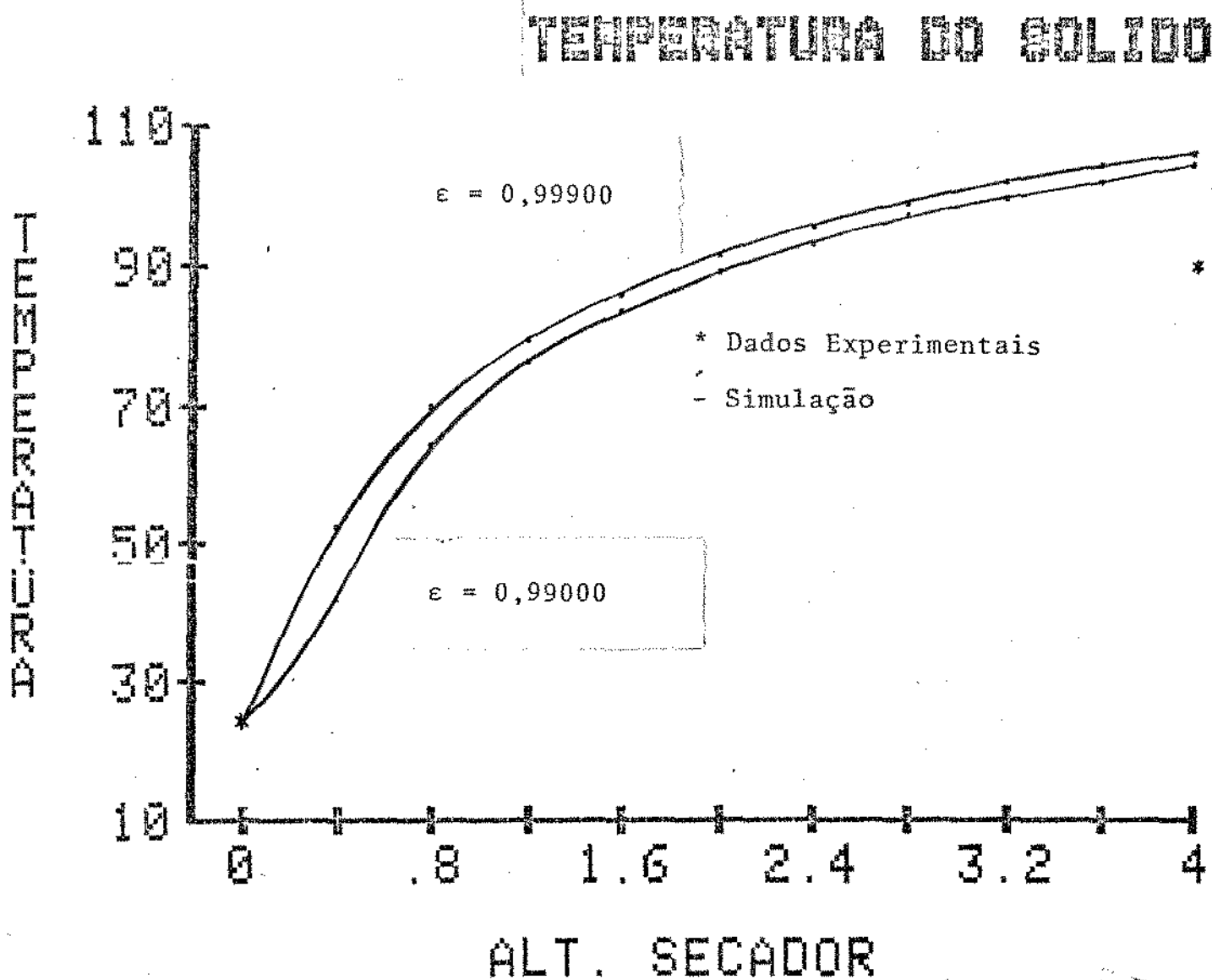


Figura 14 - GRÁFICO OBTIDO COM RESULTADOS DAS TABELAS 15 E 16

UNIDADE DO SOLIDO

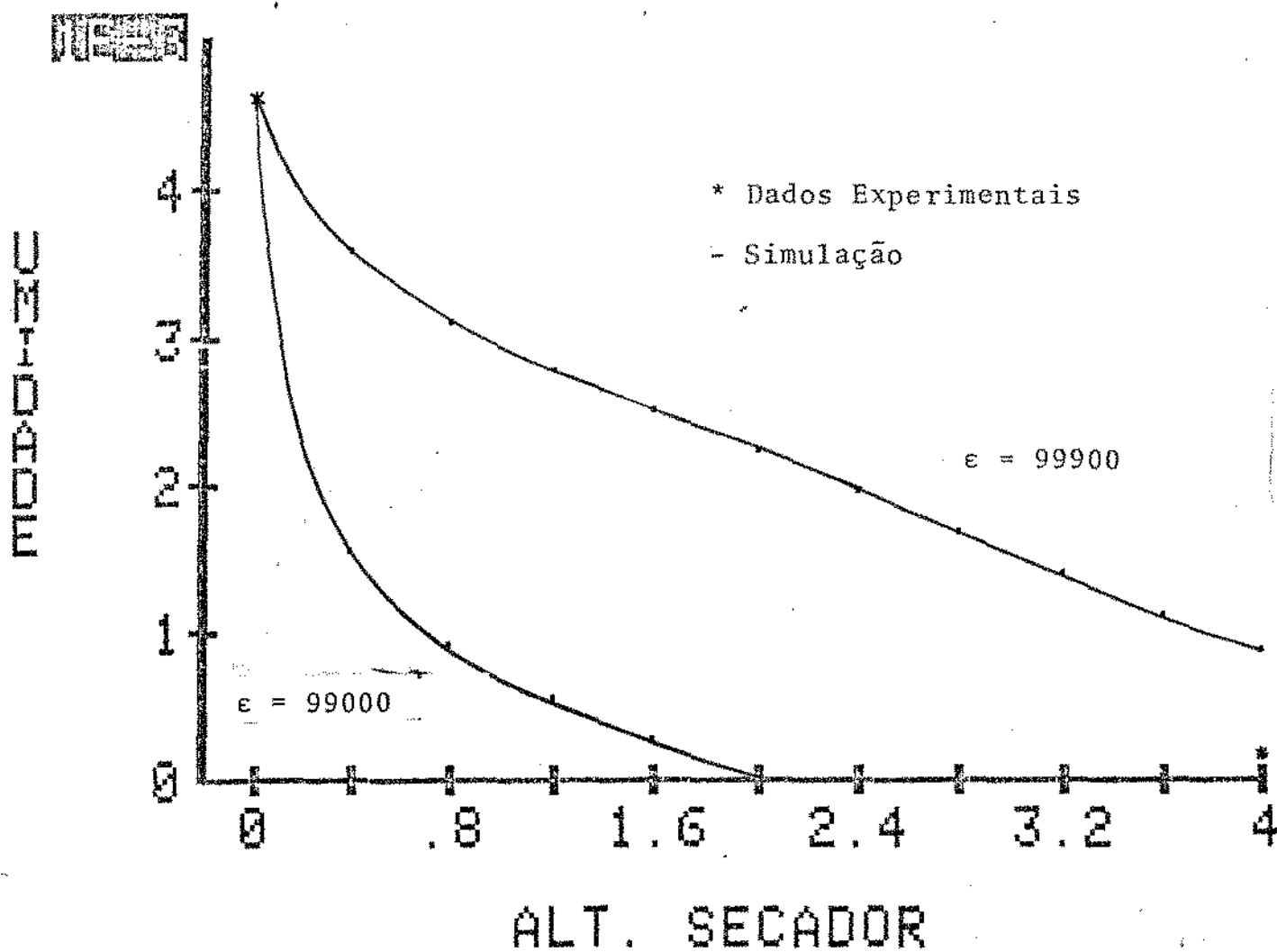


Figura 15 - GRÁFICO OBTIDO COM RESULTADOS DAS TABELAS 15 E 16

UNIDADE DO FLUIDO

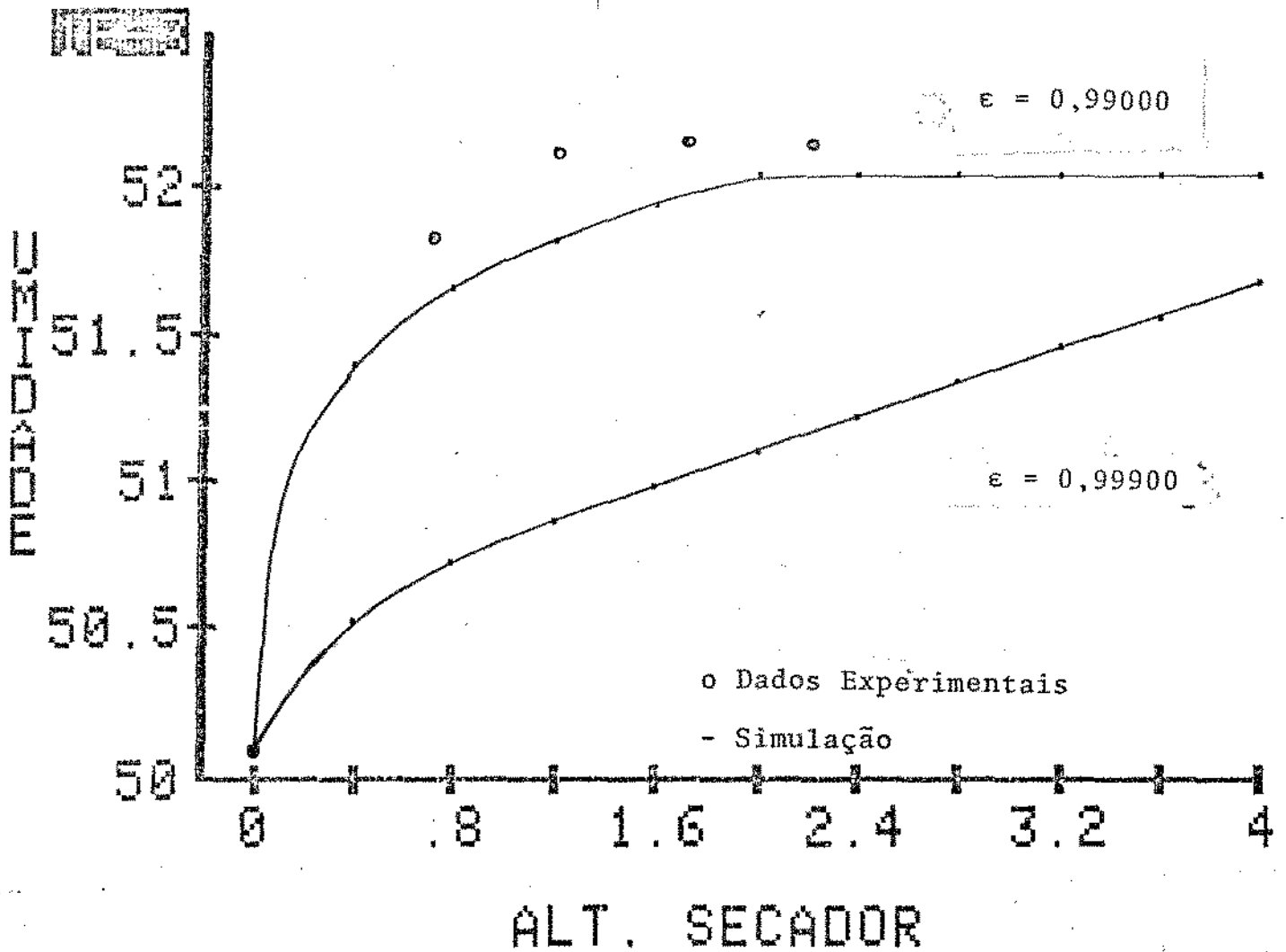


Figura 16 - GRÁFICO OBTIDO COM RESULTADOS DAS TABELAS 15 E 16

C08799

CORRIDA NUM=8

DADOS NO SISTEMA M.K.S

DENSIDADE SOLIDO=2500
 DIAMETRO SOLIDO=2.4E-04
 ALTURA SECADOR=4
 CALOR ESP.SOLIDO=754
 DIAMETRO TUBO =.0525
 VAZAO DO SOLIDO=.01064
 VAZAO DO AR =.03586
 POROSIDADE INIC.=.99900
 PRESSAO INICIAL = 96000
 TEMP INICIAL AR =140.3
 TEMP INICIAL SOL=24.7
 UMIDADE INIC. AR=.0352
 UMIDADE INIC SOL=3.8E-03

TEMP. BULBO UMIDA=46.21
 YE=.074

Z	V.SOL	V.AR	POROS.	PRES.	T.AR	T.SOL	X.SOL	Y.AR
0.0	1.97	12.86	0.99900	96000	140.30	24.70	3.80	35.20
0.4	6.51	12.85	0.99970	95968	133.42	55.35	2.98	35.44
0.8	9.35	12.85	0.99979	95946	129.09	75.38	2.66	35.54
1.2	10.68	12.85	0.99982	95933	126.81	85.81	2.44	35.60
1.6	11.05	12.85	0.99982	95924	125.39	92.19	2.26	35.66
2.0	11.12	12.85	0.99982	95917	124.31	96.93	2.09	35.71
2.4	11.13	12.85	0.99982	95910	123.42	100.71	1.92	35.76
2.8	11.13	12.85	0.99982	95903	122.69	103.75	1.75	35.81
3.2	11.13	12.85	0.99982	95897	122.07	106.21	1.58	35.86
3.6	11.13	12.85	0.99982	95890	121.56	108.18	1.41	35.91
4.0	11.13	12.85	0.99982	95883	121.12	109.77	1.24	35.96

Tabela 17 - RESULTADOS OBTIDOS COM DADOS DA CORRIDA Nº 8 E
POROSIDADE INICIAL 0,99900

COB99

CORRIDA NUM=8

DADOS NO SISTEMA M.K.S

DENSIDADE SOLIDO=2500
 DIAMETRO SOLIDO=2.4E-04
 ALTURA SECADOR=4
 CALOR ESP.SOLIDO=754
 DIAMETRO TUBO =.0525
 VAZAO DO SOLIDO=.01064
 VAZAO DO AR =.03586
 POROSIDADE INIC.=.99000
 PRESSAO INICIAL = 96000
 TEMP INICIAL AR =140.3
 TEMP INICIAL SOL=24.7
 UMIDADE INIC. AR=.0352
 UMIDADE INIC SOL=3.8E-03

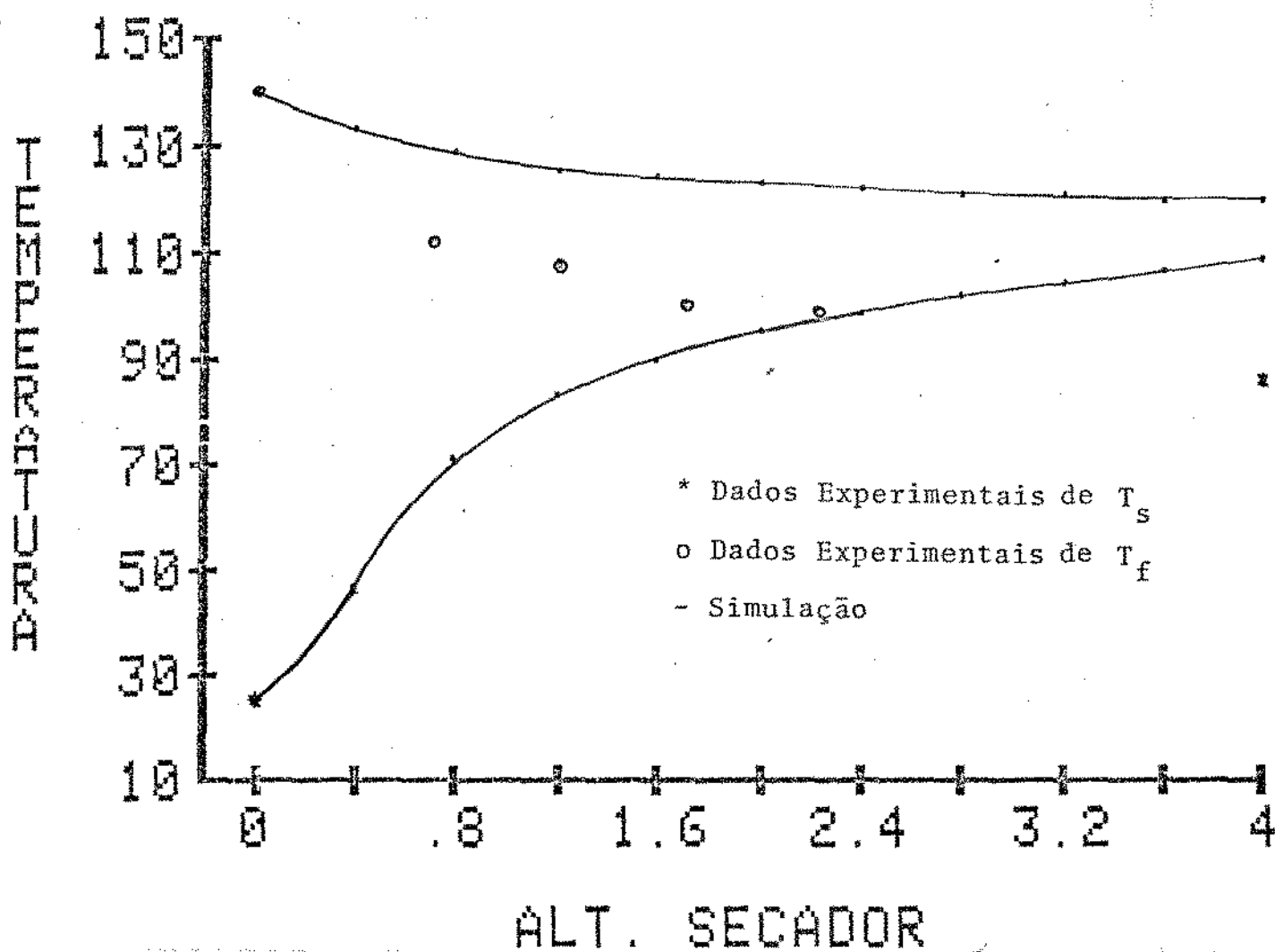
TEMP. BULBO UMIDA=46.21
 YE=.074

Z	V.SOL	V.AR	POROS.	PRES.	T.AR	T.SOL	X.SOL	Y.AR
0.0	0.20	12.98	0.99000	96000	140.30	24.70	3.80	35.20
0.4	5.23	12.85	0.99962	95960	134.09	46.94	1.56	35.86
0.8	8.61	12.85	0.99977	95935	128.94	70.67	1.16	35.98
1.2	10.39	12.85	0.99981	95919	126.23	83.16	0.93	36.05
1.6	10.99	12.85	0.99982	95909	124.65	90.24	0.74	36.11
2.0	11.11	12.85	0.99982	95902	123.52	95.25	0.57	36.16
2.4	11.13	12.85	0.99982	95895	122.60	99.19	0.40	36.21
2.8	11.13	12.85	0.99982	95888	121.84	102.36	0.24	36.26
3.2	11.13	12.85	0.99982	95881	121.21	104.91	0.07	36.31
3.6	11.13	12.85	0.99982	95874	120.68	106.97	0.00	36.33
4.0	11.13	12.85	0.99982	95868	120.23	108.62	0.00	36.33

Tabela 18 - RESULTADOS OBTIDOS COM DADOS DA CORRIDA Nº 8 E

POROSIDADE INICIAL 0,99000

TEMPERATURA DO SÓLIDO E FLUIDO



Temperatura do sólido e fluido para $\epsilon = 0,99000$

Figura 17 - GRÁFICO OBTIDO COM RESULTADOS DA TABELA 18

TEMPERATURA DO SOLIDO

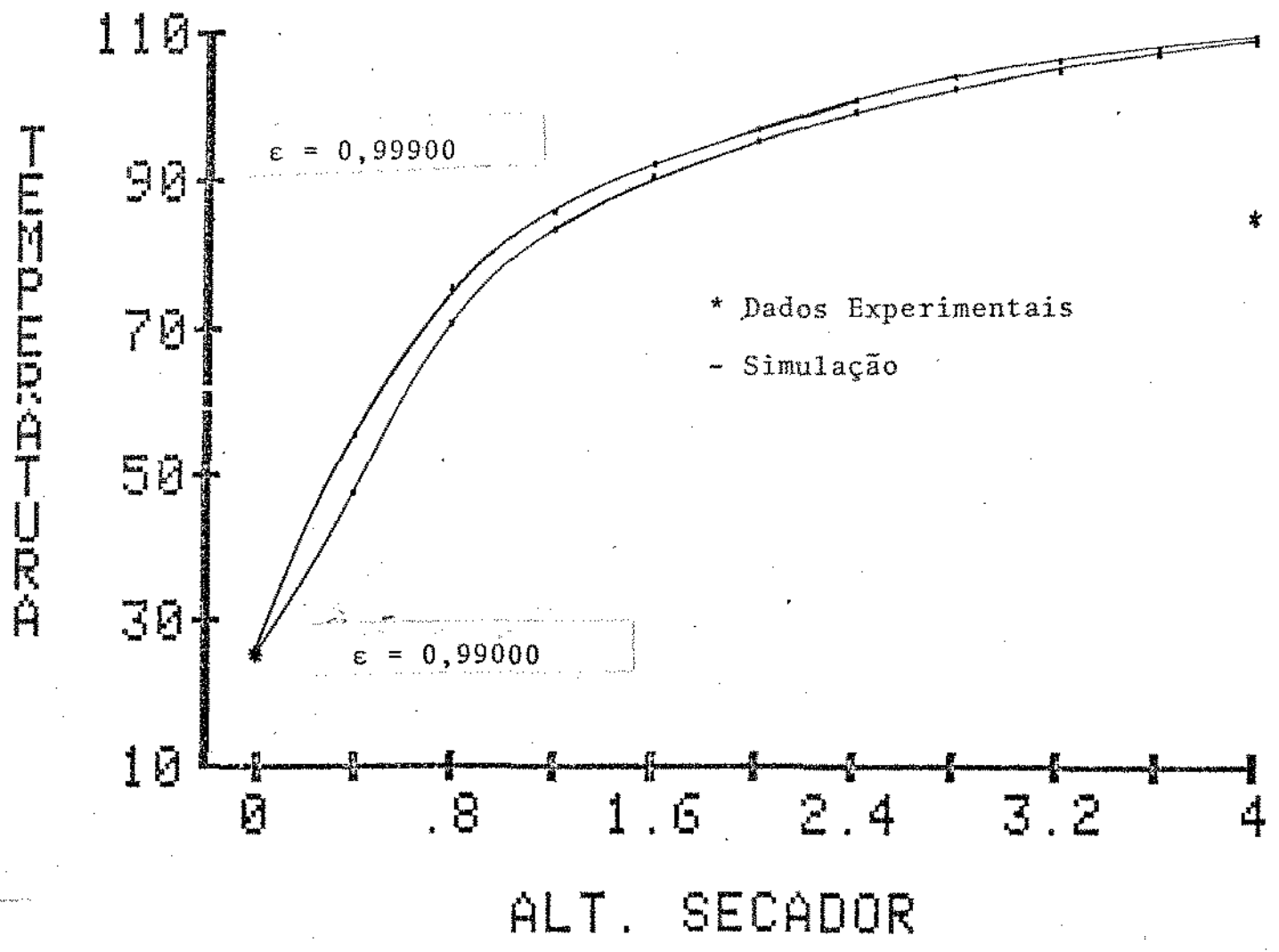


Figura 18 - GRÁFICO OBTIDO COM RESULTADOS DAS TABELAS 17 E 18

UNIDADE DO SOLIDO

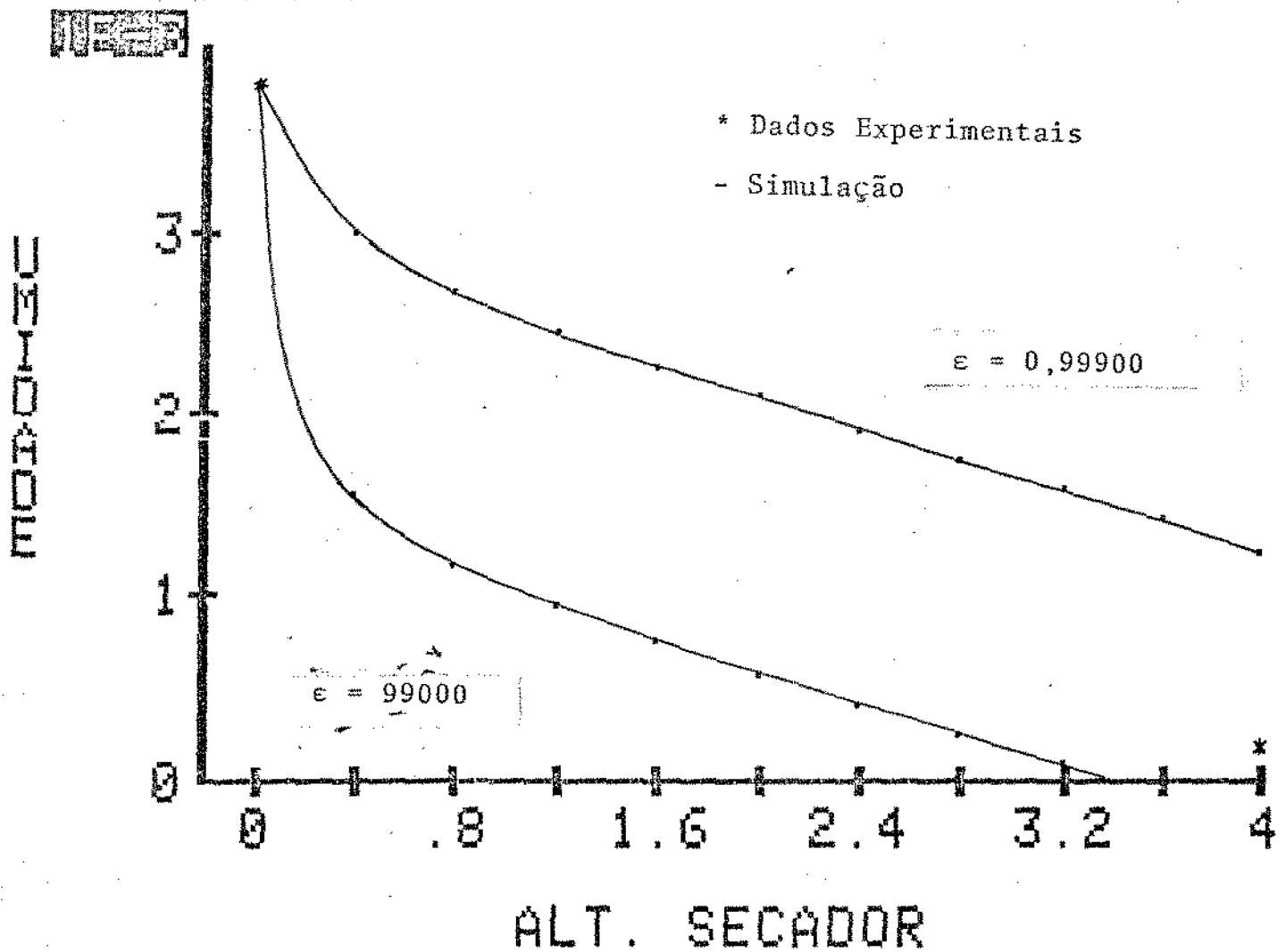


Figura 19 - GRÁFICO OBTIDO COM RESULTADOS DAS TABELAS 17 E 18

UNIDADE DO FLUIDO

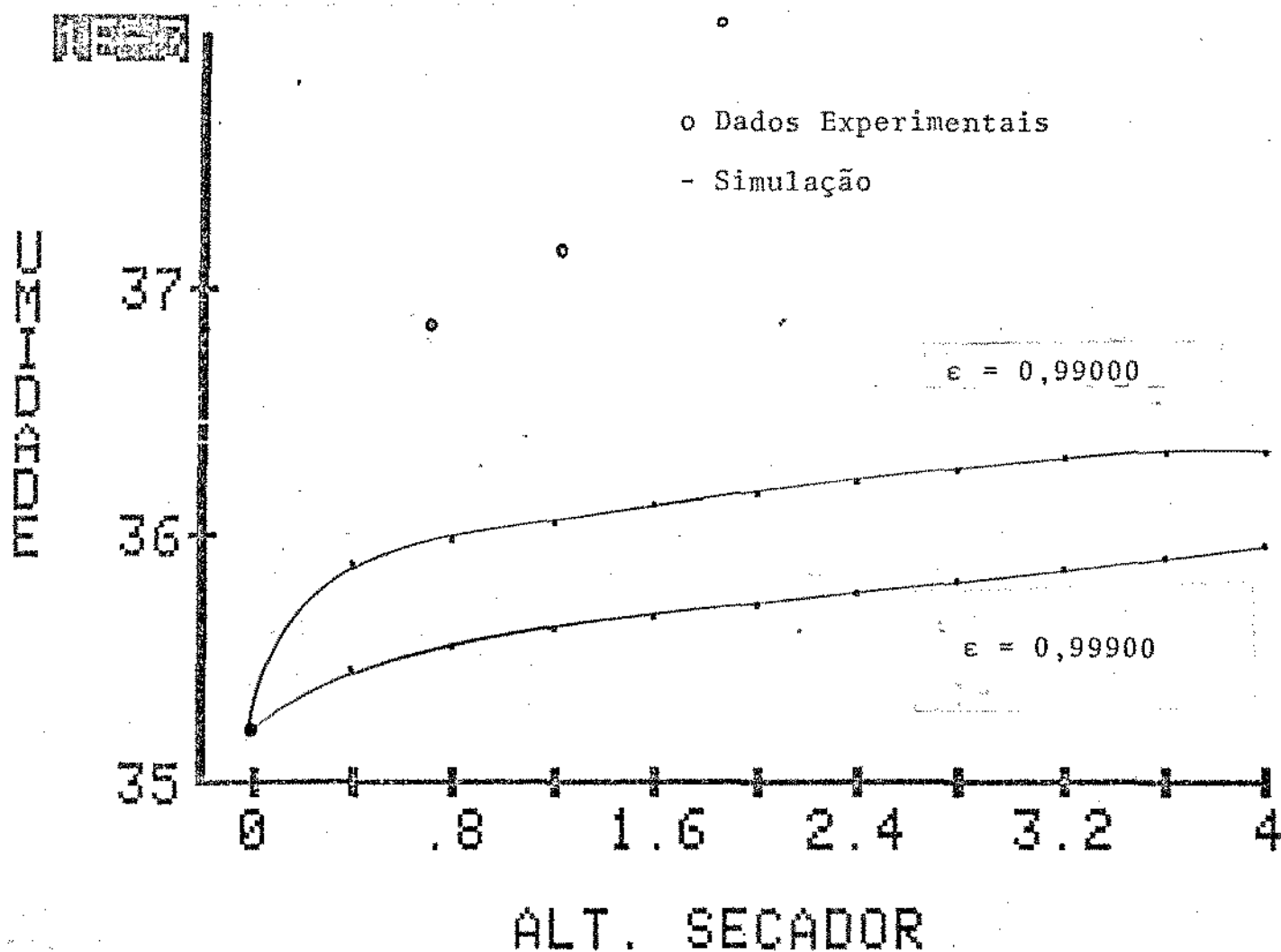


Figura 20 - GRÁFICO OBTIDO COM RESULTADOS DAS TABELAS 17 E 18

C01699

CORRIDA NUM=16

DADOS NO SISTEMA M.K.S

DENSIDADE SOLIDO=2715
 DIAMETRO SOLIDO=5.5E-04
 ALTURA SECADOR=4
 CALOR ESP.SOLIDO=799
 DIAMETRO TUBO =.0525
 VAZAO DO SOLIDO=.013
 VAZAO DO AR =.03244
 POROSIDADE INIC.=.99000
 PRESSAO INICIAL = 95550
 TEMP INICIAL AR =145.6
 TEMP INICIAL SOL=25.7
 UMIDADE INIC. AR=.052
 UMIDADE INIC SOL=7.3E-03

 TEMP. BULBO UMIDA=50.38
 YE=.094

Z	V.SOL	V.AR	POROS.	PRES.	T.AR	T.SOL	X.SOL	Y.AR
0.0	0.22	11.74	0.99000	95550	145.60	25.70	7.30	52.00
0.4	1.45	11.64	0.99848	95502	143.79	26.14	5.54	52.71
0.8	2.60	11.63	0.99915	95478	141.08	33.81	5.01	52.92
1.2	3.58	11.63	0.99938	95460	138.22	42.72	4.68	53.05
1.6	4.42	11.63	0.99950	95444	135.53	51.36	4.45	53.14
2.0	5.11	11.63	0.99957	95430	133.11	59.20	4.25	53.22
2.4	5.68	11.63	0.99961	95417	131.00	66.07	4.09	53.29
2.8	6.13	11.63	0.99964	95405	129.17	72.03	3.95	53.34
3.2	6.48	11.63	0.99966	95394	127.59	77.16	3.82	53.40
3.6	6.75	11.63	0.99967	95384	126.22	81.57	3.70	53.44
4.0	6.95	11.63	0.99968	95374	125.02	85.40	3.58	53.49

Tabela 19 - RESULTADOS OBTIDOS COM DADOS DA CORRIDA Nº 16 EPOROSIDADE INICIAL 0,99000

CO16985

CORRIDA NUM=16

DADOS NO SISTEMA M.K.S

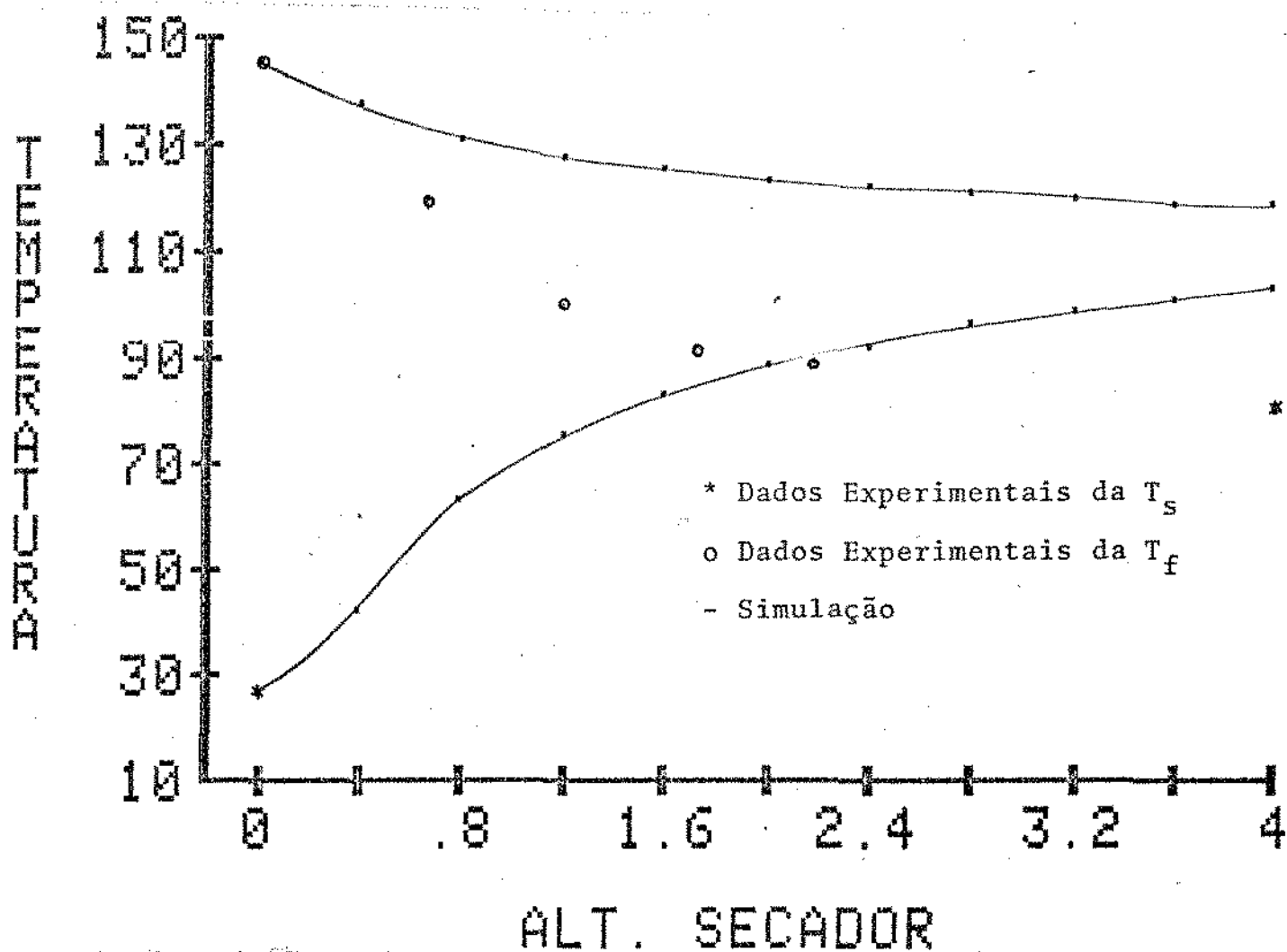
DENSIDADE SOLIDO=2500
 DIAMETRO SOLIDO=2.4E-04
 ALTURA SECADOR=4
 CALOR ESP. SOLIDO=754
 DIAMETRO TUBO =.0525
 VAZAO DO SOLIDO=.013
 VAZAO DO AR =.03244
 POROSIDADE INIC.=.98500
 PRESSAO INICIAL = 95550
 TEMP INICIAL AR =145.6
 TEMP INICIAL SOL=25.7
 UMIDADE INIC. AR=.052
 UMIDADE INIC SOL=7.3E-03

TEMP. BULBO UMIDA=50.38
 YE=.094

Z	V. SOL	V. AR	POROS.	PRES.	T. AR	T. SOL	X. SOL	Y. AR
0.0	0.16	11.80	0.98500	95550	145.60	25.70	7.30	52.00
0.4	4.80	11.63	0.99950	95502	138.13	41.42	3.98	53.33
0.8	7.86	11.63	0.99969	95475	131.65	63.45	3.44	53.55
1.2	9.35	11.63	0.99974	95458	128.05	75.64	3.11	53.68
1.6	9.81	11.63	0.99975	95447	125.82	83.01	2.84	53.79
2.0	9.89	11.63	0.99976	95439	124.13	88.46	2.59	53.89
2.4	9.90	11.63	0.99976	95432	122.73	92.81	2.34	53.99
2.8	9.91	11.63	0.99976	95424	121.57	96.33	2.10	54.08
3.2	9.91	11.63	0.99976	95417	120.58	99.20	1.85	54.18
3.6	9.91	11.63	0.99976	95410	119.74	101.52	1.61	54.28
4.0	9.91	11.63	0.99976	95402	119.03	103.39	1.36	54.38

Tabela 20 - RESULTADOS OBTIDOS COM DADOS DA CORRIDA Nº 16 EPOROSIDADE INICIAL 0,98500

TEMPERATURA DO SÓLIDO E DO FLUIDO



Temperatura do sólido e fluido para $\epsilon = 0,98500$

Figura 21 - GRÁFICO OBTIDO COM RESULTADOS DA TABELA 20

TEMPERATURA DO FLUIDO

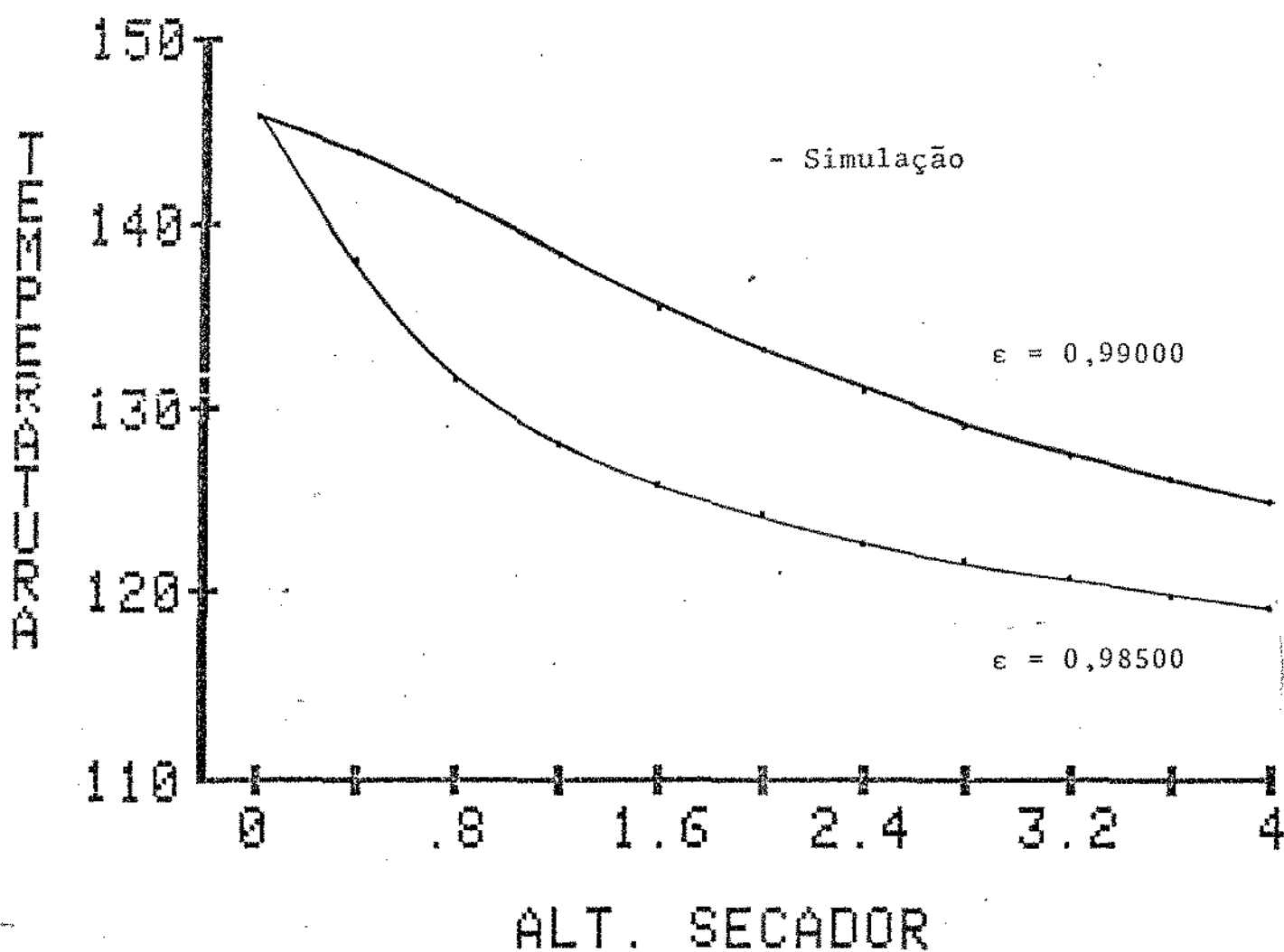


Figura 22 - GRÁFICO OBTIDO COM RESULTADOS DAS TABELAS 19 E 20

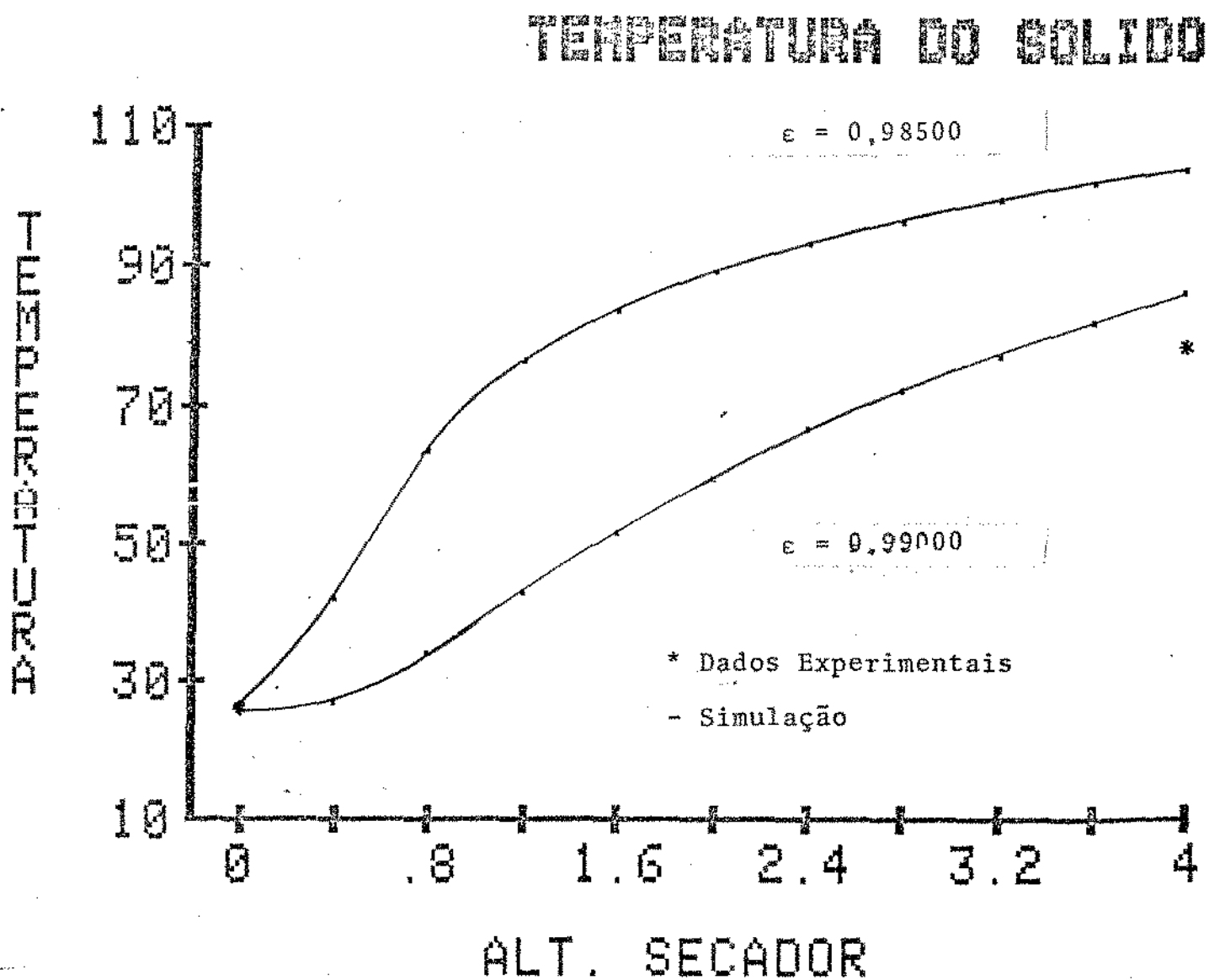


Figura 23 - GRÁFICO OBTIDO COM RESULTADOS DAS TABELAS 19 E 20

UNIDADE DO SOLIDO

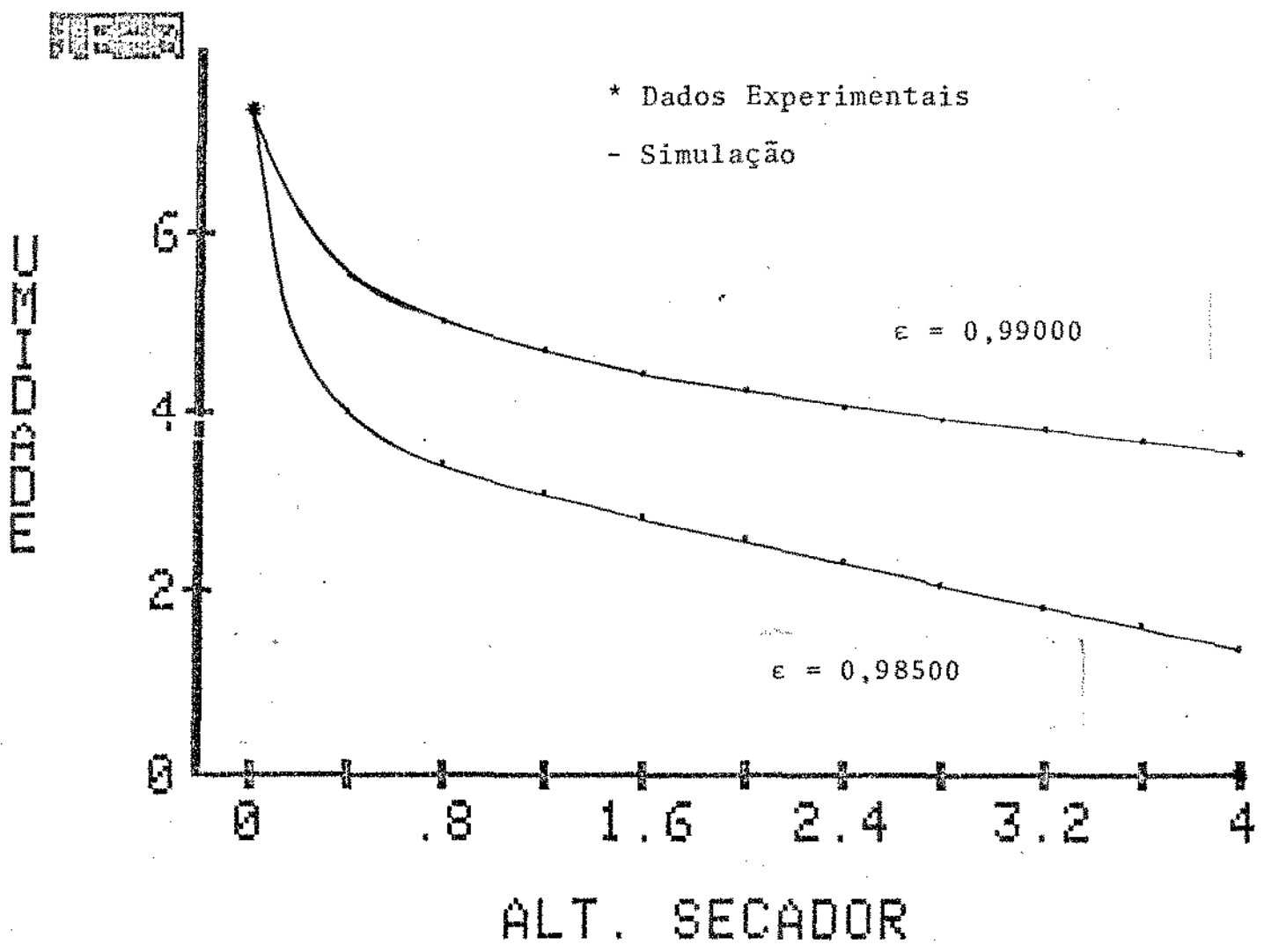


Figura 24 - GRÁFICO OBTIDO COM OS RESULTADOS DAS TABELAS 19 E 20

UNIDADE DO FLUIDO

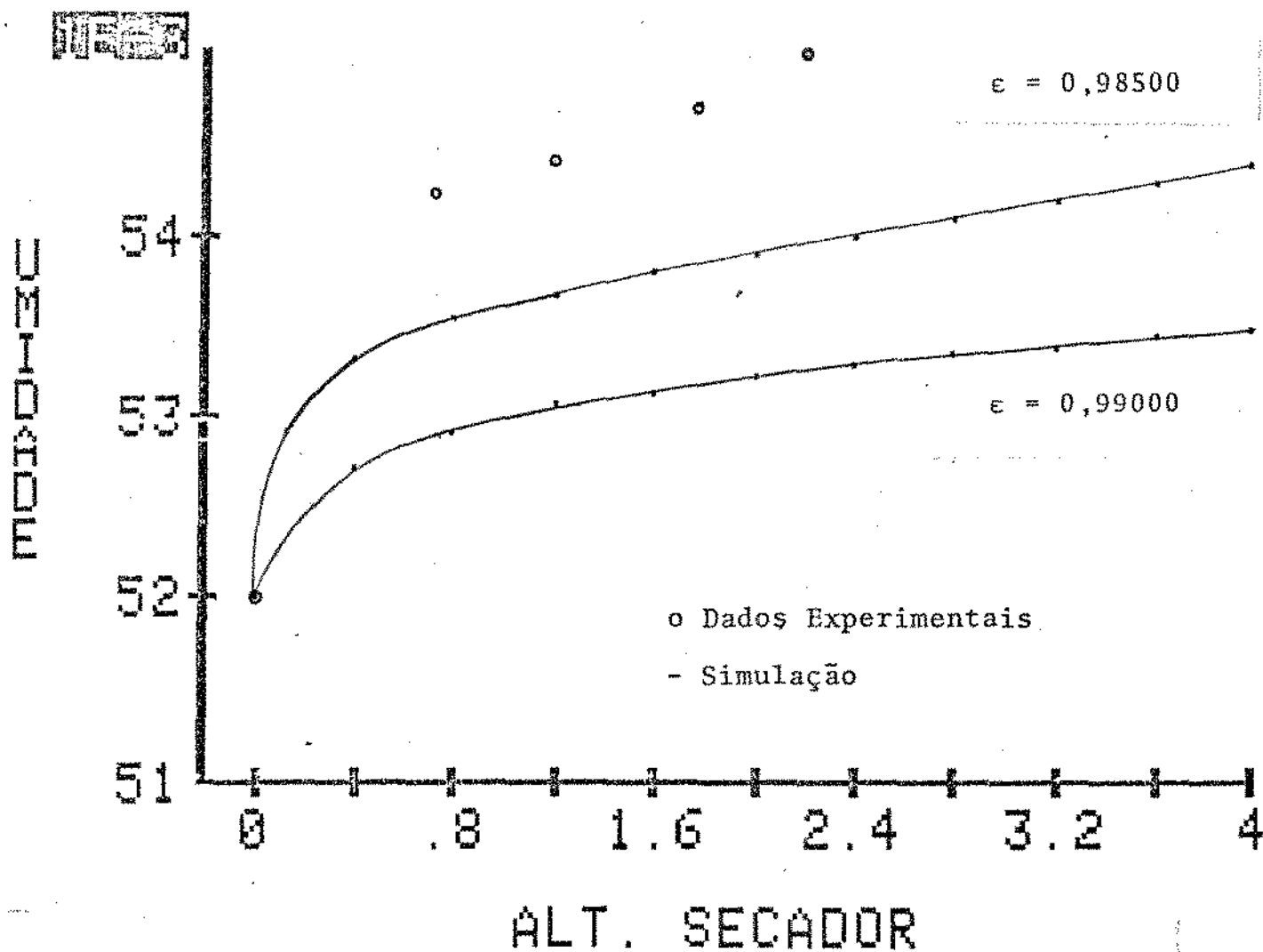


Figura 25 - GRÁFICO OBTIDO COM OS RESULTADOS DAS TABELAS 19 E 20

CO2 983

CORRIDA NUM=21

DADOS NO SISTEMA M.K.S

DENSIDADE SOLIDO=2715
 DIAMETRO SOLIDO=4.6E-04
 ALTURA SECADOR=4
 CALOR ESP.SOLIDO=799
 DIAMETRO TUBO =.0525
 VAZAO DO SOLIDO=.01032
 VAZAO DO AR =.0328
 POROSIDADE INIC.=.98500
 PRESSAO INICIAL = 95600
 TEMP INICIAL AR =95.5
 TEMP INICIAL SOL=24.3
 UMIDADE INIC. AR=.0482
 UMIDADE INIC SOL=5.5E-03

TEMP. BULBO UMIDA=45.53
 YE=.072

Z	V.SOL	V.AR	POROS.	PRES.	T.AR	T.SOL	X.SOL	Y.AR
0.0	0.12	11.93	0.98500	95600	95.50	24.30	5.50	48.20
0.4	1.76	11.76	0.99900	95555	94.27	25.84	4.29	48.58
0.8	3.28	11.76	0.99946	95535	92.39	33.35	4.04	48.66
1.2	4.54	11.76	0.99961	95520	90.57	40.96	3.90	48.70
1.6	5.55	11.76	0.99968	95506	89.00	47.57	3.79	48.74
2.0	6.35	11.75	0.99972	95494	87.72	53.00	3.71	48.76
2.4	6.95	11.75	0.99975	95483	86.68	57.39	3.64	48.79
2.8	7.38	11.75	0.99976	95474	85.83	60.94	3.57	48.81
3.2	7.68	11.75	0.99977	95465	85.14	63.83	3.51	48.83
3.6	7.88	11.75	0.99978	95456	84.56	66.22	3.46	48.84
4.0	8.01	11.75	0.99978	95448	84.07	68.22	3.40	48.86

Tabela 21 - RESULTADOS OBTIDOS COM DADOS DA CORRIDA Nº 21 EPOROSIDADE INICIAL 0,98500

C021983

CORRIDA NUM=21

DADOS NO SISTEMA M.K.S

DENSIDADE SOLIDO=2715
 DIAMETRO SOLIDO=4.6E-04
 ALTURA SECADOR=4
 CALDR ESP.SOLIDO=799
 DIAMETRO TUBO =.0525
 VAZAO DO SOLIDO=.01032
 VAZAO DO AR =.0328
 POROSIDADE INIC.=.98300
 PRESSAO INICIAL = 95600
 TEMP INICIAL AR =95.5
 TEMP INICIAL SOL=24.3
 UMIDADE INIC. AR=.0482
 UMIDADE INIC SOL=5.5E-03

 TEMP. BULBO UMIDA=45.53
 YE=.072

Z	V.SOL	V.AR	PORDS.	PRES.	T.AR	T.SOL	X.SOL	Y.AR
0.0	0.10	11.95	0.98300	95600	95.50	24.30	5.50	48.20
0.4	1.73	11.76	0.99898	95553	94.29	25.41	4.18	48.61
0.8	3.25	11.76	0.99946	95533	92.41	32.94	3.93	48.69
1.2	4.51	11.76	0.99961	95517	90.57	40.60	3.79	48.74
1.6	5.54	11.76	0.99968	95503	89.00	47.26	3.68	48.77
2.0	6.34	11.75	0.99972	95491	87.70	52.74	3.60	48.80
2.4	6.94	11.75	0.99975	95481	86.65	57.17	3.53	48.82
2.8	7.37	11.75	0.99976	95471	85.80	60.75	3.46	48.84
3.2	7.67	11.75	0.99977	95462	85.10	63.66	3.40	48.86
3.6	7.87	11.75	0.99978	95453	84.52	66.07	3.35	48.88
4.0	8.01	11.75	0.99978	95445	84.03	68.09	3.29	48.89

Tabela 22 - RESULTADOS OBTIDOS COM DADOS DA CORRIDA Nº 21 E

POROSIDADE INICIAL 0,98300

C02199

CORRIDA NUM=21

DADOS NO SISTEMA M.K.S

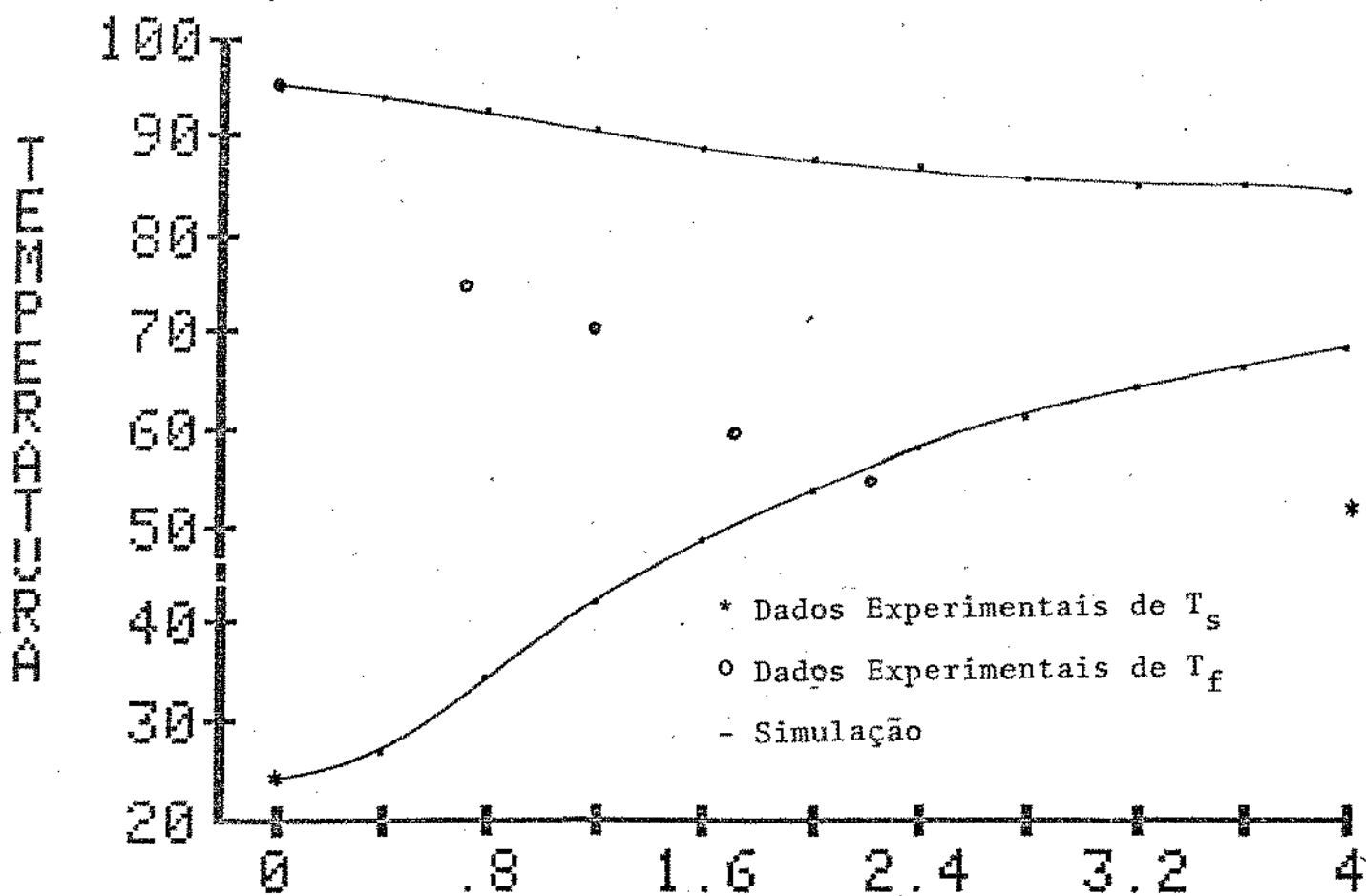
DENSIDADE SOLIDO=2715
 DIAMETRO SOLIDO=4.6E-04
 ALTURA SECADOR=4
 CALOR ESP.SOLIDO=799
 DIAMETRO TUBO =.0525
 VAZAO DO SOLIDO=,01032
 VAZAO DO AR =.0328
 POROSIDADE INIC.=.99000
 PRESSAO INICIAL =.95600
 TEMP INICIAL AR =95.5
 TEMP INICIAL SOL=24.3
 UMIDADE INIC. AR=.0482
 UMIDADE INIC SOL=5.5E-03

TEMP. BULBO UMIDA=45.53
 YE=.072

Z	V.SOL	V.AR	POROS.	PRES.	T.AR	T.SOL	X.SOL	Y.AR
0.0	0.18	11.87	0.99000	95600	95.50	24.30	5.50	48.20
0.4	1.86	11.76	0.99905	95561	94.21	26.94	4.54	48.50
0.8	3.36	11.76	0.99948	95542	92.34	34.43	4.31	48.58
1.2	4.60	11.76	0.99962	95526	90.54	41.91	4.16	48.62
1.6	5.61	11.76	0.99969	95513	89.01	48.38	4.06	48.65
2.0	6.39	11.75	0.99972	95501	87.75	53.68	3.98	48.68
2.4	6.98	11.75	0.99975	95490	86.73	57.97	3.91	48.70
2.8	7.40	11.75	0.99976	95480	85.90	61.44	3.84	48.72
3.2	7.69	11.75	0.99977	95472	85.22	64.27	3.78	48.74
3.6	7.89	11.75	0.99978	95463	84.65	66.61	3.73	48.76
4.0	8.01	11.75	0.99978	95455	84.17	68.57	3.67	48.78

Tabela 23 - RESULTADOS OBTIDOS COM DADOS DA CORRIDA Nº 21 EPOROSIDADE INICIAL 0,99000

TEMPERATURA DO SÓLIDO E FLUIDO

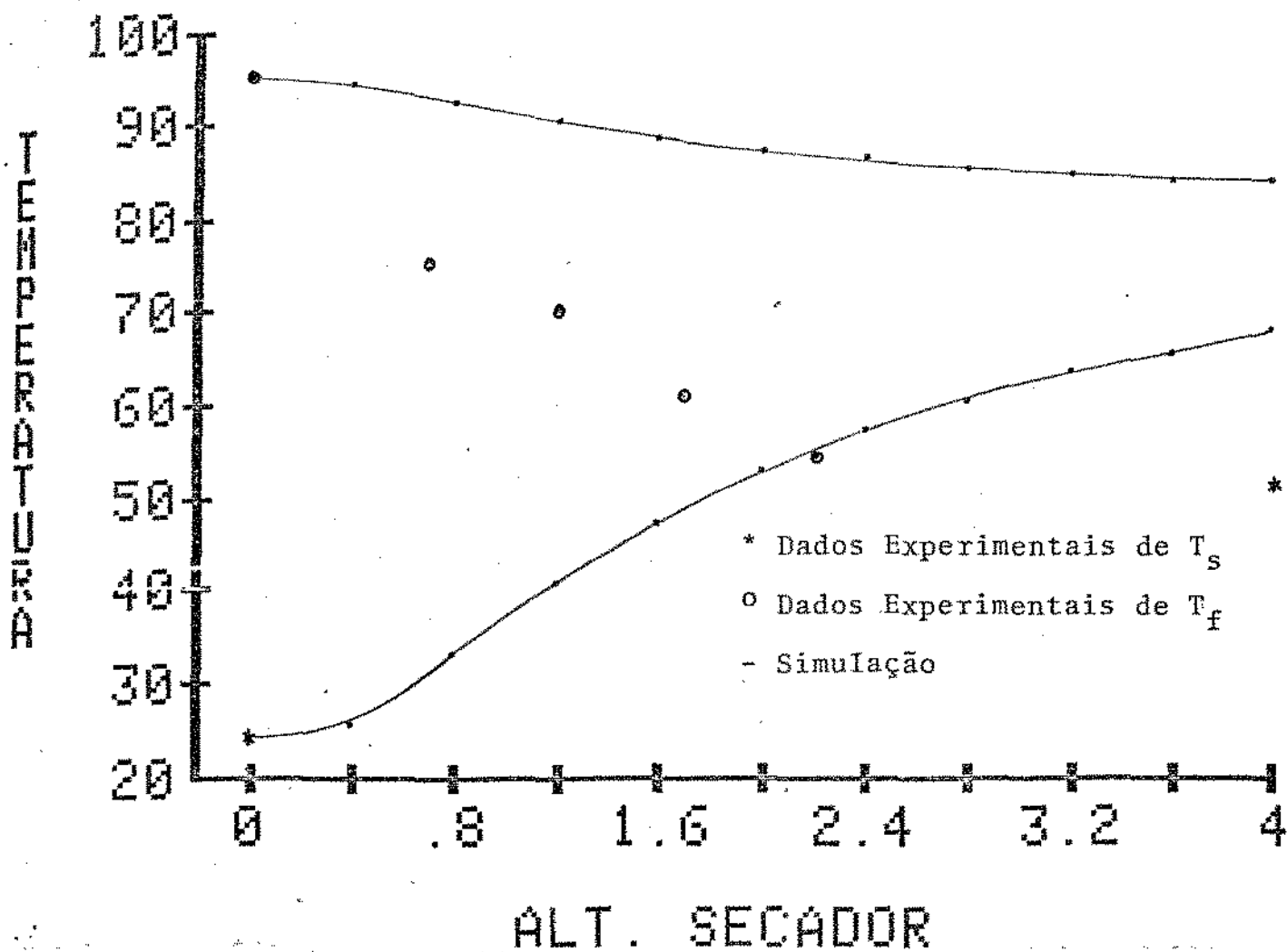


ALT. SECADOR

Temperatura do sólido e do fluido para $\epsilon = 0,99000$

Figura 26 - GRÁFICO OBTIDO COM OS RESULTADOS DA TABELA 23

TEMPERATURA DO SÓLIDO E FLUIDO



Temperatura do sólido e do fluido para $\epsilon = 0,98300$

Figura 27 - GRÁFICO OBTIDO COM OS RESULTADOS DA TABELA 22

UMIDADE DO SÓLIDO

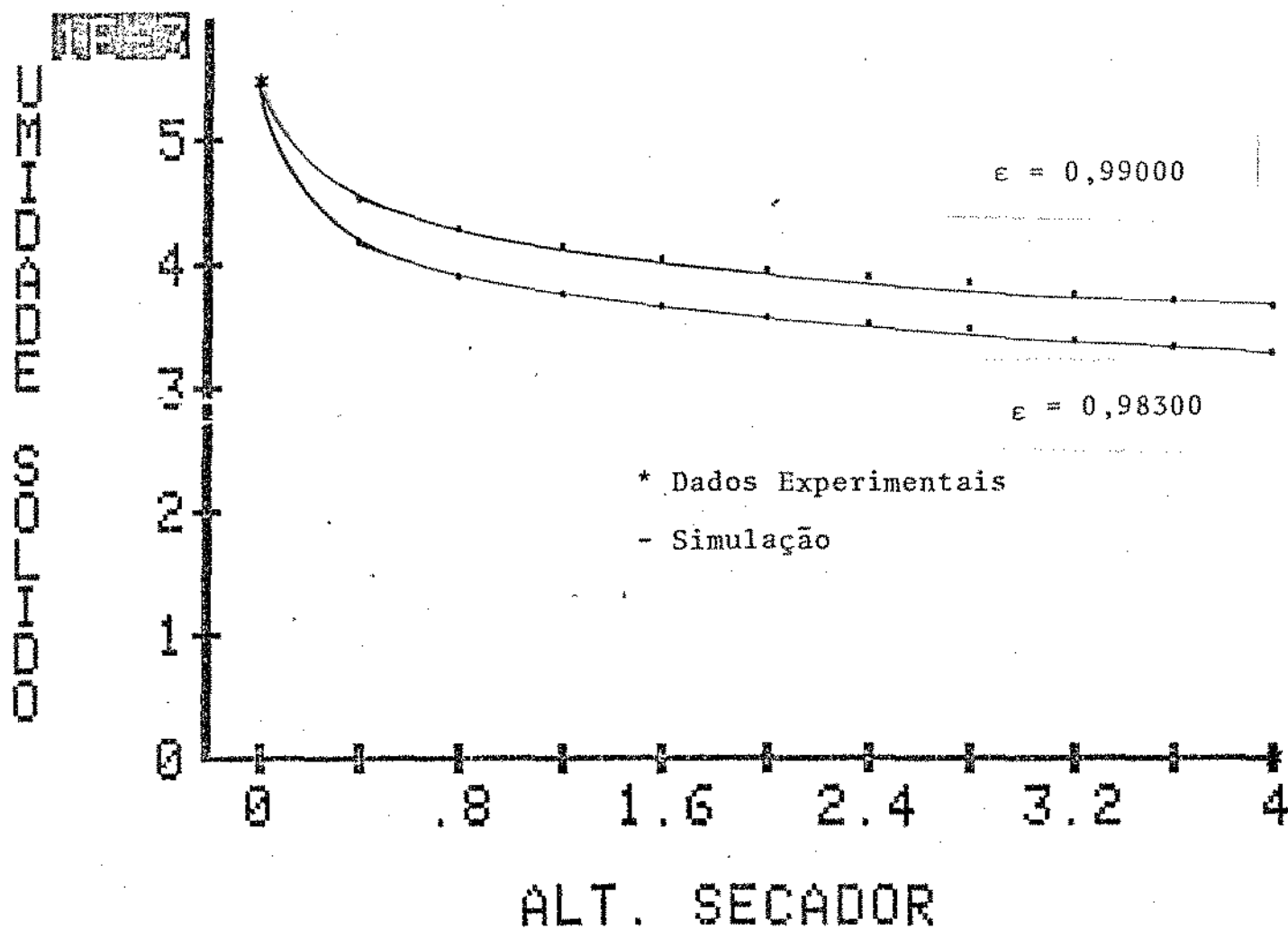


Figura 28 - GRÁFICO OBTIDO COM OS RESULTADOS DAS TABELAS 22 E 23

UNIDADE DO FLUIDO

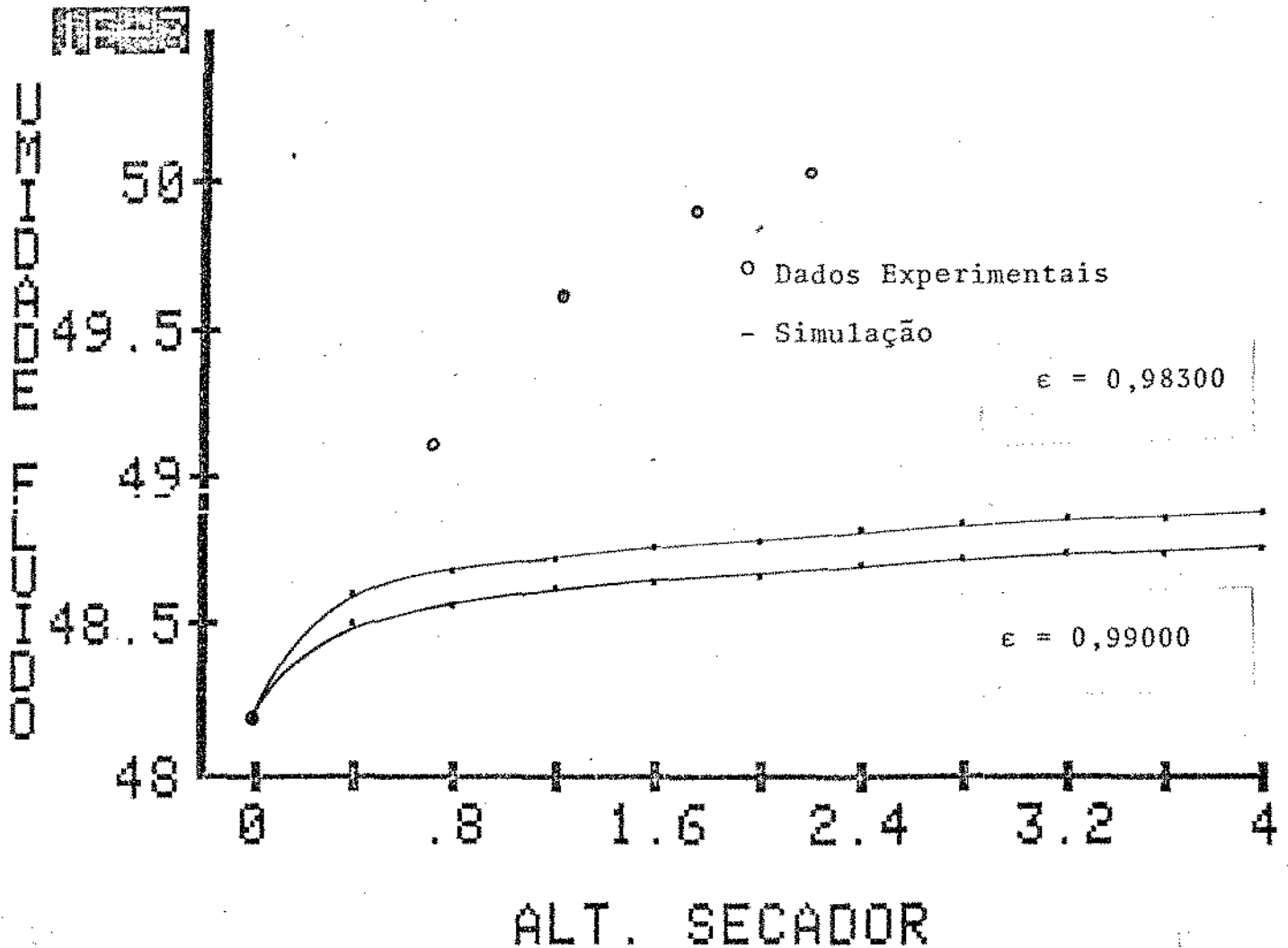


Figura 29 - GRÁFICO OBTIDO COM OS RESULTADOS DAS TABELAS 22 E 23

C02699

CORRIDA NUM=26

DADOS NO SISTEMA M.K.S

DENSIDADE SOLIDO=2715
 DIAMETRO SOLIDO=4.6E-04
 ALTURA SECADOR=4
 CALOR ESP.SOLIDO=799
 DIAMETRO TUBO =.0525
 VAZAO DO SOLIDO=.01093
 VAZAO DO AR =.04046
 POROSIDADE INIC.=.99000
 PRESSAO INICIAL = 96000
 TEMP INICIAL AR =148.9
 TEMP INICIAL SOL=24.9
 UMIDADE INIC. AR=.0586
 UMIDADE INIC SOL=8.7E-03

TEMP. BULBO UMIDA=51.88
 YE=.102

Z	V.SOL	V.AR	POROS.	PRES.	T.AR	T.SOL	X.SOL	Y.AR
0.0	0.19	14.64	0.99000	96000	148.90	24.90	8.70	58.60
0.4	2.22	14.51	0.99916	95962	146.94	29.02	6.88	59.09
0.8	4.07	14.50	0.99954	95941	144.06	42.56	6.46	59.21
1.2	5.66	14.50	0.99967	95924	141.27	56.20	6.20	59.27
1.6	6.98	14.50	0.99973	95909	138.89	68.01	6.02	59.32
2.0	8.06	14.50	0.99977	95896	136.95	77.64	5.88	59.36
2.4	8.91	14.50	0.99979	95884	135.40	85.34	5.76	59.39
2.8	9.55	14.50	0.99981	95874	134.16	91.48	5.66	59.42
3.2	10.02	14.50	0.99981	95864	133.15	96.43	5.56	59.45
3.6	10.35	14.50	0.99982	95856	132.32	100.47	5.48	59.47
4.0	10.58	14.50	0.99982	95847	131.63	103.83	5.39	59.49

Tabela 24 - RESULTADOS OBTIDOS COM DADOS DA CORRIDA Nº 26 EPOROSIDADE INICIAL 0,99000

C026983

CORRIDA NUM=26

DADOS NO SISTEMA M.K.S

DENSIDADE SOLIDO=2715
 DIAMETRO SOLIDO=4.6E-04
 ALTURA SECADOR=4
 CALOR ESP. SOLIDO=799
 DIAMETRO TUBO =.0525
 VAZAO DO SOLIDO=.01093
 VAZAO DO AR =.04046
 POROSIDADE INIC.=.98300
 PRESSAO INICIAL = 96000
 TEMP INICIAL AR =148.9
 TEMP INICIAL SOL=24.9
 UMIDADE INIC. AR=.0586
 UMIDADE INIC SOL=8.7E-03

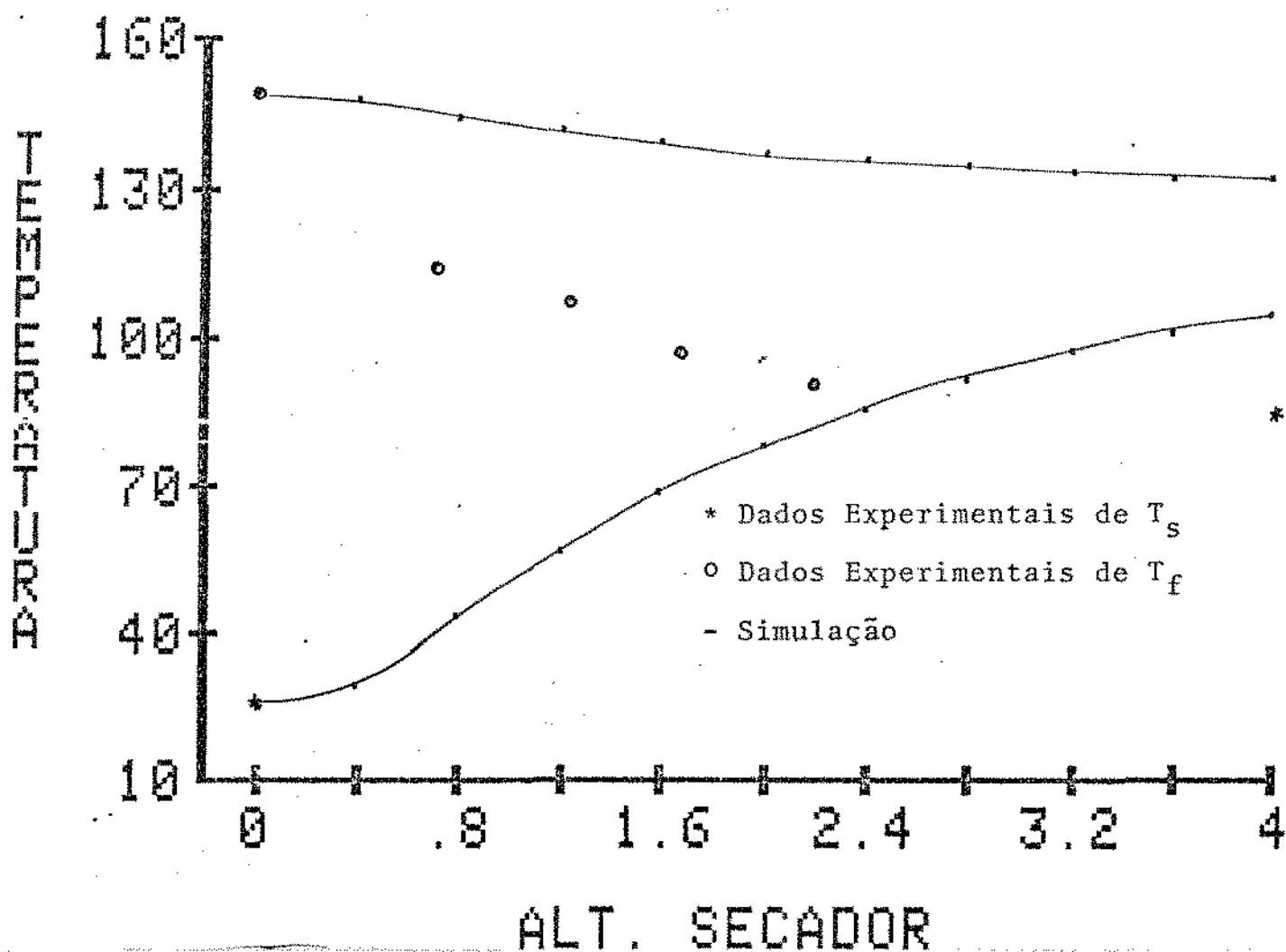
TEMP. BULBO UMIDA=51.88
 YE=.102

Z	V.SOL	V.AR	POROS.	PRES.	T.AR	T.SOL	X.SOL	Y.AR
0.0	0.11	14.75	0.98300	96000	148.90	24.90	8.70	58.60
0.4	2.07	14.51	0.99910	95954	147.07	26.03	6.16	59.28
0.8	3.94	14.50	0.99953	95933	144.16	39.70	5.72	59.41
1.2	5.55	14.50	0.99966	95916	141.30	53.72	5.46	59.48
1.6	6.89	14.50	0.99973	95901	138.85	65.93	5.28	59.52
2.0	7.99	14.50	0.99977	95887	136.85	75.91	5.13	59.56
2.4	8.85	14.50	0.99979	95876	135.25	83.89	5.01	59.60
2.8	9.51	14.50	0.99980	95865	133.97	90.25	4.91	59.62
3.2	9.99	14.50	0.99981	95856	132.94	95.36	4.81	59.65
3.6	10.33	14.50	0.99982	95847	132.09	99.53	4.73	59.67
4.0	10.56	14.50	0.99982	95839	131.38	102.99	4.64	59.70

Tabela 25 - RESULTADOS OBTIDOS COM DADOS DA CORRIDA Nº 26 E

POROSIDADE INICIAL 0,98300

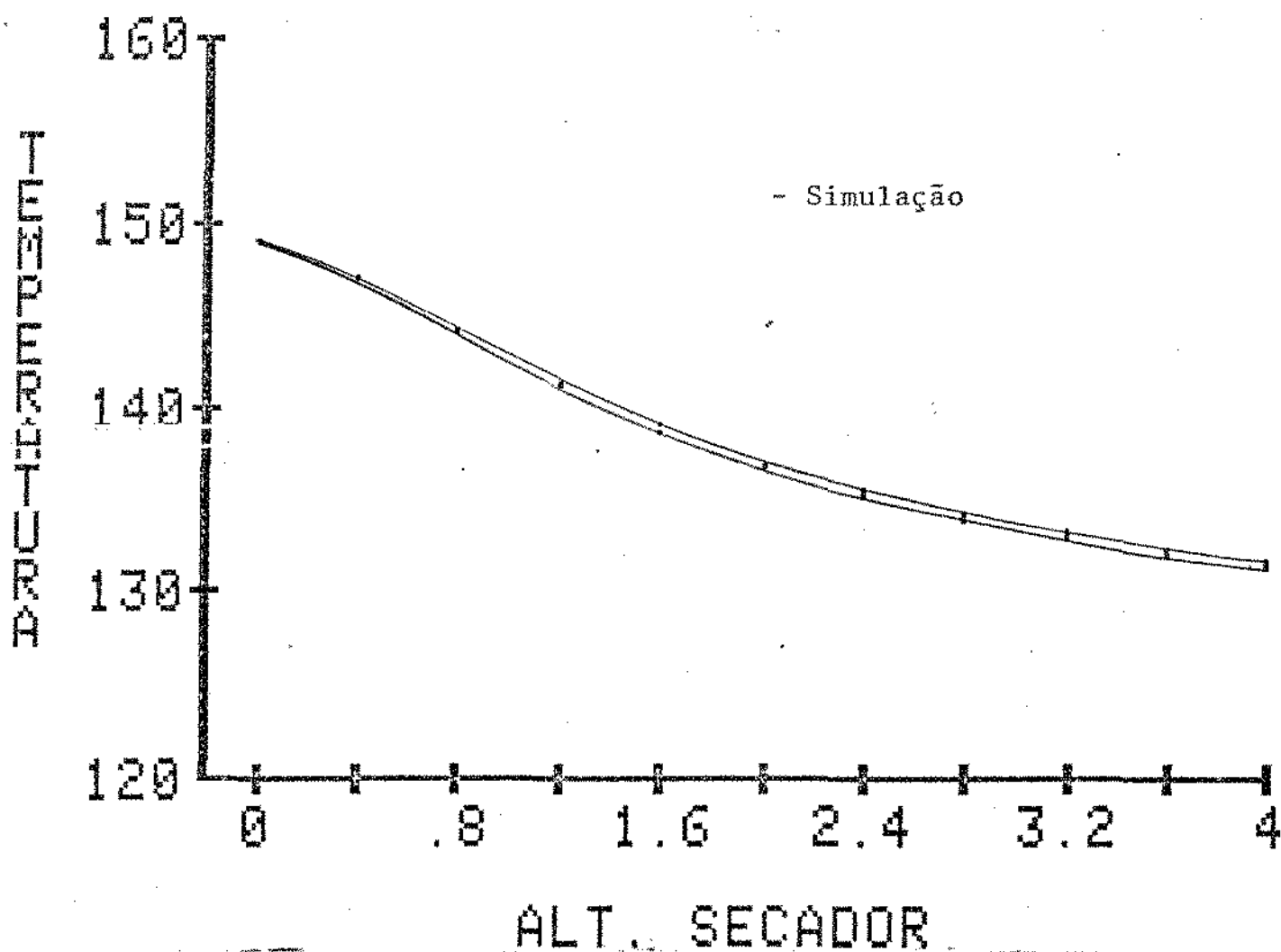
TEMPERATURA DO SÓLIDO E FLUIDO



Temperatura do sólido e do fluido para $\epsilon = 0,99000$

Figura 30 - GRÁFICO OBTIDO COM OS RESULTADOS DA TABELA 24

TEMPERATURA DO FLUIDO



Temperatura do sólido para $\epsilon = 0,98300$ e $\epsilon = 0,99000$

Figura 31 - GRÁFICO OBTIDO COM RESULTADOS DAS TABELAS 24 E 25

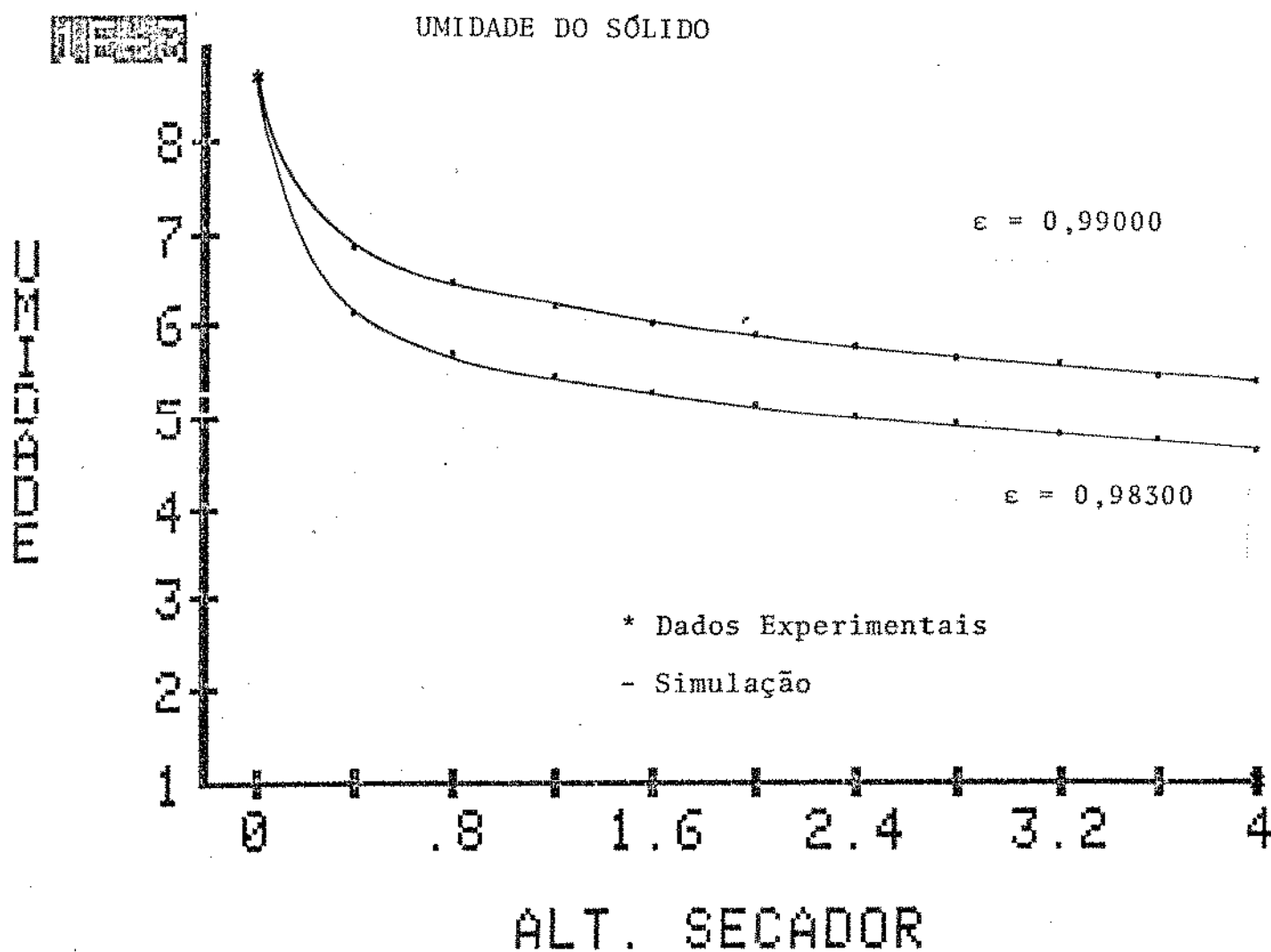


Figura 32 - GRÁFICO OBTIDO COM RESULTADOS DAS TABELAS 24 E 25

UMIDADE DO FLUIDO

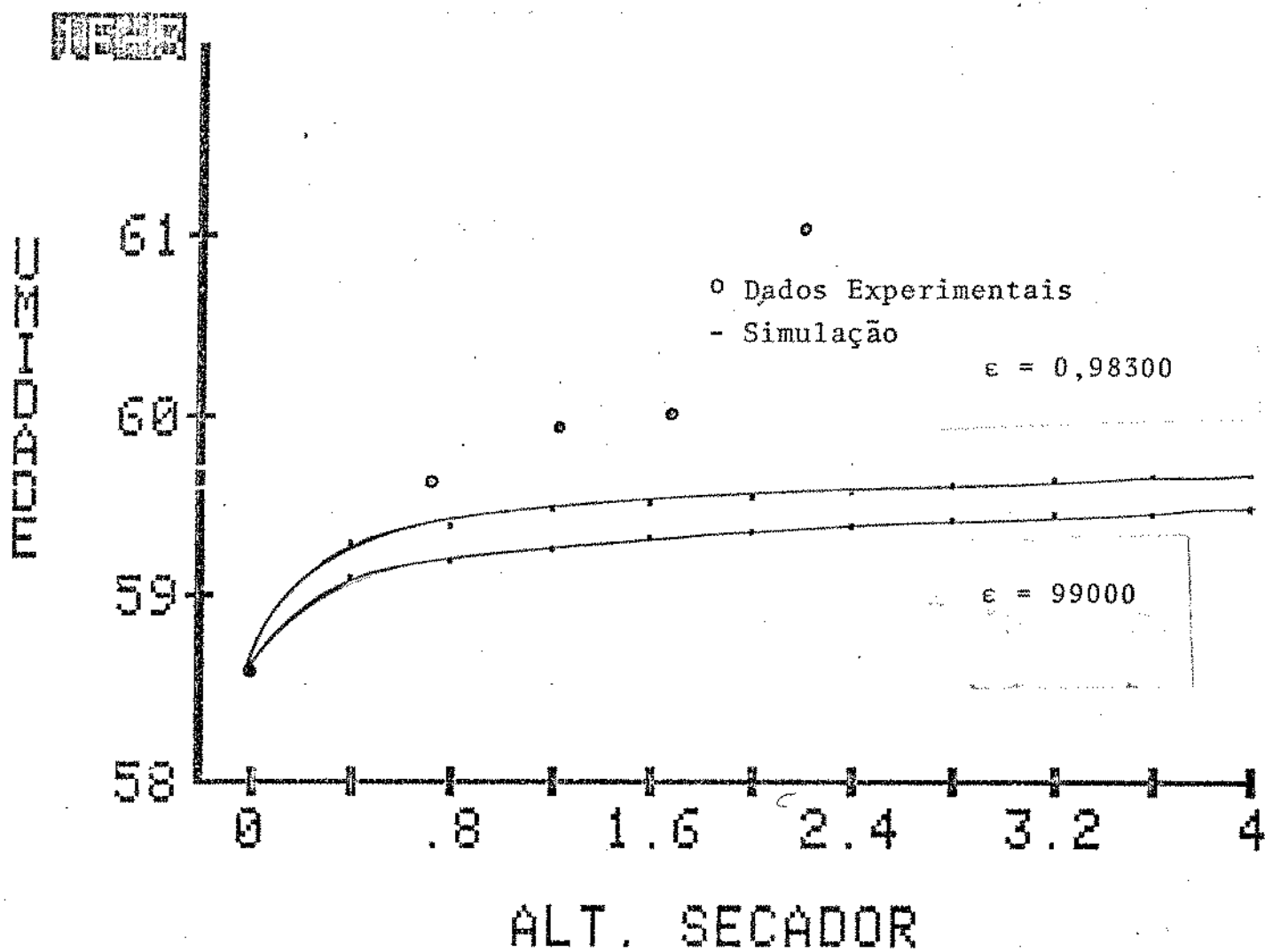


Figura 33 - GRÁFICO OBTIDO COM RESULTADOS DAS TABELAS 24 E 25

C032985

CORRIDA NUM=32

DADOS NO SISTEMA M.K.S

DENSIDADE SOLIDO=2715
 DIAMETRO SOLIDO=4.6E-04
 ALTURA SECADOR=4
 CALOR ESP. SOLIDO=799
 DIAMETRO TUBO =.0525
 VAZAO DO SOLIDO=7.55E-03
 VAZAO DO AR =.03943
 POROSIDADE INIC.=.98500
 PRESSAO INICIAL = 95800
 TEMP INICIAL AR =150
 TEMP INICIAL SOL=25
 UMIDADE INIC. AR=.0366
 UMIDADE INIC SOL=5.8E-03

 TEMP. BULBO UMIDA=47.35
 YE=.079

Z	V. SOL	V. AR	POROS.	PRES.	T. AR	T. SOL	X. SOL	Y. AR
0.0	0.09	14.34	0.98500	95800	150.00	25.00	5.80	36.60
0.4	2.02	14.14	0.99936	95765	148.36	30.37	3.92	36.96
0.8	3.85	14.13	0.99967	95749	145.82	47.47	3.61	37.02
1.2	5.41	14.13	0.99976	95735	143.42	64.04	3.43	37.05
1.6	6.71	14.13	0.99981	95723	141.43	77.83	3.30	37.08
2.0	7.77	14.13	0.99983	95713	139.87	88.66	3.21	37.10
2.4	8.60	14.13	0.99985	95703	138.67	97.01	3.12	37.11
2.8	9.23	14.13	0.99986	95694	137.74	103.45	3.05	37.13
3.2	9.69	14.13	0.99987	95686	137.01	108.48	2.98	37.14
3.6	10.01	14.13	0.99987	95679	136.43	112.46	2.92	37.15
4.0	10.22	14.13	0.99987	95672	135.95	115.67	2.86	37.16

Tabela 26 - RESULTADOS OBTIDOS COM DADOS DA CORRIDA Nº 32 EPOROSIDADE INICIAL 0,98500

C03299

CORRIDA NUM=32

DADOS NO SISTEMA M.K.S

DENSIDADE SOLIDO=2715
 DIAMETRO SOLIDO=4.6E-04
 ALTURA SECADOR=4
 CALOR ESP. SOLIDO=799
 DIAMETRO TUBO =.0525
 VAZAO DO SOLIDO=7.55E-03
 VAZAO DO AR =.03943
 POROSIDADE INIC.=.99000
 PRESSAO INICIAL = 95800
 TEMP INICIAL AR =150
 TEMP INICIAL SOL=25
 UMIDADE INIC. AR=.0366
 UMIDADE INIC SOL=5.8E-03

 TEMP. BULBO UMIDA=47.35
 YE=.079

Z	V. SOL	V. AR	POROS.	PRES.	T. AR	T. SOL	X. SOL	Y. AR
0.0	0.13	14.27	0.99000	95800	150.00	25.00	5.80	36.60
0.4	2.11	14.14	0.99939	95770	148.28	32.34	4.35	36.88
0.8	3.93	14.13	0.99967	95754	145.76	49.31	4.05	36.93
1.2	5.48	14.13	0.99977	95740	143.40	65.57	3.88	36.97
1.6	6.77	14.13	0.99981	95728	141.45	79.06	3.75	36.99
2.0	7.82	14.13	0.99984	95718	139.92	89.64	3.65	37.01
2.4	8.64	14.13	0.99985	95708	138.74	97.80	3.57	37.03
2.8	9.26	14.13	0.99986	95700	137.83	104.10	3.50	37.04
3.2	9.71	14.13	0.99987	95691	137.11	109.01	3.43	37.05
3.6	10.02	14.13	0.99987	95684	136.54	112.92	3.37	37.07
4.0	10.23	14.13	0.99987	95677	136.07	116.07	3.31	37.08

Tabela 27 - RESULTADOS OBTIDOS COM DADOS DA CORRIDA Nº 32 E
POROSIDADE INICIAL 0,99000

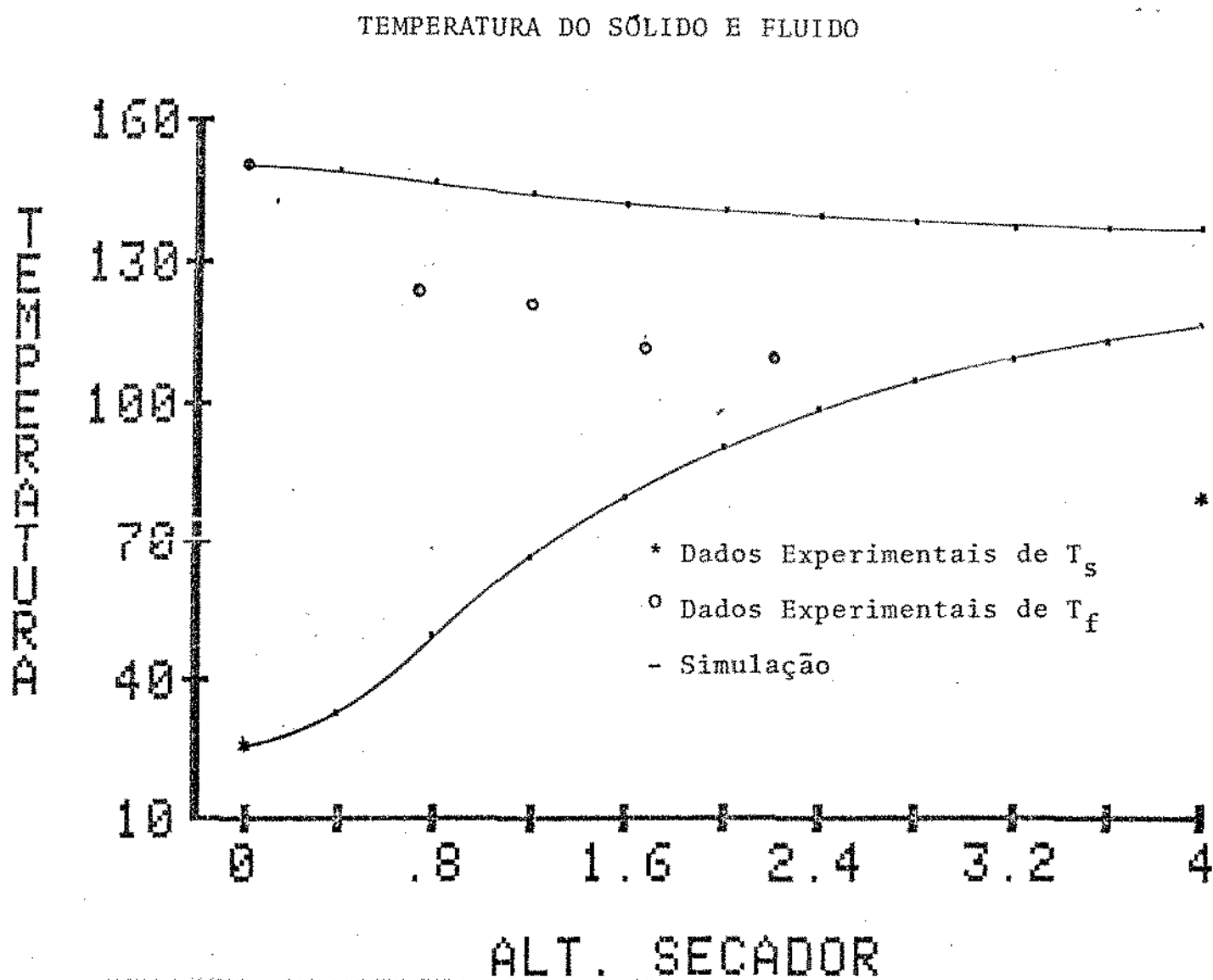
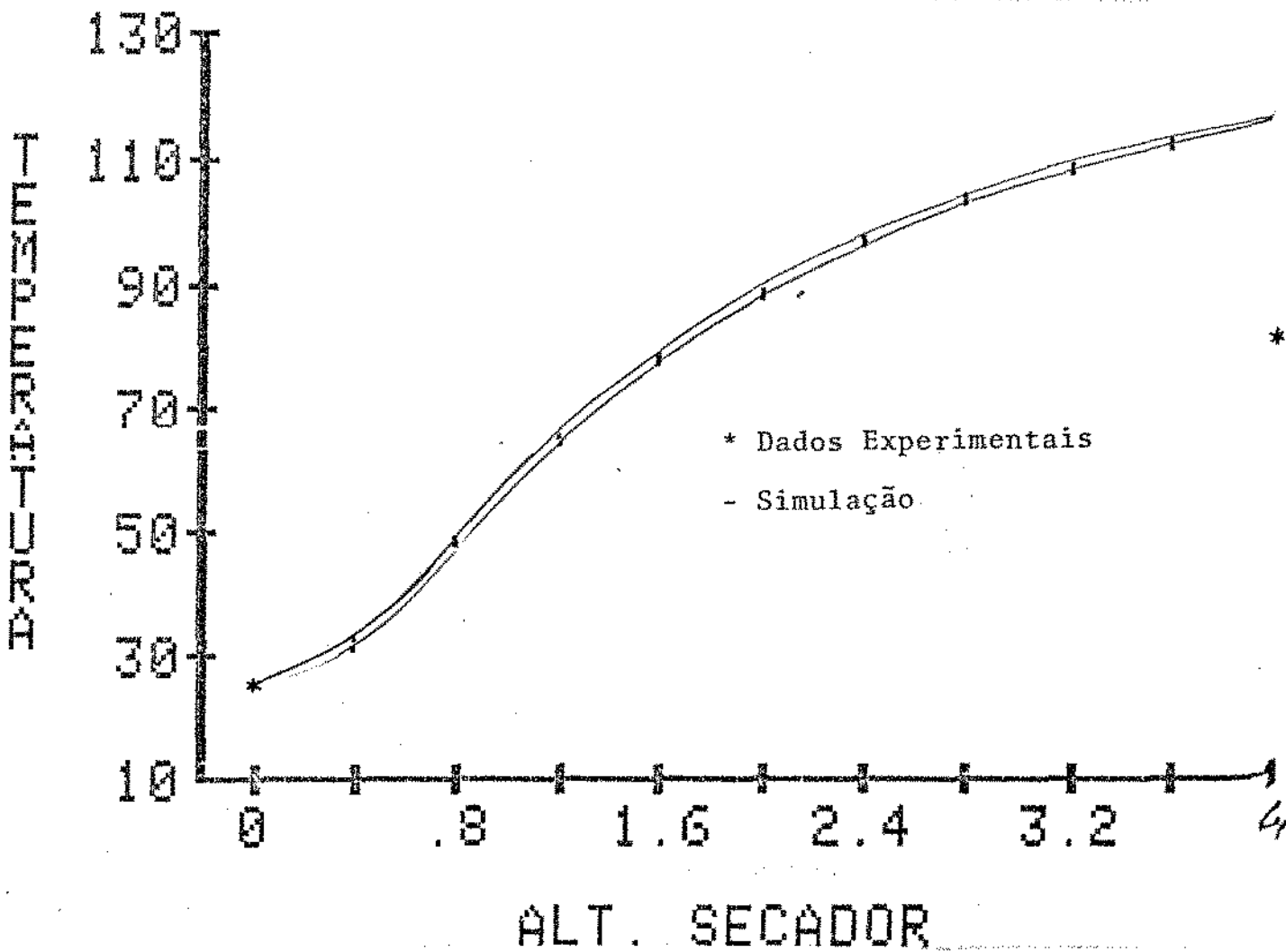


Figura 34 - GRÁFICO OBTIDO COM RESULTADOS DA TABELA 27

TEMPERATURA DO SÓLIDO



Temperatura do sólido para $\epsilon = 0,99000$ e $\epsilon = 0,98500$

Figura 35 - GRÁFICO OBTIDO COM OS RESULTADOS DAS TABELAS 26 E 27

UNIDADE DO SOLIDO

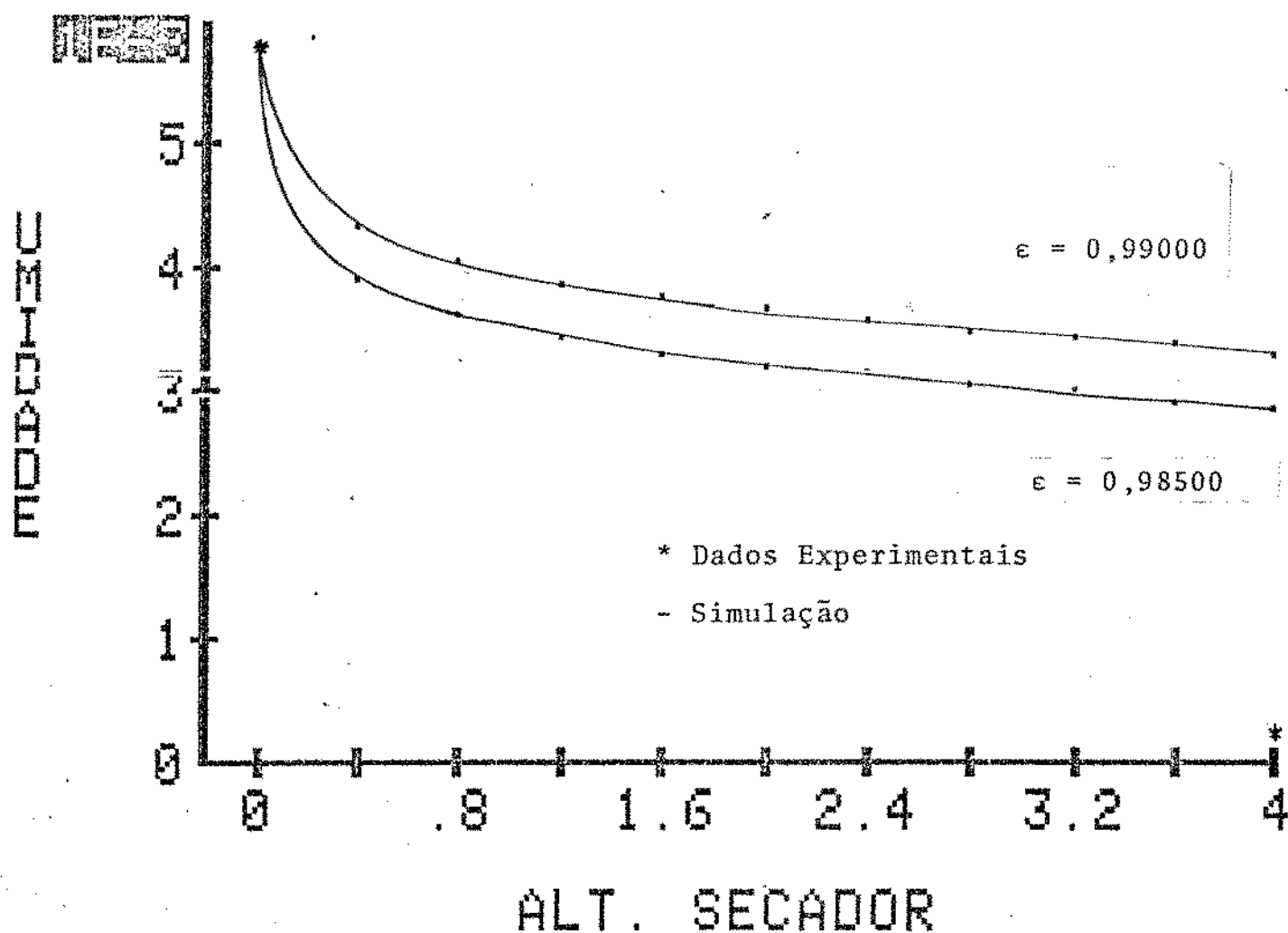


Figura 36 - GRÁFICO OBTIDO COM OS RESULTADOS DAS TABELAS 26 E 27

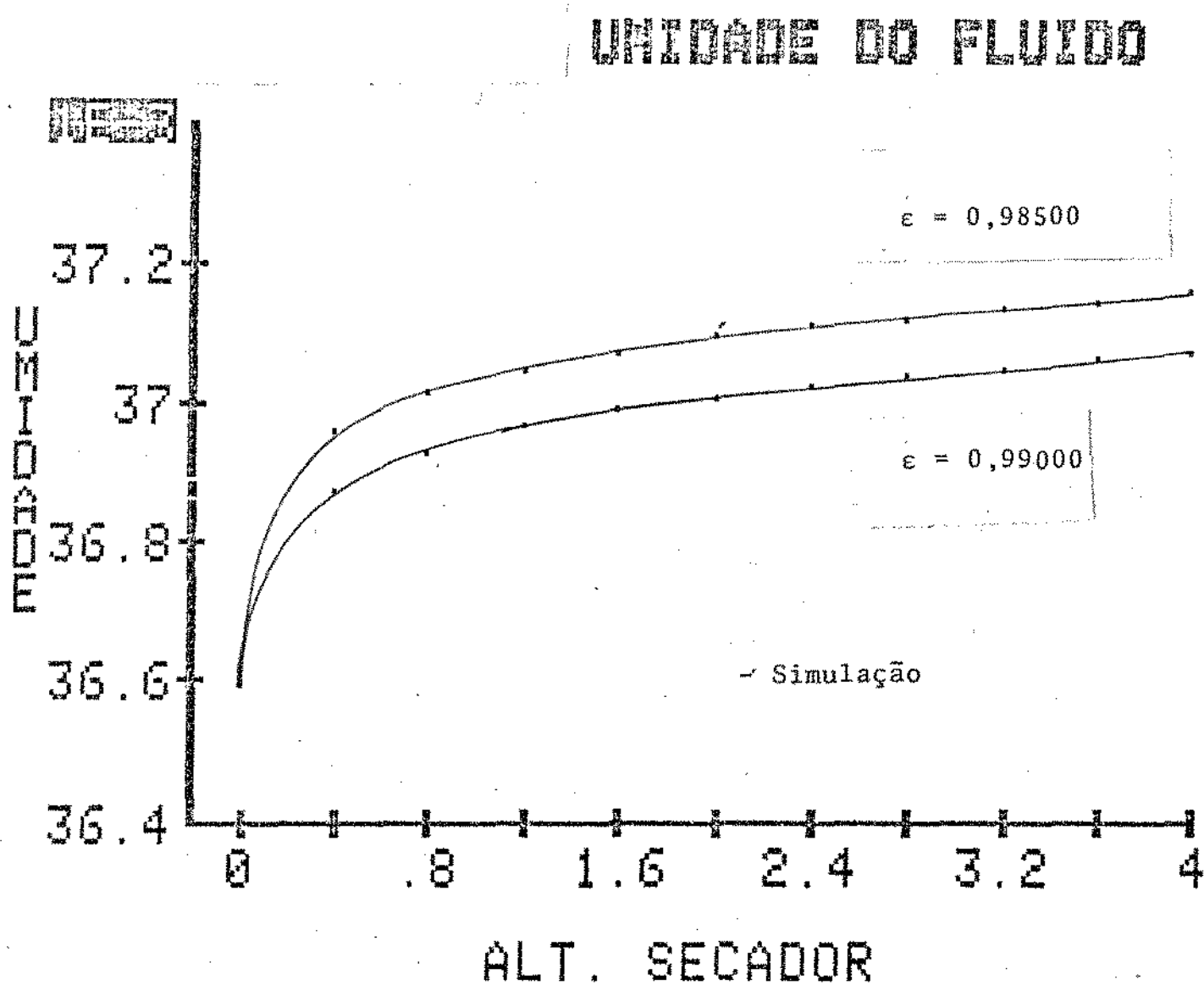


Figura 37 - GRÁFICO OBTIDO COM OS RESULTADOS DAS TABELAS 26 E 27

CAPÍTULO 7

7.1. ANÁLISE DOS RESULTADOS

7.1.1. FORMULAÇÃO NÃO INCLUINDO TRANSPORTE DE MASSA

Na formulação não incluindo transporte de massa, observamos que os resultados das corridas números 1, 6, 20, 21 para a temperatura final do fluido são satisfatórios, permitindo uma boa previsão dos mesmos pela formulação.

Outro fato relevante é que a formulação proposta baseia-se em equações básicas de conservação, na qual são justificadas as simplificações utilizadas.

Não dispomos de dados experimentais para verificar as variáveis, velocidade do sólido e fluido, porosidade e pressão mas os resultados obtidos nos parecem porém compatíveis com os dados de transporte dos escoamentos.

A formulação poderá ser melhorada com a inclusão de expressões mais precisas para o cálculo do Nusselt do escoamento e ainda levantando as várias restrições da formulação tais como, as propriedades físicas do fluido, que foram consideradas constantes.

Um refinamento ainda maior da formulação seria considerar o gradiente interno de temperatura das partículas partindo para uma formulação bidimensional.

7.1.2. FORMULAÇÃO INCLUINDO TRANSPORTE DE MASSA

Os resultados obtidos para a secagem das partículas de

vidro e areia foram altamente satisfatórios para a umidade do sólido, deixando a desejar quanto à temperatura do sólido e fluido. Por exemplo, o gráfico das figuras 15 e 19 mostram que escolhendo valores iniciais da porosidade, entre os valores testados, podemos obter a umidade final do sólido que foi determinada experimentalmente.

Quanto às temperaturas do sólido e do fluido os resultados poderão ser melhorados incluindo na formulação outros tipos de forças motrizes desprezadas nesse trabalho como aspecto positivo da formulação temos que ela é derivada das equações básicas de conservação constituindo um tratamento raramente encontrado em outros textos.

Outro aspecto positivo é o método para determinação da temperatura de bulbo úmido a partir dos valores iniciais da temperatura e umidade do ar, cujos valores obtidos concordam plenamente com os resultados experimentais.

Deve ser ressaltado que em todos os casos apresentados, se aumentarmos o valor da porosidade, obtivemos valores maiores da temperatura do fluido e umidade do sólido que concordam com o fato de que para porosidades elevadas, a resistência à passagem do ar é pequena e conseqüentemente a transferência de calor é menor ocasionando assim uma temperatura final do fluido maior.

No caso do secador, não dispomos de dados experimentais completos de todas as variáveis de tal forma que porosidade, velocidade do sólido e fluido não puderam ser testados e outras variáveis, apenas numa determinada faixa, porém os resultados obtidos são compatíveis com os dados de transporte

dos escoamentos.

Poderíamos ainda levantar as restrições quanto as propriedades físicas do fluido.

A parte gráfica do trabalho foi uma tentativa de utilização dos microcomputadores na confecção dos gráficos, construídos com os valores obtidos nos programas, e mostrou-se bastante rápida mas ainda com algumas falhas que poderão ser evitadas com melhores pacotes gráficos de software e melhores impressoras, dentro das limitações da formulação, do número de iterações em seu cálculo e do fato de utilizarmos-nos de um microcomputador, os resultados obtidos são satisfatórios.

CAPÍTULO 8

8.1. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O principal objetivo do presente trabalho consistiu na utilização de equações fundamentais para os fenômenos de transferência em escoamentos gás-sólido visando a simulação de secadores pneumáticos.

Nessa simulação procurou-se evidenciar a influência da porosidade do sistema utilizando-se equações onde esse parâmetro é considerado.

Com relação ao processo de transferência de calor associado à dinâmica do escoamento simultâneo gás-sólido mas sem transferência de massa, as conclusões principais são :

a - por se tratar de um problema de resolução de equação diferenciais com valores iniciais, pode-se atribuir a variável porosidade um valor qualquer, compatível com o escoamento pneumático e observa-se que ao aumentarmos o valor da porosidade, obtem-se para a temperatura do ar valores mais elevados, resultado esse compatível com o fato de que para porosidades elevadas, a resistência à passagem do ar é pequena e conseqüentemente a transferência de calor é menor ocasionando para o ar uma temperatura final maior.

b - houve ainda uma boa concordância entre os dados calculados e experimentais conforme as comparações apresentadas nos gráficos.

Com relação ao sistema completo com as 8 equações que

descrevem o escoamento gás-sólido combinado com a transferência de calor e de massa, foram verificados os seguintes aspectos :

- a conclusão inicial tratada acima continua válida;
- em sistemas como o das figuras 15, 19 observamos a influência da porosidade, pois os dados experimentais ficam entre dois valores iniciais da porosidade;
- o método para determinação da temperatura de bulbo úmido a partir dos valores iniciais da temperatura e umidade do ar mostrou-se apropriado ao problema do cálculo da umidade de saturação;
- no cálculo da umidade do sólido, houve uma boa concordância com os resultados experimentais conforme as comparações apresentadas nos gráficos.

Concluimos que modelos que levem em consideração a variação da porosidade ao longo do tubo de secagem poderão descrever o transporte pneumático de forma mais completa, inclusive na região inicial do secador na qual a aceleração das partículas é maior.

Em continuidade aos estudos realizados no presente trabalho apresentamos a seguir um conjunto de sugestões:

- a - Verificação do modelo numa faixa mais ampla de dados, tais como ; diâmetro de tubos diferentes, massas específicas diferentes;
- b - Ampliação do modelo visando retirar as restrições quanto a não variação das propriedades físicas do gás;

- c - Ampliação do modelo considerando o efeito da população de partículas e da sua esfericidade;
- d - Análise do conjunto de equações propostas para transferência de calor e massa procurando incluir outros tipos de forças motrizes;
- e - Um estudo mais profundo da área de contato da partícula por unidade de volume do sistema para a transferência de calor e massa.
- f - Um estudo matemático mais profundo da existência e unicidade do sistema de equações propostos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMUNDSON, N.R., Heat Transfer in fluidised and moving beds. Interaction Between Fluids & Particles (London :Intr. Chem. Angrs.), 1961, : 1976-1982.
2. ANDRIEU, J. e BRESSAT, R., Experimental and Theoretical Study of a Pneumatic Dryer. 3rd Int. Drying Symp. Birmingham, UK, 1982: 10-19.
3. ARASTOPOUR, H. e GIDASPOW, D., Vertical pneumatic conveying using four hidrodynamic models. Ind. Eng. Chem. Fundam. 1979, 18 (2): 123-120.
4. ARASTOPOUR, H. e GIDASPOW, D., Analysis of IGT pneumatic conveying data fast fluidization using a termohydrodynamic model, Powder Techonology, 1979, 22 : 77-87.
5. BAKKER-ARKEMA, F.W., LEREW, L.E., and DeBOER., Grain Dryer Simulation. Agr. Expt. Sta. Bull. 224, 1974, Michigan Stat Univ., Mich.
6. BIRD, R.B., STEWART, W.E. e LIGHTFOOT, E.N., Fenômenos de Transporte, Espanha, Editorial Reverté SA. 1978.
7. BOWEN, R.M., Theory of Mixtures. Continuum Physics. (ed. Eringen, A.C.) 1976, vol. III, Academic Press.
8. BROOKER, D.B., Mathematical Model of the Psychrometric chart. Trans. ASAE 10: 558-556.
9. BROOKER, D.B., BAKKER-ARKEMA, F.N. e HALL, C.W., Drying Cereal Grains. 1974, The Avi Publishing Company, Inc.

10. BUDDE, D., HEBECKER, D. e SCHMIDT, H., Mathematical description of heat transfer process in flowing suspensions at high temperatures. International Chemical Engineering: 1978, 18 (4): 575-591.
11. CAPES, C.E. e NAKAMURA, K., Vertical Pneumatic Conveying : An experimental study with particles in the intermediate and turbulent flow regimes. The Canadian journal of Chemical Engineering. 1973, 51: 39-46
12. DEICH, M.E. et al, Critical conditions in Two-phase flows with a continuous vapor or gas phase. High temperature , 1974, 12 (2): 299-307.
13. DEPEW, C.A. e KRAMER, T.J., Heat Transfer to flowing gas-solid mixtures. Advances in heat transfer vol. V.
14. FARBAR, L. e MORLEY, M.J., Heat Transfer to flowing gas-solids mixtures in a circular tube. Industrial and Engineering Chemistry 1957, 49 (7): 1143-1150.
15. FARBAR, L. e DEPEW, C.A., Heat transfer effects to gas-solids mixtures using solid spherical particles of uniform size. I&EC Fundamentals. 1963, 2 : 130-135.
16. FARIA, L.J.G., Estudo experimental do secador pneumático vertical. Tese de Mestrado da FEC/UNICAMP.
17. KACZMARZYK, G. e BANDROWSKI, J., Gas-solid heat transfer coefficient in vertical pneumatic transport. International Chemical Engineering. 1980, 20(1): 98-110
18. LEFROY, G.A. e DAVIDSON, J.F., The mechanics of spouted beds. Trans. Instn. Chem. Engrs. 1969, 47 : 120-128.

19. LIU, I-SHIH e SAMPAIO, R., Sobre a anisotropia dos meios porosos. Anais do V Encontro sobre meios Porosos. Rio de Janeiro. 1977, 1 : 3.1-3.19.
20. LIU, I-SHIH., On fluid pressure and buoyancy force in porous media. Revista Brasileira de Tecnologia. 1980, 11: 35-43.
21. MASSARANI, G. e SANTANA, C.C., Força resistiva sólido-fluido em sistemas particulados de porosidade elevada, Revista Brasileira de Tecnologia. 1980, 11 (1).
22. MENDES, M.J., Modelamento de Secadores Pneumáticos. Trabalho apresentado no I Congresso Brasileiro de Engenharia Química . São Paulo.
23. MUJUNDAR, A.S., Drying of granular materials. Lectures notes. 1981, McGill University.
24. NAKAMURA, K. e CAPES, C.E., Vertical Pneumatic Conveying: A Theoretical study of uniform and annular particle flow models. The Canadian Journal of Chemical Engineering. 1973, 51: 39:46.
25. PERRY, R.H., Chemical Engineer's handbook. 5 ed. New York, Mc Graw-Hill, 1973.
26. PFEFFER, R., Heat and mass transport in multiparticle systems. I&EC Fundamentals. 1964, 3 (4): 380-383.
27. SAMPAIO, R. e WILLIAN, W.O., On some applications of mixture theory to Chemical Engénering. Publicação COPPE; PTC 35-77, 1977, UFRJ.

28. SANTOS, S.C., Transferência de calor no transporte pneumático vertical de partículas sólidas. Publicação do DEQ/FEC/UNICAMP, 1981.
29. SHOOK, C.A. e MASLIYAH, J.H., Flow of a slurry through a venturi meter. The Canadian Journal of Chemical Engineering. 1971, 52 : 22 -233.
30. SOO, S.L. Fully developed turbulent pipe flow of a gas-solid suspension. I&EC Fundamentals. 1962, 1 (1): 33-37.
31. SOO, S.L., Fluid dynamics of Multiphase Systems. BLAISDELL PUBLISHING CO., 1967. WALTHAM, MASS.
32. TELLES, A.S., Fenômenos de dispersão em meios porosos. Anais do II Encontro de Escoamento em Meios Porosos. Rio Claro, 1974, I : 1-34.
33. TIEN, C.L., Heat Transfer by a turbulente flowing fluid-solids mixture in a pipe. Journal of Heat transfer. Trans. of the ASME. 1961: 183-188.
34. TORREZAN, L., SARTORI, D. e SANTANA, C.C., Coeficiente global de transferência de calor gás-sólidos no transporte pneumático. Anais do XI Encontro sobre Escoamento em Meios Porosos. 1983, I : 94-102.
35. TRUESDELL, C., ATTI. Accad. naz. Lincei. Rc. Ser. 8. 1957, 22: 33-158.
36. VORTMEYER, D. e SCHAEFER, R.J., Equivalence of one- and two phase models for heat transfer process in packed beds: one dimensional theory. Chemical Engineering Science. 1974, 29 : 485-491.

37. WALLIS, G.B., One-dimensional two-phase flow. 1969.
Mac Graw-Hill. Book Company.

APÊNDICE A

TRANSPORTE PNEUMATICO

```

-----
5     HOME
-----
6     CLEAR
-----
10    HOME
-----
15    DIM C(20,20),X(25),F(20),Y(25)
-----
16    DIM A(11,9)
-----
20    HTAB 3
      : VTAB 10
      : PRINT "**** TRANSPORTE PNEUMATICO  ***"
      : PRINT
      : PRINT
      : PRINT "      SIMULACAO MATEMATICA  "
      : VTAB 20
      : INPUT "<RETURN> INICIA";F#
-----
30    HOME
-----
40    REM  INICIO PROGRAMA
-----
50    HTAB 8
      : PRINT "DADOS NO SISTEMA M.K.S "
-----
60    PRINT
      : PRINT
      : PRINT
-----
70    HTAB 3
      : INPUT "DENSIDADE SOLIDO=";RS
-----
80    HTAB 3
      : INPUT "DIAMETRO SOLIDO=";DP
-----
90    HTAB 3
      : INPUT "ALTURA SECADOR=";Z
-----
100   HTAB 3
      : INPUT "CALOR ESP.SOLIDO=";CS
-----
110   HTAB 3
      : INPUT "DIAMETRO TUBO =" ;DT
-----
120   HTAB 3
      : INPUT "VELOC. DO SOLIDO=";VS
-----
130   HTAB 3
      : INPUT "VELOC. DO AR =" ;VF
-----
135   HTAB 3
      : INPUT "CONCENTRACAO VOL=";BV
-----
150   HTAB 3
      : INPUT "PRESSAO INICIAL =" ;PR
-----
160   HTAB 3
      : INPUT "TEMP INICIAL AR =" ;TF
-----
170   HTAB 3
      : INPUT "TEMP INICIAL SOL=" ;TS
-----
200   REM  SUB: CONFERIR DADOS
-----

```

```

210 REM ROTINA PARA CONFERIR DADOS
-----
220 HOME
: PRINT "CONFIRA OS DADOS"
-----
225 HTAB 3
: PRINT "DENSIDADE SOLIDO=";RS
-----
230 HTAB 3
: PRINT "DIAMETRO SOLIDO=";DP
-----
240 HTAB 3
: PRINT "ALTURA SECADOR=";Z
-----
250 HTAB 3
: PRINT "CALOR ESP.SOLIDO=";CS
-----
260 HTAB 3
: PRINT "DIAMETRO TUBO=";DT
-----
270 HTAB 3
: PRINT "VELOC. DO SOLIDO=";VS
-----
280 HTAB 3
: PRINT "VELOC. DO AR=";VF
-----
285 HTAB 3
: PRINT "CONCENTRACAO VOL=";BV
-----
300 HTAB 3
: PRINT "PRESSAO INICIAL=";PR
-----
310 HTAB 3
: PRINT "TEMP INICIAL AR=";TF
-----
320 HTAB 3
: PRINT "TEMP INICIAL SOL=";TS
-----
350 VTAB 24
: INPUT "<RETURN> CONTINUA <A> ALTERAR DADOS";X$
-----
360 IF X$ = "A" THEN GOTO 390
-----
370 HOME
: PRINT "<S> CONFERE NOVAMENTE "
: PRINT
: PRINT "< RETURN > CONTINUA"
: VTAB 20
: INPUT "SUA ESCOLHA ";J$
: IF J$ = "S" THEN 200
-----
380 GOTO 690
-----
390 HOME
: PRINT "<1> ALTERA DENS. SOLIDO"
-----
400 PRINT "<2> ALTERA DIAMETRO SOL"
-----
410 PRINT "<3> ALTERA ALTURA SECAD"
-----
420 PRINT "<4> ALTERA CALOR ESPEC."
-----
430 PRINT "<5> ALTERA DIAM. TUBO "
-----
440 PRINT "<6> ALTERA VELOC SOLIDO"
-----
450 PRINT "<7> ALTERA VELOC DO AR "
-----

```

TRANSPORTE PNEUMATICO

```

-----
455 PRINT "<8> ALTERA CONCENTRACAO VOL"
470 PRINT "<9> ALTERA PRESS. INIC."
480 PRINT "<10> ALTERA TEMP INIC AR"
490 PRINT "<11> ALTERA TEMP INIC SOL"
520 PRINT "<12> RETORNAR "
-----
530 VTAB 20
   : INPUT "SUA ESCOLHA=";S
-----
540 ON S GOTO 560,570,580,590,600,610,620,625,640,650,660,350
550 ONERR GOTO 530
-----
560 HOME
   : HTAB 3
   : INPUT "DENSIDADE SOLIDO=";RS
   : GOTO 220
-----
570 HOME
   : HTAB 3
   : INPUT "DIAMETRO SOLIDO=";DP
   : GOTO 220
-----
580 HOME
   : HTAB 3
   : INPUT "ALTURA SECADOR=";Z
   : GOTO 220
-----
590 HOME
   : HTAB 3
   : INPUT "CALOR ESP.SOLIDO=";CS
   : GOTO 220
-----
600 HOME
   : HTAB 3
   : INPUT "DIAMETRO TUBO =" ;DT
   : GOTO 220
-----
610 HOME
   : HTAB 3
   : INPUT "VELOC. DO SOLIDO=";VS
   : GOTO 220
-----
620 HOME
   : HTAB 3
   : INPUT "VELOC. DO AR =" ;VF
   : GOTO 220
-----
625 HOME
   : HTAB 3
   : INPUT "CONCENTRACAO VOL=";BV
   : GOTO 220
-----
640 HOME
   : HTAB 3
   : INPUT "PRESSAO INICIAL =" ;PR
   : GOTO 220
-----
650 HOME
   : HTAB 3
   : INPUT "TEMP INICIAL AR =" ;TF

```



```

      : GOTO 220
-----
660  HOME
      : HTAB 3
      : INPUT "TEMP INICIAL SOL=";TS
      : GOTO 220
-----
690  HOME
      : VTAB 8
      : HTAB 3
      : PRINT "ESCOLHA O NUSSELT"
-----
700  PRINT
      : PRINT
      : PRINT
-----
710  HTAB 3
      : PRINT "<1> NUSSELT LILIAN ANT."
-----
720  HTAB 3
      : PRINT "<2> NUSSELT LILIAN RECENTE"
-----
730  HTAB 3
      : PRINT "<3> NUSSELT KACSMARZYK"
-----
740  HTAB 3
      : PRINT "<4> NUSSELT CHUKHANOV "
-----
750  VTAB 20
      : PRINT "SUA ESCOLHA";
      : GET Q
-----
760  ON Q GOTO 780,790,800,810
-----
770  TEXT
      : HOME
-----
780  K = 1
      : GOTO 830
-----
790  K = 2
      : GOTO 830
-----
800  K = 3
      : GOTO 830
-----
810  K = 4
      : GOTO 830
-----
820  HOME
-----
830  REM      SIMULACAO HIDRODINAMICA E TERMICA
-----
850  READ RF,XMI,G,KF,CF
-----
860  HOME
-----
865  REM PARA OBTEN OS MESMOS RESULTADOS DO ITRUTEC
-----
866  REM RS=1.29##CF=1040
-----
870  DATA 1.15,0.000018,9.81,0.0321,1013.2
-----
880  REM ENTRADA DE Z0, N,NDI
-----
890  READ Z0,N,NDI
-----
900  DATA 0,8,100

```

TRANSPORTE PNEUMATICO

```

-----
910  REM  ENTRADA DAS COND. INICIAIS
-----
920  EP = 1 / (1 + BV)
-----
940  X(1) = VS
     : X(2) = VF
     : X(3) = EP
     : X(4) = PR
     : X(5) = TF
     : X(6) = TS
-----
950  REM  CALCULO DO PASSO
-----
960  PASSO = (Z - Z0) / NDI
-----
980  LET J = 0
-----
990  P = 1
-----
1010 REM  IMPRESSAO DADOS
-----
1020 IF J = 0 OR J = 10 OR J = 20 OR J = 30 OR J = 40 OR J = 50 OR J = 6
     0 OR J = 70 OR J = 80 OR J = 90 OR J = 100 THEN GOTO 1040
-----
1030 GOTO 1210
-----
1040 PRINT "*****"
-----
1050 PRINT "#####"
-----
1060 PRINT "Z=";Z0
-----
1070 PRINT "VS=";X(1),
-----
1080 PRINT "VF=";X(2)
-----
1090 PRINT "E=";X(3),
-----
1100 PRINT "P=";X(4)
-----
1110 PRINT "TF=";X(5),
-----
1120 PRINT "TS=";X(6)
-----
1150 FOR I = 1 TO 6
-----
1160   A(P, I) = X(I)
     :   A(P, 7) = Z0
-----
1190 NEXT I
-----
1200 P = P + 1
-----
1210 GOSUB 1460
-----
1220 J = J + 1
-----
1230 IF J <= NDI THEN GOTO 1010
-----
1240 PRINT "REA=";REA, "NU=";NU
-----
1250 RESTORE
-----
1251 RESTORE
-----

```

```

1252  RESTORE
-----
1270  PRINT "<1> RODAR NOVAMENTE"
-----
1275  PRINT "<2> RODAR CORRIGINDO DADOS E NUSSELT"
-----
1280  PRINT "<3> GRAFICOS "
-----
1290  PRINT "<4> FIM"
-----
1300  INPUT "SUA ESCOLHA=";D
-----
1310  ON D GOTO 5,1311,1320,1440
-----
1311  RESTORE
-----
1312  RESTORE
-----
1313  GOTO 210
-----
1320  INPUT "NOME DO ARQUIVO=";F$
-----
1330  PRINT CHR$(4);"OPEN";F$;"",L200"
-----
1340  FOR P = 1 TO 11
-----
1350      PRINT CHR$(4);"WRITE";F$;"",R"P
-----
1360  FOR I = 1 TO 7
-----
1370      PRINT A(P,I)
-----
1380  NEXT I
-----
1390  NEXT P
-----
1400  PRINT CHR$(4)"CLOSE"
-----
1410  RESTORE
-----
1420  PRINT "RODAR PROGRAMA TEXT/GRAF"
-----
1430  GOTO 1270
-----
1440  END
-----
1450  REM SUBROTINA RUNGE KUTTA
-----
1460  FOR I = 1 TO N
-----
1470      LET Y(I) = X(I)
-----
1490  NEXT
-----
1500  LET Z1 = Z0
-----
1510  GOSUB 1800
-----
1530  FOR I = 1 TO N
-----
1540      C(1,I) = PASSO * F(I)
-----
1550  X(I) = X(I) + C(1,I) / 2
-----
1560  NEXT
-----
1570  Z0 = Z0 + PASSO / 2
-----

```

TRANSPORTE PNEUMATICO

```

-----
1580 GOSUB 1800
-----
1600 FOR I = 1 TO N
-----
1610 C(2,I) = PASSO * F(I)
-----
1620 LET X(I) = Y(I) + C(2,I) / 2
-----
1630 NEXT
-----
1640 GOSUB 1800
-----
1660 FOR I = 1 TO N
-----
1670 LET C(3,I) = PASSO * F(I)
-----
1680 LET X(I) = Y(I) + C(3,I)
-----
1690 NEXT
-----
1700 LET Z0 = Z1 + PASSO
-----
1710 GOSUB 1800
-----
1730 FOR I = 1 TO N
-----
1740 C(4,I) = PASSO * F(I)
-----
1750 X(I) = Y(I) + (C(1,I) + 2 * C(2,I) + 2 * C(3,I) + C(4,I)) / 6
-----
1760 NEXT
-----
1770 RETURN
-----
1780 REM SUBROTINA F
-----
1790 REM DEF. EQ. DIF.
-----
1800 UV = X(2) - X(1)
-----
1810 REM DEF. FORCA ARRASTE
-----
1820 REA = (UV * RF * DP * X(3)) / XMI
-----
1830 IF REA > 1000 THEN GOTO 1860
-----
1840 CDS = (24 / REA) * (1 + 0.15 * (REA ^ 0.687))
-----
1850 GOTO 1870
-----
1860 CDS = 0.44
-----
1870 FS = ((3 * CDS * RF * (UV ^ 2)) * (X(3) ^ (- 2.65))) / (4 * DP)
-----
1880 REM DEF. GS,GF,BV,NU
-----
1890 BV = (1 - X(3)) / X(3)
-----
1900 REM DEF. DOS F(I)
-----
1910 F1 = RS * UV * ((X(2) / X(3)) + (X(1) / (1 - X(3))))
-----
1920 F(3) = (FS - RS * G) / F1
-----
1930 F(2) = (- X(2) / X(3)) * F(3)
-----

```

```

-----
1940 F(1) = (X(1) / (1 - X(3))) * F(3)
-----
1950 F(4) = ((RF * (X(2) ^ 2)) - (RS * (X(1) ^ 2))) * F(3) - (RF * X(3)
+ ((1 - X(3)) * RS)) * G
-----
1951 BB = 0.300 - 74.627 * BV
-----
1955 IF K = 1 THEN NU = 2 + ((0.4 * (REA ^ 0.5)) ^ 1.25 + (BB * (REA ^ 0
.82)) ^ 1.25) / 0.8
-----
1957 IF K = 2 THEN NU = 0.0022 * (REA ^ 0.9066) * (BV ^ (- 0.6019))
-----
1959 IF K = 3 THEN NU = 0.00114 * (REA ^ 0.8159) * (BV ^ (- 0.5984))
-----
1961 IF K = 4 THEN NU = 0.006 * (REA ^ 0.80) * (BV ^ (- 0.43))
-----
2040 HA = (6 * (1 - X(3)) * NU * KF) / (DP ^ 2)
-----
2060 F(5) = (HA * (X(6) - X(5))) / (RF * X(2) * X(3) * CF)
-----
2070 F(6) = (HA * (X(5) - X(6))) / (RS * CS * X(1) * (1 - X(3)))
-----
2100 RETURN

```

APÊNDICE B

SECADOR PNEUMATICO

```

-----
100  HOME
-----
200  CLEAR
-----
300  HOME
-----
400  DIM C(8,10),X(25),F(10),Y(25),W(50)
-----
500  DIM A(11,9)
-----
600  HTAB 3
      : VTAB 10
      : PRINT "*** SECADOR PNEUMATICO ***"
      : PRINT
      : PRINT
      : PRINT "    SIMULACAO MATEMATICA  "
      : VTAB 20
      : INPUT "<RETURN> INICIA";F$
-----
700  HOME
-----
800  REM  INICIO PROGRAMA
-----
900  HTAB 8
      : PRINT "DADOS NO SISTEMA M.K.S "
-----
1000 PRINT
      : PRINT
      : PRINT
-----
1050 HTAB 3
      : INPUT "CORRIDA NUM=";CO
-----
1060 PRINT
-----
1100 HTAB 3
      : INPUT "DENSIDADE SOLIDO=";RS
-----
1200 HTAB 3
      : INPUT "DIAMETRO  SOLIDO=";DP
-----
1300 HTAB 3
      : INPUT "ALTURA  SECADOR=";Z
-----
1400 HTAB 3
      : INPUT "CALOR ESP.SOLIDO=";CS
-----
1500 HTAB 3
      : INPUT "DIAMETRO  TUBO =" ;DT
-----
1600 HTAB 3
      : INPUT "VAZAO  DO SOLIDO=";GS
-----
1700 HTAB 3
      : INPUT "VAZAO  DO  AR  =" ;GF
-----
1800 HTAB 3
      : INPUT "POROSIDADE INIC.=";EP
-----
1900 HTAB 3
      : INPUT "PRESSAO INICIAL =" ;PR
-----
2000 HTAB 3
      : INPUT "TEMP INICIAL AR =" ;TF
-----

```

```

2100 HTAB 3
: INPUT "TEMP INICIAL SOL=";TS
-----
2200 HTAB 3
: INPUT "UMIDADE INIC. AR=";XF
-----
2300 HTAB 3
: INPUT "UMIDADE INIC SOL=";XS
-----
2400 REM SUB CONFERIR DADOS
-----
2500 REM ROTINA PARA CONFERIR DADOS
-----
2600 HOME
: PRINT "CONFIRA OS DADOS"
-----
2700 HTAB 3
: PRINT "DENSIDADE SOLIDO=";RS
-----
2800 HTAB 3
: PRINT "DIAMETRO SOLIDO=";DP
-----
2900 HTAB 3
: PRINT "ALTURA SECADOR=";Z
-----
3000 HTAB 3
: PRINT "CALOR ESP.SOLIDO=";CS
-----
3100 HTAB 3
: PRINT "DIAMETRO TUBO=";DT
-----
3200 HTAB 3
: PRINT "VAZAO DO SOLIDO=";GS
-----
3300 HTAB 3
: PRINT "VAZAO DO AR=";GF
-----
3400 HTAB 3
: PRINT "POROSIDADE INIC.=";EP
-----
3500 HTAB 3
: PRINT "PRESSAO INICIAL=";PR
-----
3600 HTAB 3
: PRINT "TEMP INICIAL AR=";TF
-----
3700 HTAB 3
: PRINT "TEMP INICIAL SOL=";TS
-----
3800 HTAB 3
: PRINT "UMIDADE INIC. AR=";XF
-----
3900 HTAB 3
: PRINT "UMIDADE INIC SOL=";XS
-----
4000 VTAB 24
: INPUT "<RETURN> CONTINUA <A> ALTERAR DADOS";X$
-----
4100 IF X$ = "A" THEN GOTO 4400
-----
4200 HOME
: PRINT "<S> CONFERE NOVAMENTE "
: PRINT
: PRINT "< RETURN > CONTINUA"
: VTAB 20
: INPUT "SUA ESCOLHA ";J$
: IF J$ = "S" THEN 2400
-----

```

```

4300 GOTO 7400
-----
4400 HOME
      : PRINT "<1> ALTERA DENS. SOLIDO"
-----
4500 PRINT "<2> ALTERA DIAMETRO SOL"
-----
4600 PRINT "<3> ALTERA ALTURA SECAD"
-----
4700 PRINT "<4> ALTERA CALOR ESPEC."
-----
4800 PRINT "<5> ALTERA DIAM. TUBO  "
-----
4900 PRINT "<6> ALTERA VAZAO SOLIDO"
-----
5000 PRINT "<7> ALTERA VAZAO DO AR "
-----
5100 PRINT "<8> ALTERA POROS. INIC."
-----
5200 PRINT "<9> ALTERA PRESS. INIC."
-----
5300 PRINT "<10> ALTERA TEMP INIC AR"
-----
5400 PRINT "<11> ALTERA TEMP INIC SOL"
-----
5500 PRINT "<12> ALTERA UMID. INIC AR"
-----
5600 PRINT "<13> ALTERA UMID. INIC. SOL"
-----
5700 PRINT "<14> RETORNAR  "
-----
5800 VTAB 20
      : INPUT "SUA ESCOLHA":S
-----
5900 ON S GOTO 6100,6200,6300,6400,6500,6600,6700,6800,6900,7000,7100,72
      00,7300,4000
-----
6000 ONERR GOTO 5800
-----
6100 HOME
      : HTAB 3
      : INPUT "DENSIDADE SOLIDO=";RS
      : GOTO 2600
-----
6200 HOME
      : HTAB 3
      : INPUT "DIAMETRO SOLIDO=";DF
      : GOTO 2600
-----
6300 HOME
      : HTAB 3
      : INPUT "ALTURA SECADOR=";Z
      : GOTO 2600
-----
6400 HOME
      : HTAB 3
      : INPUT "CALOR ESP. SOLIDO=";CS
      : GOTO 2600
-----
6500 HOME
      : HTAB 3
      : INPUT "DIAMETRO TUBO =" ;DT
      : GOTO 2600
-----
6600 HOME
      : HTAB 3
      : INPUT "VAZAO DO SOLIDO=";GS
      : GOTO 2600

```


SECADOR PNEUMATICO

```

-----
6700  HOME
      : HTAB 3
      : INPUT "VAZAO DO AR =";GF
      : GOTO 2600
-----
6800  HOME
      : HTAB 3
      : INPUT "POROSIDADE INIC.=";EP
      : GOTO 2600
-----
6900  HOME
      : HTAB 3
      : INPUT "PRESSAO INICIAL =";PR
      : GOTO 2600
-----
7000  HOME
      : HTAB 3
      : INPUT "TEMP INICIAL AR =";TF
      : GOTO 2600
-----
7100  HOME
      : HTAB 3
      : INPUT "TEMP INICIAL SOL=";TS
      : GOTO 2600
-----
7200  HOME
      : HTAB 3
      : INPUT "UMIDADE INIC. AR=";XF
      : GOTO 2600
-----
7300  HOME
      : HTAB 3
      : INPUT "UMIDADE INIC SOL=";XS
      : GOTO 2600
-----
7400  HOME
      : VTAB 8
      : HTAB 3
      : PRINT "ESCOLHA O NUSSELT"
-----
7500  PRINT
      : PRINT
      : PRINT
-----
7600  HTAB 3
      : PRINT "<1> NUSSELT LILIAN ANT."
-----
7700  HTAB 3
      : PRINT "<2> NUSSELT LILIAN RECENTE"
-----
7800  HTAB 3
      : PRINT "<3> NUSSELT KACSMARZYK"
-----
7900  HTAB 3
      : PRINT "<4> NUSSELT CHUKHANOV "
-----
8000  VTAB 20
      : PRINT "SUA ESCOLHA";
      : GET Q
-----
8100  ON Q GOTO 8200,8300,8400,8500
-----
8200  K = 1
      : GOTO 8600
-----

```

```

8300  K = 2
      : GOTO 8600
-----
8400  K = 3
      : GOTO 8600
-----
8500  K = 4
      : GOTO 8600
-----
8600  REM      SIMULACAO HIDRODINAMICA E TERMICA
-----
8700  HOME
-----
8800  HTAB 8
      : VTAB 8
      : INFUT "NUMERO DE ITERACOES=";NDI
-----
8900  HOME
-----
9000  READ RF,XMI,G,KF,CF,DI,CV,CA,RO
-----
9100  DATA    1.29,0.000018,9.81,0.0321,1040,0.000050,1980,4190,2490000
-----
9200  REM      ENTRADA DE Z0, N
-----
9300  READ Z0,N
-----
9400  DATA    0,8
-----
9500  REM      ENTRADA DAS COND. INICIAIS
-----
9600  VS = (GS * 4) / (3.14 * (1 - EP) * RS * DT ^ 2)
-----
9700  VF = (GF * 4) / (3.14 * EP * RF * DT ^ 2)
-----
9800  X(1) = VS
      : X(2) = VF
      : X(3) = EP
      : X(4) = PR
      : X(5) = TF
      : X(6) = TS
      : X(7) = XS
      : X(8) = XF
-----
9805  HTAB 10
      : VTAB 15
      : PRINT "CALCULO DE TBU"
-----
9810  REM      CALCULO PSICROMETRICO
-----
9812  T = 1.8 * X(5) + 32
-----
9814  PV = X(8) * 14.696 / (0.6219 + X(8))
-----
9816  FT = (PV * 101000) / 14.7
-----
9818  A = 54.6329
      : B = 12301.688
      : C = 5.16923
-----
9820  D = 0.62194
      : E = 1075.8965
      : GE = 0.56983
-----
9822  H = 0.2405
      : M = 0.15577
      : NI = 14.696
-----

```

```

9824 AL = 459.69
-----
9826 DEF FN W(X) = - X + T + (( EXP (A - B / (X + AL) - C * LOG (X + AL)
) - PV) * D * (E - GE * (X - AL))) / ((H * (1 + M * (PV / NI)))
* ( EXP (A - B / (X + AL) - C * LOG (X + AL)) - NI))
-----
9828 X5 = 10
-----
9830 X1 = 1.0 * X5 + 32
-----
9832 X6 = 95
-----
9834 X2 = 1.0 * X6 + 32
-----
9836 BM = FN W(X1) * FN W(X2)
-----
9838 IF BM < 0 THEN 9844
-----
9840 PRINT "W(X1) MESMO SINAL W(X2)"
-----
9842 INPUT "VERIFICAR DADOS*****";M$
-----
9844 FOR IO = 1 TO 100
-----
9846 HTAB 35
: VTAB 18
: PRINT "ID=";IO
-----
9848 X3 = (X1 + X2) / 2
-----
9850 IF ABS ( FN W(X3) ) < 0.001 THEN 9862
-----
9852 IF FN W(X3) * FN W(X2) < 0 THEN 9858
-----
9854 X2 = (X1 + X2) / 2
-----
9856 GOTO 9860
-----
9858 X1 = (X1 + X2) / 2
-----
9860 NEXT IO
-----
9862 TB = (X3 - 32) / 1.0
-----
9863 PT = (101000 / 760) * (10 ^ (8.07414 - (1733 / (TB + 233.84))))
-----
9865 YE = 0.622 * (PT / (X(4) - PT))
-----
9900 REM CALCULO DO PASSO
-----
9910 HOME
-----
10000 PASSO = (Z - Z0) / NDI
-----
10100 LET J = 0
-----
10200 P = 1
-----
10300 AP = 1
-----
10400 IF X(7) <= 0 THEN F(7) = 0
* : F(8) = 0
* : X(7) = 0
-----
10500 HTAB 35
: VTAB 2
: PRINT "J=";J
-----

```

SECADOR PNEUMATICO

```

-----
10600 BE = (AP - 1) * (NDI / 10)
-----
10700 PRINT
-----
10800 PRINT "*****"
-----
10900 PRINT "#####"
-----
10950 PRINT
-----
11000 PRINT "Z="; INT (Z0 * 100 + 0.5) / 100
-----
11100 PRINT "VS="; INT (X(1) * 100 + 0.5) / 100,
-----
11200 PRINT "VF="; INT (X(2) * 100 + 0.5) / 100
-----
11300 PRINT "E="; INT (1000000 * X(3) + 0.5) / 1000000,
-----
11400 PRINT "P="; INT (X(4))
-----
11500 PRINT "TF="; INT (X(5) * 100 + 0.5) / 100,
-----
11600 PRINT "TS="; INT (X(6) * 100 + 0.5) / 100
-----
11650 RP = INT (100 * X(7) * 1000 + 0.5) / 100
-----
11660 IF RP = 0 THEN PRINT "X= 0.00"
      * : GOTO 12100
-----
11700 PRINT "X="; INT (100 * X(7) * 1000 + 0.5) / 100,
-----
11800 PRINT "Y="; INT (100 * X(8) * 1000 + 0.5) / 100
-----
11850 PRINT
-----
11900 PRINT "TEMP. BULBO UMIDA="; INT (TE * 100 + 0.5) / 100
-----
12000 PRINT "YE="; INT (10000 * YE + 0.5) / 10000
-----
12050 PRINT
-----
12060 PRINT "*****"
-----
12070 PRINT "#####"
-----
12100 IF J = BE THEN GOTO 12300
-----
12200 GOTO 12800
-----
12300 AP = AP + 1
-----
12400 FOR I = 1 TO 8
-----
12500   A(P, I) = X(I)
      :   A(P, 9) = Z0
-----
12600 NEXT I
-----
12700 P = P + 1
-----
12800 GOSUB 15700
-----
12900 J = J + 1
-----
13000 IF J <= NDI THEN GOTO 10400

```

```

-----
13100 PRINT "REA=";REA,"NU=";NU
-----
13200 RESTORE
-----
13300 INPUT "TECLE <RETURN>";C$
-----
13400 HOME
      : PRINT "                OPCOES                "
-----
13500 PRINT
      : PRINT
      : PRINT
-----
13600 PRINT "<1> RODAR NOVAMENTE"
-----
13700 PRINT "<2> GRAFICOS "
-----
13800 PRINT "<3> FIM"
-----
13900 INPUT "SUA ESCOLHA=";DU
14000 ON DU GOTO 100,14100,15500
-----
14100 HOME
-----
14200 PRINT "                GRAVACAO DOS DADOS                "
-----
14300 PRINT
      : PRINT
-----
14400 INPUT "NOME DO ARQUIVO=";F$
14500 PRINT CHR$(4);"OPEN";F$;" ,L30"
-----
14700 PRINT CHR$(4);"WRITE";F$
-----
14750 FOR P = 1 TO 11
14800   FOR I = 1 TO 9
14900     PRINT A(P,I)
-----
15000   NEXT I
-----
15100 NEXT P
-----
15149 PRINT CO
-----
15150 PRINT RS
-----
15151 PRINT DP
-----
15152 PRINT Z
-----
15153 PRINT CS
-----
15154 PRINT DT
-----
15155 PRINT GS
-----
15156 PRINT GF
-----
15157 PRINT EP
-----
15158 PRINT PR
-----
15159 PRINT TF

```

```

-----
15160 PRINT TS
-----
15161 PRINT XF
-----
15162 PRINT XS
-----
15163 PRINT TB
-----
15164 PRINT YE
-----
15200 PRINT CHR$(4)"CLOSE"
-----
15300 RESTORE
-----
15400 GOTO 13400
-----
15500 END
-----
15600 REM SUBROTINA RUNGE KUTTA
-----
15700 FOR I = 1 TO N
-----
15800 LET Y(I) = X(I)
-----
15900 IF X(7) <= 0 THEN X(7) = 0
* : F(7) = 0
* : F(8) = 0
-----
16000 NEXT
-----
16100 LET Z1 = Z0
-----
16200 GOSUB 19100
-----
16300 IF X(7) <= 0 THEN F(7) = 0
* : X(7) = 0
* : F(8) = 0
-----
16400 FOR I = 1 TO N
-----
16500 C(1,I) = PASSO * F(I)
-----
16600 X(I) = X(I) + C(1,I) / 2
-----
16700 NEXT
-----
16800 Z0 = Z0 + PASSO / 2
-----
16900 GOSUB 19100
-----
17000 IF X(7) <= 0 THEN F(7) = 0
* : X(7) = 0
* : F(8) = 0
-----
17100 FOR I = 1 TO N
-----
17200 C(2,I) = PASSO * F(I)
-----
17300 LET X(I) = Y(I) + C(2,I) / 2
-----
17400 NEXT
-----
17500 GOSUB 19100
-----
17600 IF X(7) <= 0 THEN F(7) = 0
* : X(7) = 0
* : F(8) = 0

```

SECADOR PNEUMATICO

```

-----
17700 FOR I = 1 TO N
-----
17800 LET C(3,I) = PASSO * F(I)
-----
17900 LET X(I) = Y(I) + C(3,I)
-----
18000 NEXT
-----
18100 LET Z0 = Z1 + PASSO
-----
18200 GOSUB 19100
-----
18300 IF X(7) <= 0 THEN F(7) = 0
* : X(7) = 0
* : F(8) = 0
-----
18400 FOR I = 1 TO N
-----
18500 C(4,I) = PASSO * F(I)
-----
18600 X(I) = Y(I) + (C(1,I) + 2 * C(2,I) + 2 * C(3,I) + C(4,I)) / 6
-----
18700 NEXT
-----
18800 RETURN
-----
18900 REM SUBROTINA F
-----
19000 REM DEF. EQ. DIF.
-----
19100 UV = X(2) - X(1)
-----
22000 REM DEF. FORCA ARRASTE
-----
22200 REA = (UV * RF * DP * X(3)) / XMI
-----
22300 IF REA > 1000 THEN GOTO 22600
-----
22400 CDS = (24 / REA) * (1 + 0.15 * (REA ^ 0.687))
-----
22500 GOTO 22700
-----
22600 CDS = 0.44
-----
22700 FS = ((3 * CDS * RF * (UV ^ 2)) * (X(3) ^ (- 2.65))) / (4 * DP)
-----
22800 REM DEF. GS,GF,BV,NU
-----
22900 BV = (1 - X(3)) / X(3)
-----
23000 REM DEF. DOS F(I)
-----
23100 F1 = RS * UV * ((X(2) / X(3)) + (X(1) / (1 - X(3))))
-----
23200 F(3) = (FS - RS * G) / F1
-----
23300 F(2) = (- X(2) / X(3)) * F(3)
-----
23400 F(1) = (X(1) / (1 - X(3))) * F(3)
-----
23500 F(4) = ((RF * (X(2) ^ 2) - (RS * (X(1) ^ 2))) * F(3) - (RF * X(3)
+ ((1 - X(3)) * RS)) * G
-----
23600 BB = 0.308 - 74.627 * BV
-----

```

```

23650 PR = (XMI * CF) / KF
-----
23700 IF K = 1 THEN NU = 2 + (1.3 * PR ^ 0.15) + (0.66 * (PR ^ 0.31) * (R
EA ^ 0.5))
-----
23800 IF K = 2 THEN NU = 0.0022 * (REA ^ 0.9066) * (BV ^ (-0.6019))
-----
23900 IF K = 3 THEN NU = 0.00114 * (REA ^ 0.8159) * (BV ^ (-0.5904))
-----
24000 IF K = 4 THEN NU = 0.006 * (REA ^ 0.80) * (BV ^ (-0.43))
-----
24100 SC = XMI / (RF * DI)
-----
24200 SH = 2 + 0.65 * (REA ^ 0.5) * (SC ^ 0.33)
-----
24400 REM KY = (NU * KF / CF) * (PR / SC) ^ (2 / 3)
-----
24450 KY = (RF * DI * SH) / DP
-----
24500 SU = 3.14 * (DT ^ 2) / 4
-----
24600 F(7) = - 6 * GS * KY * (YE - X(8)) / (RS * X(1) * DP)
-----
24700 F(8) = - (GS / GF) * F(7)
-----
24800 RA = 6 * (1 - X(3)) * X(1) / (X(2) * X(3) * DP)
-----
24900 CC = NU * KF / DP
-----
25000 HA = RA * CC
-----
25100 F(5) = (HA * (X(6) - X(5))) / (RF * X(2) * X(3) * (CF + CV * X(8)))
-----
25200 F(6) = (HA * (X(5) - X(6))) / (RS * X(1) * (1 - X(3)) * (CS + CA *
X(7))) - ((RO + CV * (X(5) - X(6))) * RF * X(2) * X(3) * F(8))
/ (RS * X(1) * (1 - X(3)) * (CS + CA * X(7)))
-----
25300 RETURN

```