

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

**Estudo do Arraste de Partículas de FCC
em Leito Fluidizado Borbulhante**

Volume I

Autor: Paulo Roberto Tardin Jr.

Orientador: Leonardo Goldstein Jr.

12/97

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR Paulo Roberto Tardin
Paulo Roberto Tardin E APROVADA PELA
COMISSÃO JULGADORA EM 15 / 10 / 97.

Leonardo Goldstein Jr.

ORIENTADOR

T173e
v.1
34453/BC

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA TÉRMICA E DE FLUIDOS

Estudo do Arraste de Partículas de FCC em Leito Fluidizado Borbulhante

Autor: Paulo Roberto Tardin Jr.

Orientador: Leonardo Goldstein Jr.

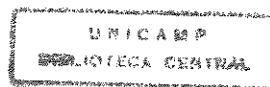
Curso: Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Térmica e Fluidos

Tese de Doutorado apresentada à comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica.

Campinas, 1997

SP - Brasil



981012

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA TÉRMICA E DE FLUIDOS

Tese de Doutorado

Estudo do Arraste de Partículas de FCC em Leito Fluidizado Borbulhante

Autor: Paulo Roberto Tardin Jr.

Orientador: Leonardo Goldstein Jr.

Leonardo Goldstein Jr.

Prof. Dr. Leonardo Goldstein Jr.
Universidade Estadual de Campinas

Leonardo Goldstein Jr.

Prof. Dr. Theo Guenter Kiekbush
Universidade Estadual de Campinas

Theo Guenter Kiekbush

Prof. Dr. Fernando Eduardo Milioli
Universidade de São Paulo

Fernando Eduardo Milioli

Prof. Dr. Fernando de Almeida França
Universidade Estadual de Campinas

Fernando de Almeida França

Prof. Dr. Kamal Abdel Radi Ismail
Universidade Estadual de Campinas

Campinas, 15 de dezembro de 1997

A Cristo, o andrógino perfeito,
por propiciar-me o milagre da fé, na comunhão com o pão, com o vinho e com a vida.

Agradecimentos

Aos meus pais, Paulo Roberto Tardin e Nilda Bonfim Tardin, e as minhas irmãs, Eliane Maria Tardin e Neyla Tardin, pelo amor recebido, independente da distância.

Ao amigo orientador Leonardo Goldstein Jr., por ser, orientar e estar presente.

Ao amigo Waldir Antônio Bizzo, por seu companheirismo e inestimável ajuda durante a realização dos testes experimentais.

A CAPES e à Faculdade de Engenharia Mecânica da Unicamp, por propiciarem as condições necessárias à realização deste trabalho.

À REPLAN-PETROBRÁS, por ter cedido quatro toneladas de partículas catalíticas.

A Fábio Luís Fassani e Francis Henrique Ramos França, meus amigos e colegas de trabalho, pelo apoio e contribuições durante a execução do trabalho.

Aos técnicos da oficina: Luís Zanaga, Maurício di Pieri, Luiz Gama e Gonçalves, pelo auxílio na montagem experimental e durante os testes.

A Wilton Furquim, pelas figuras deste texto.

Aos professores e colegas do Departamento de Engenharia Térmica e de Fluidos.

Índice

VOLUME I

	Dedicatória	iv
	Agradecimentos	v
	Índice	vi
	Lista de Figuras	viii
	Lista de Tabelas	x
	Nomenclatura	xii
	Resumo	xvii
	Abstract	xviii
Capítulo 1	Introdução	1
	1.1 Localização do Problema	1
	1.2 Estado da Arte	3
	1.2.1 Fenômeno do arraste de partículas em leito fluidizado	3
	1.2.2 Análise dos modelos propostos na literatura	18
	1.3 Objetivos do Trabalho	27
Capítulo 2	Modelo do Arraste de Partículas Proposto	28
	2.1 Leito Denso	28
	2.1.1 Leito denso propriamente dito	28
	2.1.2 Zona de ejeção de partículas	48
	2.2 <i>Freeboard</i>	55
	2.2.1 Dinâmica do gás	55
	2.2.2 Dinâmica das partículas	56
Capítulo 3	Sistema de Testes e Procedimento Experimental	62
	3.1 Descrição do Sistema de Testes	62
	3.2 Procedimento Experimental	76
	3.3 Dificuldades Operacionais	78

3.4 Programa de Testes	79
3.5 Coleta dos Dados	81
3.6 Processamento dos Dados Experimentais	84
Capítulo 4 Apresentação e Análise dos Resultados	88
4.1 Introdução	88
4.2 Apresentação e Análise dos Resultados Experimentais	90
4.2.1 Influência da velocidade superficial de fluidização no arraste de partículas	90
4.2.2 Efeito do inventário de sólidos no arraste de partículas	97
4.2.3 Aglomeração de partículas no leito denso	99
4.2.4 Segregação de partículas no leito denso	103
4.2.5 Geração de partículas finas por atrito	105
4.2.6 TDH - <i>Transport disengagement height</i>	107
4.2.7 Coalescência de bolhas	114
4.2.8 Velocidade de ejeção das partículas	115
4.3 Apresentação e Discussão dos Resultados do Modelo	117
4.3.1 Verificação do modelo com dados da literatura	117
4.3.2 Comparação com os resultados experimentais obtidos	128
4.3.3 Comparação com modelagem da literatura	141
Capítulo 5 Conclusões e Recomendações	146
Referências	152

VOLUME II

Anexos da Tese

Lista de Figuras

Figura	Título	Página
2.1	Efeito da esfericidade de uma partícula isométrica sobre o coeficiente de arraste.	32
2.2	Diâmetro máximo de partícula de FCC sujeito à aglomeração no leito denso.	35
2.3	Desenho esquemático da coalescência de duas bolhas.	45
2.4	Velocidade máxima de ejeção das partículas devido à erupção de bolhas na superfície do leito denso.	51
2.5	Diagrama de blocos contendo a sequência de cálculo do modelo proposto.	61
3.1	Diagrama esquemático do sistema experimental.	63
3.2	Sopradores centrífugos montados em série.	64
3.3	<i>Lay-Out</i> da tubulação com suas principais dimensões e válvulas.	65
3.4a	Vista lateral da câmara plena.	66
3.4b	Vista de topo da câmara plena - corte A-A.	66
3.5a	Vista de topo do distribuidor de ar.	69
3.5b	Bicos ejetores de ar.	69
3.6	Placa distribuidora instalada na coluna de fluidização.	69
3.7	Coluna de fluidização.	70
3.8	Desenho do topo cônico móvel da coluna de fluidização.	71
3.9	Topo móvel da coluna de fluidização instalado.	72
3.10	Desenhos esquemáticos do ciclone e do silo.	73
3.11.a	Válvula de amostragem de sólidos.	74
3.11.b	Desenho esquemático da válvula de amostragem.	74
3.12	Desenho esquemático do filtro manga.	75
3.13a	Partícula de FCC ampliada 1000 vezes com detalhe das partículas de coque aderidas a superfície.	83
3.13b	Partícula de FCC fragmentada ampliada 1200 vezes com detalhe da estrutura interna.	83
3.14	Sequência de erupção de bolhas na superfície do leito denso expandido.	83
3.15	Curva de velocidade do ar <i>versus</i> diferença de pressão na placa de orifício.	86
4.1	Variação do fluxo de arraste total das partículas com a altura da <i>freeboard</i> .	90

4.2	Variação do fluxo de arraste total das partículas com a velocidade de fluidização.	92
4.3	Evolução da distribuição granulométrica das partículas arrastadas ao longo da altura da <i>freeboard</i> .	94
4.4	Evolução do diâmetro médio dos sólidos arrastados com a altura da <i>freeboard</i> .	95
4.5	Efeito do inventário de sólidos no leito sobre o arraste de partículas.	98
4.6	Efeito do inventário sobre a granulometria das partículas arrastadas.	99
4.7	Razão entre a distribuição granulométrica média inicial e final do leito denso.	101
4.8	Fluxo de elutriação fracional <i>versus</i> o diâmetro das partículas.	102
4.9	Gradiente do fluxo de arraste total <i>versus</i> altura da <i>freeboard</i> .	112
4.10	Comparação entre a TDH obtida experimentalmente e pelas expressões encontradas na literatura.	113
4.11	Ângulos limite para a coalescência de bolhas obtidos a partir do fluxo de ejeção de partículas na superfície do leito.	115
4.12	Variação do fluxo de arraste com a granulometria das partículas alimentadas.	120
4.13	Comparação dos resultados obtidos para a variação do fluxo de arraste com a altura da coluna.	127
4.14	Comparação do fluxo de arraste total ao longo da altura.	132
4.15	Influência do diâmetro crítico de partícula sujeito a aglomeração no fluxo de arraste.	133
4.16	Comparação entre os diâmetros médios das partículas arrastadas obtidos ao longo da <i>freeboard</i> teórica e experimentalmente (a seco).	136
4.17	Comparação entre os diâmetros médios das partículas arrastadas obtidos ao longo da <i>freeboard</i> teórica e experimentalmente (via úmida).	137
4.18	Comparação entre as d.g.'s ao longo da <i>freeboard</i> obtidas experimental (+) e teoricamente (___).	139
4.19	Efeito da altura estática do leito no fluxo de arraste - comparação entre os resultados obtidos experimentalmente e pelo modelo.	141
4.20	Comparação entre os fluxos de arraste obtidos pelos modelos e os dados experimentais deste trabalho.	143
4.21	Comparação entre os diâmetros médios das partículas arrastadas obtidos pelos modelos e os dados experimentais deste trabalho.	145

Lista de Tabelas

Tabela	Título	Página
1.1	Sumário dos experimentos de arraste em leito fluidizado.	16
2.1	Velocidade de ejeção das partículas na <i>freeboard</i> .	49
3.1	Dimensões características do ciclone.	72
3.2	Programa de testes.	79
3.3a	Dados coletados.	81
3.3b	Granulometria das amostras.	82
4.1	Sumário dos testes executados.	89
4.2	Dados experimentais de arraste de FCC obtidos na literatura.	91
4.3	Diâmetros médios das partículas arrastadas ao longo da altura.	95
4.4	Distribuição granulométrica ao longo da altura do leito denso - teste 46.	104
4.5	Distribuição granulométrica do leito denso - inicial e final - teste 16.	106
4.6	Expressões para a TDH encontradas na literatura.	109
4.7	Valores experimentais da TDH.	112
4.8	Fluxos de ejeção de partículas obtidos por extrapolação	114
4.9	Valores obtidos para a velocidade máxima de ejeção das partículas.	116
4.10	Distribuições granulométricas propostas para o FCC alimentado $\bar{d}^* = 58 \mu\text{m}$ e $\sigma_g = 1,35$.	119
4.11	Velocidade terminal para cada tamanho de partícula.	121
4.12	Distribuição granulométrica efetiva das partículas do leito.	122
4.13	Velocidade mínima de fluidização para cada tamanho de partícula no leito.	122
4.14	Diâmetro médio das bolhas na superfície do leito denso.	123
4.15	Velocidade média de ascensão das bolhas na superfície do leito denso.	123
4.16	Altura do leito denso expandido.	124
4.17	Frequência de borbulhamento.	124
4.18	Probabilidade de N_B bolhas coalescerem simultaneamente na superfície do leito denso.	125
4.19	Fluxo de ejeção total de partículas.	125
4.20	Especificação do problema.	129
4.21	Resultados relacionados ao leito denso.	130

4.22	Fluxo e granulometria do material arrastado na <i>freeboard</i> - modelo.	134
4.23	Comparação entre os fluxos de elutriação experimentais e teóricos.	134
4.24	Valores dos diâmetros médios das partículas elutriadas experimentais e previstos pelo modelo.	135
4.25	Comparação entre os fluxos de arraste obtidos pelo modelo e experimentalmente, variando a altura do leito estático - $z = 1,0$ m e $U = 0,27$ m/s.	140
4.26	Probabilidade de coalescência de bolhas obtida pelos modelos	144

Nomenclatura

A	constante de Hamaker, J
A_d	área da seção transversal do orifício da placa, m ²
A_L	área da seção transversal do leito, m ²
A_n	área da seção transversal da placa distribuidora dividida pelo número de orifícios verticais, m ²
A_o	área da seção transversal dos orifícios verticais do distribuidor de gás, m ²
a_p	aceleração da partícula m/s ²
A_p	área projetada da partícula na direção perpendicular ao escoamento, m ²
Ar	número de Arquimedes, $\rho d^3(\rho_p - \rho)g / \mu^2$
C	fator de correção para a probabilidade de bolhas coalescerem
$C_{1,...,4}$	constantes na expressão para C_D
C_D	coeficiente de arraste
C_{Dp}	coeficiente de descarga do ar
C_i	concentração de partículas de tamanho d_i na <i>freeboard</i> , kg/m ³
D	diâmetro interno do leito, m
D_{freeb}	diâmetro interno da <i>freeboard</i> , m
d	diâmetro da partícula sólida, μm
$\bar{d}$	diâmetro médio de Sauter da partícula, μm
$\bar{d}^*$	diâmetro médio geométrico, μm
d_a	altura das asperezas superficiais das partículas, m
$\bar{d}_a$	diâmetro médio de Sauter das partículas arrastadas e coletadas pelo ciclone, μm
$\bar{d}_B$	diâmetro médio das bolhas na superfície do leito, m
d_{Bm}	diâmetro máximo estável das bolhas, m
d_{Bo}	diâmetro médio das bolhas na saída do distribuidor, m
d_c	diâmetro máximo de partícula sujeito a aglomeração, μm
$\bar{d}_e$	diâmetro médio de Sauter das partículas elutriadas e coletados no filtro, μm
$\bar{d}_f$	diâmetro médio de Sauter das partículas do inventário final, μm
d_{fi}	diâmetro médio das partículas finas da faixa granulométrica i, μm

d_{gi}	diâmetro médio das partículas grosseiras da faixa granulométrica i . μm
d_i	diâmetro das partículas da faixa granulométrica i . μm
d_{max}	diâmetro máximo das partículas aglomeradas no leito denso. μm
d_o	diâmetro do orifício da placa para medida de descarga do ar. m
$\bar{d}_o$	diâmetro médio de Sauter das partículas do inventário inicial. μm
d_i	diâmetro interno da tubulação de entrada do ar de fluidização. m
E	empuxo, N
F	fluxo de arraste total, $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$
F_a	força de arraste, N
f_{ag}	função de aglomeração log-normal
f_B	frequência de borbulhamento, s^{-1}
F_c	força de interação partícula-partícula, N
f_i	fator de correção
F_∞	fluxo de elutriação total, $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$
$F_{\infty i}$	fluxo de elutriação das partículas de tamanho d_i , $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$
F_g	força gravitacional, N
F_o	fluxo de ejeção total das partículas, $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$
F_{oi}	fluxo de ejeção das partículas da faixa granulométrica i , $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$
$F_{oi\theta}$	fluxo de ejeção das partículas da faixa granulométrica i ejetadas segundo um ângulo θ , $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$
Fr_D	número de Froude, U^2/gD
F_T	força resultante atuando sobre uma partícula sólida, N
g	aceleração gravitacional, m/s^2
H	altura do topo da coluna, m
h	altura da bolha na superfície do leito denso, m
H_e	altura do leito denso expandido, m
H_{mf}	altura do leito denso em condições de mínima fluidização, m
H_o	altura estática do leito denso, m
H_s	altura da zona de <i>splashing</i> , m
i	indicador da faixa granulométrica
K_∞	constante de elutriação, $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$

K_{xi}	constante de elutriação de partículas do tamanho d_i , $\text{kg/m}^2\text{s}$
L	comprimento característico, m
M	inventário de sólidos presente no leito, kg
m_a	massa de partículas arrastadas e amostradas pela válvula, kg
$\dot{m}_{ar}$	descarga de ar de fluidização, kg/s
m_e	massa de partículas elutriadas e coletadas no filtro, kg
m_{ow}	massa de partículas contida na esteira de uma bolha, kg
m_p	massa de uma partícula sólida, kg
N	número de faixas granulométricas empregadas
N_a	número de ângulos de ejeção das partículas a partir da superfície das bolhas
N_{ag}	número de faixas granulométricas de partículas aglomeradas
N_B	número de bolhas que coalescem simultaneamente na superfície do leito
N_c	número de faixas granulométricas até o diâmetro de partícula d_c
N_f	número de faixas granulométricas das partículas finas
N_g	número de faixas granulométricas das partículas grosseiras
P	peso de uma partícula sólida, N
p_A	pressão à montante da placa, mmCA;
p_B	pressão à jusante da placa, mmCA;
P_c	probabilidade de duas bolhas consecutivas coalescerem, %
P_d	probabilidade de que a distância entre centros de duas bolhas consecutivas de mesmo tamanho seja menor que o diâmetro médio das bolhas, %
P_{NB}	probabilidade de N_B bolhas coalescerem simultaneamente na superfície do leito, %
P_{NBt}	probabilidade total das bolhas coalescerem na superfície do leito, %
Q_B	vazão do gás contido nas bolhas, m^3/s
Re	número de Reynolds, $\rho UL/\mu$
Re_i	número de Reynolds de uma partícula de diâmetro d_i
Re_{mf}	número de Reynolds em mínima fluidização
t	tempo de duração da batelada, s
T	temperatura média do leito denso, $^{\circ}\text{C}$
t_c	tempo de abertura da válvula de amostragem, s
u'	flutuação da velocidade superficial do gás no centro da coluna, m/s
U	velocidade superficial de fluidização, m/s

U_B	velocidade média de ascensão das bolhas na superfície do leito, m/s
U_g	velocidade local do gás na <i>freeboard</i> , m/s
U_{mf}	velocidade mínima de fluidização, m/s
U_p	velocidade local de uma partícula, m/s
U_{poi}	velocidade de ejeção de uma partícula de diâmetro d_i , m/s
$U_{po\theta}$	velocidade de ejeção das partículas segundo um ângulo de cone θ , m/s
$U_{poi\theta}$	velocidade de ejeção de uma partícula de diâmetro d_i segundo um ângulo de cone θ , m/s
U_{pomax}	velocidade máxima de ejeção das partículas, m/s
U_{pomaxi}	velocidade máxima de ejeção das partículas de tamanho d_i , m/s
U_t	velocidade terminal das partículas, m/s
U_{ti}	velocidade terminal das partículas de diâmetro d_i , m/s
$\forall_p$	volume de uma partícula sólida, m ³
X_{ag}	fração em massa total acumulativa de finos aglomerados
x_{ei}	fração em massa das partículas elutriadas de diâmetro d_i
X_{ei}	fração em massa acumulativa das partículas finas não aglomeradas do leito de diâmetro d_i menor ou igual a d_c
x_{gi}	fração em massa das partículas grosseiras de diâmetro d_i
x_{goi}	fração em massa das partículas grosseiras de diâmetro d_i alimentadas
x_i	fração mássica das partículas de tamanho d_i
x_{io}	fração mássica das partículas de tamanho d_i no início do teste
x_{if}	fração mássica das partículas de tamanho d_i ao final do teste
X_i	fração em massa acumulativa das partículas de tamanho d_i
X_{afi}	fração em massa acumulativa dos finos alimentados de tamanho d_i
X_{fi}	fração em massa acumulativa dos finos no leito denso de tamanho d_i
X_{45}	fração em massa acumulativa dos finos no leito denso menores que 45 μm
Y	razão entre p_B e p_A
z	cota de referência a partir da placa distribuidora, m
Z	distância mínima entre as partículas para que F_c seja máxima, m

Letras Gregas

α	ângulo de coalescência de bolhas, ⁰
α_c	ângulo limite de coalescência de bolhas, ⁰
β	diâmetro do orifício dividido pelo diâmetro da tubulação
γ	razão entre os calores específicos a pressão constante e a volume constante do ar;
Δl	distância entre centros de duas bolhas consecutivas, m
Δl_m	distância média entre centros de duas bolhas consecutivas, m
ε_L	fração de área em uma determinada seção transversal do leito denso ocupada pelas bolhas
ε_{mf}	porosidade do leito na condição de mínima fluidização
ϕ	esfericidade das partículas
μ	viscosidade dinâmica do gás, Ns/m ²
ρ	densidade do gás, kg/m ³
ρ_a	densidade absoluta da partícula, kg/m ³
ρ_p	densidade aparente da partícula, kg/m ³
ρ_b	densidade <i>bulk</i> dos sólidos, kg/m ³
σ	desvio padrão da distância centro a centro entre bolhas sucessivas, m
σ_s	desvio padrão da função de aglomeração f_{ag}
σ_{so}	desvio padrão geométrico da distribuição granulométrica das partículas alimentadas
ψ	ângulo de azimute, ⁰
θ	ângulo de ejeção das partículas em relação a direção vertical, ⁰

Resumo

TARDIN JR., Paulo Roberto. *Estudo do Arraste de Partículas de FCC em Leito Fluidizado Borbulhante.*

Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1997, 382 p. em 2 vol., Tese (Doutorado)

Nesta tese de doutorado, é estudado o arraste de partículas de FCC (*fluid cracking catalyst*) de equilíbrio em um leito fluidizado borbulhante. Para tanto, foi construído um sistema experimental composto por uma coluna com 0,60 m de diâmetro interno e 5,0 m de altura, um ciclone Stairmand, uma válvula de amostragem e um filtro manga. A coluna possui um topo móvel, o que possibilita a estimativa do fluxo de massa e da granulometria do FCC arrastado em várias alturas ao longo da *freeboard*, este último dado não disponível na literatura. Foi avaliada a influência da velocidade superficial de fluidização, que variou de 0,21 a 0,45 m/s, e da carga de sólidos, de 30 a 100 kg. Ainda não existem na literatura modelos mecanicistas para estimar o fluxo e a granulometria das partículas de FCC arrastadas ao longo da altura de um leito fluidizado borbulhante de grande porte, e que considerem o efeito de forças interparticulares. Um modelo mecanicista foi proposto com esta finalidade considerando este fenômeno e levando em conta a informação técnica e as constatações experimentais disponíveis, admitindo a ejeção vertical de partículas sólidas através da erupção de bolhas na superfície do leito denso e o cálculo da sua trajetória baseado na dinâmica das partículas. O modelo estima o fluxo de arraste e a granulometria dos sólidos em cada seção transversal ao longo da *freeboard*. O programa de testes foi realizado para o melhor conhecimento da fenomenologia do processo e avaliar a validade do modelo. Os resultados experimentais mostram uma variação exponencial do fluxo de arraste total com a altura e com a velocidade de fluidização. Foi encontrado para a TDH - transport disengagement height - valores situados entre 2,08 e 3,13 m a partir da placa distribuidora, variando as velocidades de fluidização. A variação do inventário, de 30 a 100 kg, não afetou sensivelmente a granulometria das partículas. Confirmou-se a partir das análises granulométricas que ocorreu aglomeração de partículas no leito denso e que as mesmas não sofreram segregação nem redução de tamanho significativa por atrito abrasivo ou fragmentação. O modelo reproduziu a tendência exponencial de decaimento do fluxo de arraste experimental e previu valores do fluxo de elutriação compatíveis com os obtidos experimentalmente, com desvios variando, em geral, de 0,85 a 43,76 %. Pelo fato de considerar a formação de aglomerados e estes parcialmente se desagregarem antes de poderem ser medidos experimentalmente, o modelo superestima o tamanho das partículas elutriadas, com desvios da ordem de 20,82 a 32,77 %.

Palavras-chave: Arraste de Partículas, Elutriação de Partículas, Fluidização, Leito Borbulhante, Escoamento Gás-Partículas, Escoamento Multifásico.

Abstract

TARDIN JR., Paulo Roberto. *Study of the Entrainment of FCC Particles in a Bubbling Fluidized Bed.*

Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1997, 382 p. em 2 vol., Tese (Doutorado)

This thesis examines the entrainment of FCC (fluid cracking catalyst) particles in a bubbling fluidized bed (BFB). An experimental setup was designed and built, made up of a 0.60 m inner diameter, 5.0 m height column, a Stairmand cyclone, a sample valve and a movable conical top, in order to measure the entrainment mass flux as well as the size distribution of the FCC particles at several levels along the freeboard, this last information not found in the literature. The influence of superficial gas velocity, ranging from 0.21 to 0.45 m/s, and solids loading, from 30 to 100 kg, was evaluated. So far there are no models to evaluate the entrainment flux and size distribution of the FCC particles along the freeboard for large BFB's taking into consideration particle agglomeration due to interparticle forces. A model was proposed to account for this phenomenon based on the available information, considering vertical ejection of particles due to bubble eruption on the bed surface and their trajectories determination by Newton's second law. The test program was performed to learn about the phenomenon and to check model validation. According to the experiments, the entrainment flux show an exponential dependence on both the freeboard height and superficial gas velocity. The TDH (transport disengagement height) was found ranging from 2.08 to 3.13 m, from the distributor plate, depending on the superficial gas velocity. Solids loading between 30 to 100 kg did not sensibly affect the entrained particles size distribution. The size distribution analysis employing dry sieving and Malvern revealed that particles agglomeration happened only in the dense bed and that neither segregation nor size reduction due to attrition and/or fragmentation occurred. The model reproduced the exponential decay trend of the entrainment flux and, in general, estimated particles elutriation fluxes within a mean deviation of 15.82 % and a maximum equal to 43.76 % to those obtained experimentally. The model considered particles agglomeration, that can not be entirely detected by the experimental device, because the agglomeration partially disintegrate before being measured; as a consequence the model overestimated the size of the elutriated particles, with deviations ranging from 20.82 to 32.77 %.

Keywords: Particles Entrainment, Elutriation, Carryover, Fluidization, Bubbling Bed, Gas-Solid Flow, Multiphase Flow.

Capítulo 1

Introdução

1.1 Localização do Problema

Na maioria das aplicações industriais, os leitos fluidizados borbulhantes (LFB) são operados com velocidade superficial do gás, U , acima da velocidade mínima de fluidização, U_{mf} , e sob estas condições, é comum algumas partículas do leito serem ejetadas na câmara de expansão - *freeboard*. Este fenômeno é conhecido como arraste e torna-se mais severo à medida que a velocidade de fluidização do gás, U , é aumentada. Se U torna-se tão alta de modo a igualar a velocidade terminal das partículas, U_t , então estas partículas poderão ser elutriadas, isto é, não mais retornarão ao leito pela ação da gravidade. Normalmente, um LFB consiste de partículas sólidas distribuídas em faixas granulométricas, com o valor de U_t aumentando com o diâmetro das partículas. Desta forma, quanto menores as partículas, mais chances elas terão de serem elutriadas. As partículas maiores geralmente são arrastadas até uma certa altura acima da superfície do leito e depois retornam ao mesmo. Existe portanto uma concentração de partículas na *freeboard*, que varia de acordo com sua distância em relação à superfície do leito, conforme apresentado na Figura 1.1.

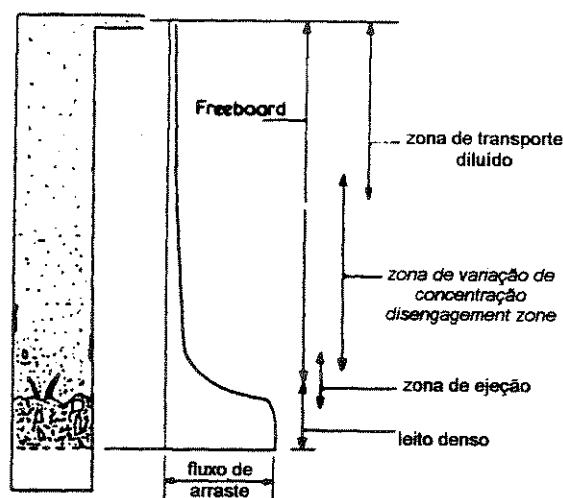


Figura 1.1. Zonas em um leito fluidizado.

O arraste de partículas sólidas em um leito fluidizado é, em muitos casos, a principal desvantagem de sua operação, visto que a perda de finos pode reduzir a taxa de reação, elevar o custo comercial (catalisadores), e causar problemas ambientais, caso a concentração ultrapasse o limite tolerado. Informações sobre o fluxo e a granulometria dos sólidos arrastados são essenciais para o projeto apropriado dos equipamentos de separação gás-sólidos. Atualmente, não há dados disponíveis sobre a granulometria das partículas de FCC arrastadas ao longo de um leito borbulhante de grande porte.

Quanto à modelagem do fenômeno de arraste, observa-se a existência de muitas correlações empíricas sobre o arraste de partículas e elutriação em um LFB propostas na literatura (Smolders e Baeyens, 1997). Contudo, elas são limitadas às condições do experimento e a equipamentos em escala laboratorial e fornecem resultados que diferem até 100 vezes quando aplicadas a outras condições operacionais (Geldart, 1986). Dada a complexidade do fenômeno, ainda não é possível calcular o fluxo de arraste baseado em princípios fundamentais. No entanto, modelos fenomenológicos vem sendo empregados para a previsão da concentração e/ou granulometria das partículas arrastadas na *freeboard* do leito, considerando em sua maioria o arraste de partículas na superfície do leito como uma consequência da erupção das bolhas. Ainda existem, entretanto, controvérsias quanto ao exato mecanismo de ejeção das partículas.

Na atualidade, não há na literatura modelos mecanicistas desenvolvidos para estimar o fluxo de arraste de partículas de FCC (*fluid cracking catalyst*) e a granulometria dos sólidos em cada seção transversal ao longo da altura de um leito fluidizado borbulhante de grande porte, que contemplem todos os fatores que afetam o arraste de partículas ao longo da *freeboard*. Modelos completos devem considerar a dinâmica do leito denso, a zona de ejeção de partículas e a dinâmica do gás e das partículas na câmara de expansão.

1.2 Estado da Arte

Nesta seção, os fenômenos que influenciam o arraste de partículas em leitos fluidizados borbulhantes de diversos tamanhos são descritos e são analisados os modelos propostos na literatura.

1.2.1. Fenômeno do arraste de partículas em leito fluidizado

Esta seção se destina à descrição experimental dos fenômenos que influenciam o arraste de partículas em leitos fluidizados borbulhantes de diversos tamanhos, a fim de fundamentar o método de cálculo. A descrição é feita em termos das partes principais que constituem o leito, a saber, a placa distribuidora, o leito denso, a zona de ejeção de partículas (zona de *splashing*) e a *freeboard*.

a. Placa distribuidora

Bachovchin, Beer e Sarofim (1981), usando dois tipos de placas distribuidoras, uma formada por uma placa de bronze sinterizada e outra por duas placas iguais e paralelas, com furos verticais não alinhados, não observaram nenhuma alteração no fluxo de elutriação de partículas, F_{∞} , com a mudança do distribuidor de gás. Eles alegaram que, para leitos profundos, a origem da formação inicial dos jatos de gás nos orifícios das placas não altera o tamanho e a distribuição das bolhas na superfície do leito, embora a maioria das correlações desenvolvidas para cálculo do diâmetro de bolha leve em conta o tipo de placa utilizada: Geldart (1972), Mori e Wen (1975), Rowe (1976), e Darton, LaNauze, Davidson e Harrison (1977), aplicáveis inclusive em leitos maiores do que 1,0 m de diâmetro interno, D .

Um outro aspecto da placa distribuidora de gás a ser considerado é seu efeito na redução de tamanho das partículas no leito denso por atrito ou fragmentação, conforme observado experimentalmente por Zenz, em 1984.

b. Leito denso

• Redução do tamanho de partículas

Forsythe e Hertwig (1949) realizaram o trabalho pioneiro sobre a redução de tamanho de partículas de FCC em um LFB, para um leito de 0,025 m de diâmetro e 1,5 m de altura com inventário de 50 g. Para tanto, eles operaram o leito a frio e em batelada, com velocidade de fluidização de 0,24 m/s. Dividindo os sólidos em sete faixas granulométricas, eles verificaram que, para testes com duração de uma hora, somente a faixa de menor diâmetro (59 μm) sofria ganho de massa, em torno de 30,0% do inventário total. Eles concluíram que o único processo de redução de tamanho possível seria o de atrito abrasivo. As análises granulométricas foram feitas por peneiramento úmido, visando a desaglomeração dos finos de FCC. A modelagem da taxa de geração de finos tem sido estudada por vários autores, do trabalho de Merrick e Highley (1974) até os trabalhos de Tardin Jr. (1993) e Milioli e Foster (1995).

De acordo com Geldart, Cullinan, Georghiades, Gilvray e Pope (1979), o aumento da presença de finos no leito elevaria o arraste de partículas grosseiras na *freeboard*, em um LFB de 0,076 m de diâmetro com partículas de densidade variando de 706 a 5000 kg/m^3 . Eles atribuíram este fenômeno aos choques entre partículas grosseiras e finos na *freeboard*, com transferência da quantidade de movimento das partículas finas para as grosseiras, e observaram que o mesmo só é relevante para concentrações de partículas acima de 0,5 kg/m^3 na *freeboard*.

Continuando seu trabalho, Geldart e Pope (1983) realizaram testes experimentais com areia de diâmetro médio $\bar{d}$ igual a 200, 1000 e 2500 μm e distribuição granulométrica extensa. O diâmetro interno da coluna era de 0,29 m. Em todas as condições operacionais, notaram que a quantidade de partículas grosseiras presente em diferentes alturas na *freeboard* aumentaria sensivelmente com a adição de finos. Quanto maior a partícula grosseira, no entanto, menor seria o efeito da adição.

- **Pressão**

O fluxo de material arrastado seria diretamente proporcional à pressão no leito, conforme os testes com FCC realizados por Zenz e Weil (1958), em um LFB de $0,052 \times 0,610$ m. Isto provavelmente ocorreu devido ao aumento da densidade do gás e, consequentemente, a elevação de sua capacidade de arraste.

- **Altura estática do leito**

De acordo com Son, Choi e Lee (1988), o aumento da altura estática do leito denso com carga de areia (0-1000 μm) resultaria em um aumento do fluxo de elutriação F_{∞} . Os testes foram realizados em um leito com D igual a 0,38 m, com velocidades de fluidização variando de 0,40 a 3,50 m/s. Son, Choi e Kim (1989), no entanto, não observaram influência da altura do leito estático em um combustor de $0,3 \times 0,3$ m.

Choi, Son e Kim (1989), dando prosseguimento ao seu trabalho, observaram que, para um combustor de leito fluidizado borbulhante - CLFB, de $1,01 \times 0,83$ m, queimando carvão antracito (0-7930 μm), o aumento da altura estática do leito denso de 0,20 até 1,00 m não afetou o fluxo de elutriação, fenômeno observado pelos mesmos autores num combustor de menor dimensão.

Em relação ao fluxo de arraste abaixo da TDH, Andersson e Leckner (1989), em experimentos feitos com um CLFB de grande porte, de seção transversal reta $2,90 \times 3,40$ m, observaram que o fluxo local de arraste, medido com uma sonda de sucção, e a granulometria das partículas arrastadas aumentariam com a altura estática do leito, H_o .

- **Temperatura**

Choi, Son e Kim (1989) observaram uma diminuição linear no fluxo de elutriação para a temperatura no leito aumentando de 780 para 940 °C. Com o aumento da temperatura, há uma conseqüente elevação da viscosidade e uma diminuição da densidade do gás. Estes efeitos são concorrentes, ou seja, atuam no sentido de aumentar ou diminuir a

capacidade de arraste do gás, respectivamente. Sendo assim, o efeito da diminuição da densidade do gás de fluidização com o aumento da temperatura prevaleceu, diminuindo o fluxo de partículas arrastadas.

Recentemente, dando continuidade a pesquisa, Choi, Choi, Kim, Shun e Kim (1997) avaliaram o efeito qualitativo da temperatura do leito sobre o arraste de partículas em um LFB de 0,1 m de diâmetro e 1,97 m de altura, equipado com um aquecedor elétrico montado externamente e empregando partículas de areia. Eles teriam observado um decréscimo inicial do fluxo de arraste com o aumento da temperatura, tendência esta que se inverteu a partir de $T = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$, para velocidades de fluidização entre 0,8 e 1,4 m/s. Novamente, estes fenômenos podem ter ocorrido devido à mudança de capacidade de arraste do gás promovida pela diminuição da densidade e pelo aumento da viscosidade do mesmo com a temperatura.

• Aglomeração de partículas

Partículas de vinte diferentes densidades (ρ_p de 950 a 5000 Kg/m³), com diâmetros médios $\bar{d}$ variando entre 5 e 95 μm foram fluidizadas em um leito de 0,08 m de D por Geldart e Wong (1987). Para partículas do grupo A, a redução no diâmetro médio causaria a elevação do fluxo total de elutriação F_{∞} . Na faixa intermediária entre os grupos A e C, classificação de Geldart, o fluxo de elutriação manteve-se aproximadamente constante com a redução do diâmetro médio. Para as partículas do grupo C, porém, ocorreu o efeito contrário aquele visto para partículas do grupo A. Duas explicações foram dadas: a aglomeração das partículas coesivas e/ou a redução da atividade das bolhas.

Briens, Bergounou, Inculet, Baron e Hazlett (1992), e Baron, Briens, Hazlett, Bergounou e Galtier (1992) estudaram o efeito da umidade do ar de fluidização em um leito de 0,61 m de D e 7,5m de altura composto por partículas de FCC com 69 μm de diâmetro médio e seus experimentos indicaram a presença de um diâmetro crítico de partícula, abaixo do qual o fluxo de elutriação passaria a diminuir com a diminuição do

tamanho das partículas. Isto seria devido à atuação predominante da força coesiva de van der Waals.

Baeyens, Geldart e Wu (1992) também observaram o mesmo fenômeno para um pequeno leito de 0,076 m de D , fluidizando FCC.

Em 1993, Yao-Dian e Kimura também observaram a formação de aglomerados, para partículas de silicone dos grupo B (330-370 μm) e C (0,49-3,7 μm).

Bénoni, Briens, Baron, Duchesne e Knowlton (1994) constataram a formação de aglomerados fluidizando areia (30-200 μm) e polietileno (0-2000 μm). Todos os aglomerados seriam constituídos por finos do leito denso, que se tornariam não elutriáveis ao se aglomerarem. A pressão do leito não teria influenciado a formação dos aglomerados.

Smolders e Baeyens (1997) realizaram estudos experimentais fluidizando partículas do grupo A e C de várias densidades, com velocidade superficial de fluidização variando de 0,1 a 0,8 m/s, e observaram que a taxa de arraste das partículas finas seria sensivelmente reduzida devido à ação de forças interparticulares. Foi proposta uma correlação empírica que superestimou o fluxo de elutriação em baixas velocidades de fluidização e os autores atribuíram este desvio a uma ação mais contundente das forças coesivas partícula-partícula em velocidades mais baixas.

• Internos

Segundo Andersson e Leckner (1989), um banco de tubos colocado horizontalmente dentro do leito denso inibiria menos o arraste do que se fosse colocado na *freeboard*. As medidas de fluxo e das velocidade locais das partículas foram feitas com uma sonda de sucção isocinética, com 0,035 m de diâmetro e erro de medição estimado de 5-15%.

c. Zona de ejeção

- **Modos de ejeção das partículas**

Os testes realizados pelos vários pesquisadores têm relacionado a coalescência e a erupção das bolhas como os mecanismos principais de ejeção de partículas do leito denso. Hatano e Ishida (1981) realizaram experimentos com esferas de vidro de granulometria entre 300 e 600 μm , em um leito de 0,15 m de diâmetro, e observaram que a contribuição das partículas localizadas na esteira das bolhas no fluxo de arraste foi insignificante. Notaram também que, havendo coalescência das bolhas, a velocidade de ejeção das partículas seria maior do que a velocidade de ascensão das bolhas, U_B , para U/U_{mf} , a razão entre a velocidade superficial do gás e a velocidade de mínima fluidização, situada entre 1,4 e 5,7. Em testes com FCC (75 μm), os autores concluíram que bolhas isoladas ou sucessivas apresentam um efeito muito menor na velocidade inicial de ejeção das partículas do que o provocado pela coalescência de bolhas próximas à superfície. Nos dois primeiros casos, a velocidade inicial das partículas ejetadas, U_{poi} , é próxima à da bolha, U_B , enquanto que a coalescência eleva sensivelmente essa velocidade.

Para partículas sólidas dos grupos A e B, com $U/U_{mf} > 10-15$, as partículas ejetadas seriam provenientes predominantemente da esteira das bolhas, conforme observado por Levy, Caram, Dille e Edelstein (1983), após fotografarem cerca de 4000 bolhas. Conforme as fotos, a esteira ocuparia 25% do volume total da bolha, com somente cerca de 40% das partículas contidas na esteira sendo realmente ejetadas, quando ocorria coalescência de bolhas na superfície do leito. De todas as bolhas observadas, apenas cerca de 9% sofriam coalescência na superfície do leito. Neste caso as partículas ejetadas atingiriam uma altura considerável na *freeboard*.

- **Fluxo de ejeção de partículas**

As medidas do fluxo de partículas ejetadas da superfície do leito na *freeboard*, F_o , tem sido obtidas por extrapolação, pois o perfil de decaimento do arraste observado na zona de ejeção ainda não é passível de medição experimental, como observado por Pemberton e

Davidson (1986a). Isto dificulta a análise da modelagem da zona de ejeção, pois os resultados são sempre comparados a dados extrapolados.

O fluxo de arraste na zona de ejeção ou de *splashing*, situada logo acima da superfície do leito denso, se reduziria de forma mais acentuada do que ao longo da *freeboard*, na qual foi observada uma distribuição exponencial do fluxo (Andersson e Leckner, 1989; Lewis, Gilliland e Lang, 1962; e Morooka, Kago e Kato, 1983). Os autores mediram localmente o fluxo de arraste na zona de *splashing* empregando uma sonda de sucção.

Para um CLFB de 2,25×2,25 m, as partículas apresentaram velocidades iniciais de ejeção diferentes para cada faixa granulométrica, conforme medidas realizadas por Berkelmann e Renz (1991), através de um dispositivo denominado LDVPS - *Laser Doppler Velocimetry and Particle Sizing*.

- **Ejeção de gás**

A flutuação local de velocidade do gás na *freeboard* devido à erupção das bolhas na superfície do leito, considerada inicialmente por Zenz e Weil (1958), foi confirmada por Levy e Lockwood (1983). Usando LDV - *Laser Doppler Velocimetry*, eles mediram o perfil de velocidade do gás e identificaram a formação de vórtices na zona de ejeção, provenientes da massa de gás contida nas bolhas no momento da erupção, com massa e identidade distintas do meio circundante.

A formação destes vórtices de gás na zona de ejeção foi identificada também por Pemberton e Davidson (1984), através de uma técnica fotográfica, usando traçadores para bolhas isoladas em ascensão no leito.

Em um LFB de 10,00 m de D e 4,90 m de altura, fluidizado com partículas de diâmetro médio igual a 500 μm e densidade de 3600 kg/m^3 , as flutuações locais da velocidade do gás estariam relacionadas com a erupção e o tamanho das bolhas emergentes

na superfície do leito denso, e afetariam o movimento das partículas finas, fazendo com que parte delas migrasse para a parede do reator (Hoggen, 1984).

- **Altura da zona de ejeção**

Sciazko, Raczek e Bandrowski (1988) observaram que, para testes com coque (80-2000 μm), a altura da zona de ejeção ou zona de *splashing*, H_s , variaria linearmente com o excesso de velocidade de fluidização, $U-U_{mf}$.

d. Freeboard

- **Fluxo de arraste ao longo da altura**

Schuurmans (1985) investigou o arraste de partículas de FCC em LFB's de 0,25 a 7,1 m de diâmetro com velocidades de fluidização variando de 0,20 a 0,65 m/s. Ele observou que o fluxo de arraste no nível do leito é menos dependente da velocidade do gás do que em alturas maiores, e que independe do diâmetro do leito para colunas com D maior que 0,60 m. O autor não forneceu informações quantitativas sobre o fluxo e a granulometria do material arrastado ao longo da altura.

Na câmara de expansão, o diâmetro médio das partículas e o fluxo de arraste se mantiveram aproximadamente uniformes ao longo de cada seção transversal e decaíram exponencialmente com a altura, sendo o decaimento função não só da velocidade superficial, mas também da altura estática do leito e da granulometria do material alimentado em testes com um CLFB de 2,90×3,40 m (Andersson e Leckner, 1989). Contudo, na parede, observaram um fluxo descendente de partículas, composto principalmente de finos e ocupando uma região anular de espessura menor que 0,30 m, função da velocidade de fluidização.

Berkelmann e Renz (1991), trabalhando em um CLFB de 2,25×2,25 m, também observaram uma uniformidade do fluxo de arraste em cada seção transversal reta.

• Fluxo de elutriação

Desde 1958, com Zenz e Weil, é consenso na literatura que o fluxo de elutriação é diretamente proporcional à velocidade superficial de fluidização.

O fluxo de elutriação ocorre numa altura superior a TDH(F) -*Transport Disengagement Height*, acima da qual não há mais variação significativa do fluxo e da granulometria das partículas. Existe ainda a definição de TDH(C), altura acima da qual não há mais partículas grosseiras em ascensão na *freeboard*. Na região da *freeboard* compreendida entre as duas TDH's ocorre uma pequena variação do fluxo e da granulometria das partículas arrastadas com a altura, atribuída aos seguintes fenômenos:

- Formação de aglomerados no leito denso com tamanhos superiores ao da maior partícula grosseira alimentada, os quais atingem alturas superiores a TDH(C) quando ejetados do leito pela erupção das bolhas;
- Transporte de algumas partículas grosseiras em regiões acima da TDH(C) devido à presença de partículas finas na *freeboard*, e
- Flutuação local da velocidade do gás devido à erupção de bolhas no leito, o que promoveria o arraste de partículas grosseiras em alturas superiores a TDH(C) e também a difusão turbulenta de partículas muito finas para as paredes da *freeboard*, as quais retornariam ao leito denso.

Neste trabalho, por simplicidade, a TDH(F) será denominada apenas TDH.

Wen e Hashinger (1960) observaram que vários fatores influenciam o fluxo de elutriação, como o diâmetro médio das partículas e a densidade e a viscosidade do gás. Segundo os autores, o fator mais determinante sobre a elutriação seria a diferença entre a velocidade superficial de fluidização e a velocidade terminal das partículas, $U-U_t$. O fluxo de elutriação não seria afetado pelo inventário do leito, M .

Tanaka, Shinohara, Hirosue e Tanaka (1972) trabalharam com leitos de 0,031; 0,067 e 0,150 m de diâmetro e não observaram efeito do diâmetro no fluxo de elutriação.

Merrick e Highley (1974), através de experimentos realizados em um CLFB de $0,91 \times 0,91$ m de seção transversal e velocidade de fluidização variando de 0,61 a 2,44 m/s, observaram a elutriação de partículas grosseiras na coluna de 3,96 m de altura por eles utilizada, não chegando a ocorrer o estabelecimento de uma TDH.

No trabalho de Bachovchin, Beér e Sarofim (1981), a reinjeção dos finos na região acima da superfície do leito denso ou no interior do mesmo não alterou o fluxo de elutriação. Diminuindo a altura da *freeboard* de 3,61 m para 2,62 m, foi notado um pequeno aumento do fluxo. A diminuição posterior de 2,62 m para 0,77 m ocasionou um aumento sensível do fluxo de arraste. Essas observações sugerem a existência de uma TDH, a partir da superfície do leito propriamente dito.

Em um leito borbulhante de partículas de areia (30-272 μm), com seção transversal de $0,254 \times 0,432$ m e 3,00 m de altura, George e Grace (1981) não notaram uma influência significativa da temperatura do leito sobre o fluxo de elutriação, nas condições testadas: 300, 435 e 445 K. Os internos colocados na *freeboard* também tiveram pouco efeito sobre o fluxo. Eles observaram ainda a existência de uma pequena fração em massa ($< 3,5\%$) de partículas grosseiras no material elutriado. Com o aumento da velocidade de fluidização, a distribuição granulométrica do material elutriado se aproximava da distribuição granulométrica do leito.

Colakyan e Levenspiel (1984) realizaram experimentos com partículas de polietileno, sílica e zircônio com diâmetros médios de 1000, 800 e 300 μm , respectivamente. Três leitos foram empregados: dois de seção quadrada de lados 0,30 e 0,92 m, e outro cilíndrico, de 0,10 m de D . Não foi observada variação no fluxo de elutriação nesses três leitos, apesar das dimensões características distintas.

Schuurmans (1985) realizou medidas locais do fluxo de elutriação empregando um sensor radioativo na entrada da bateria de ciclones de um regenerador de FCC com 7,1 m de

diâmetro e observou que a TDH não foi atingida em uma altura igual a 6,9 m acima da superfície do leito.

Choi, Son e Kim (1989) observaram um crescimento logarítmico do fluxo de elutriação com a velocidade superficial de fluidização em um CLFB de 0,3×0,3 m. Para um combustor maior, de 1,01×0,83 m, o fluxo de elutriação apresentaria um crescimento exponencial com a velocidade superficial de fluidização.

Um banco de tubos verticais colocado na câmara de expansão diminuiu o fluxo de arraste $F(z)$ abaixo da TDH, embora o fluxo de elutriação tenha permanecido constante (Pemberton e Davidson, 1986a).

Smolders e Baeyens (1997) fluidizaram partículas dos grupos A e C em 3 LFB's, com diâmetro interno igual a 0,082 m e diâmetros da *freeboard* iguais a D , $2D$ e $3D$. Eles observaram que, para fluxos de elutriação descritos como uma função da velocidade superficial de fluidização elevada a 4ª potência, qualquer aumento no diâmetro da *freeboard* reduziria o fluxo de acordo com o fator $(D_{freeb} / D)^4$.

Choi, Kim e Kim (1997) mediram o efeito da injeção de ar secundário sobre o fluxo de elutriação em um LFB de 0,1 m de diâmetro, utilizando partículas de areia (128-363 μm), e observaram uma diminuição do fluxo de partículas elutriado com o aumento da fração de ar secundário injetado. Este efeito foi mais sensível quando a injeção foi colocada na *freeboard*, acima da zona de *splashing*, o que causaria um aumento da recirculação do gás e, consequentemente, um maior retorno de partículas para o leito.

• Perfil de velocidade das partículas e do gás na *freeboard*

Foi observado por Morooka, Kago e Kato (1983) que partículas de FCC (60 μm), em dois leitos de 0,066 e 0,120 m de diâmetro, recirculavam na *freeboard*. Essa recirculação

formava duas regiões distintas: uma central, com partículas ascendendo e outra anular, junto à parede, na qual as partículas descendiam.

O perfil de velocidade do gás não se alteraria mais somente em regiões acima da TDH. A flutuação de velocidade local do gás no centro da coluna seria da mesma ordem de grandeza da velocidade superficial de fluidização e haveria uma porção de gás escoando descendentemente pela parede devido ao arraste provocado pelo fluxo descendente de partículas finas (Pemberton e Davidson, 1986a). Este fluxo descendente foi medido localmente usando uma sonda de sucção isocinética, i.e., com velocidade de sucção na região de coleta igual à velocidade do gás (Nguyen, A. Nguyen e Nieh, 1989).

Em 1984, Pemberton e Davidson observaram que a flutuação de velocidade do gás no centro da coluna ao longo da altura poderia ser estimada pela teoria das duas-fases¹, com o gás ejetado pelas bolhas formando novas "bolhas" na *freeboard*.

Ismail e Chen (1984) observaram uma distribuição de probabilidade bimodal da fração volumétrica de sólidos medida com sonda de capacitância ao longo do tempo e próxima à superfície do leito, com picos situados em valores iguais a 0,50 e 0,01. Isso indicaria que a quantidade local de sólidos se alternaria entre o fluxo de sólidos ejetados pelas bolhas, correspondente a fração volumétrica de 0,50, e o fluxo de gás-sólidos diluído, relativo à fração volumétrica de 0,01. A fração volumétrica média, medida ao longo do eixo do reator, variou de 0,45, imediatamente acima do leito denso, até valores próximos a zero para regiões acima da TDH. Os dados experimentais foram obtidos para esferas de vidro com diâmetros médios de 300, 475 e 850 μm e leito de seção retangular 0,20×0,30 m.

Medidas do fluxo de partículas descendentes acima do leito denso indicaram um decaimento exponencial, que seria proporcional à velocidade superficial do gás, conforme o experimento de Walsh, Mayo e Beer (1984). O leito apresentava seção quadrada de 0,600 m de lado e partículas de areia de diâmetro médio igual a 755 μm .

¹ Considerando uma seção transversal reta de um LFB denso, o gás pode cruzá-la através dos seguintes mecanismos: (i) translação de bolhas ou descarga de bolhas visíveis, Q_B ; (ii) fluxo interno e através das bolhas, conhecido como *through-flow*; (iii) fluxo intersticial relativo as partículas na fase densa; (iv) fluxo líquido dos vazios intersticiais movendo-se com as partículas. As componentes (i) e (ii) constituem o fluxo da fase borbulhante ou diluída, enquanto a soma dos termos (iii) e (iv) determinam o fluxo da fase particulada ou densa. A teoria das duas-fases, postulada inicialmente por Toomey e Johnstone (1952), propõe que $Q_B = (U - U_{mf})A_L$, isto é, que o fluxo em excesso ao requerido para manter a mínima fluidização é composto pelo fluxo de bolhas visíveis (i). Apesar desta expressão vir sendo empregada com frequência na modelagem fluidodinâmica de reatores, existem evidências experimentais (Geldart, 1986) que ela tende a superestimar o fluxo de bolhas visíveis. Entretanto, há considerável controvérsia quanto as razões para este desvio. Todos os autores tem ignorado o termo (iv) e não há acordo em relação a importância dos termos (ii) e (iii), ambos de difícil medição. Atualmente, vários autores tem proposto um parâmetro corretivo Y , multiplicando o 2º termo da equação, que para partículas de FCC pode ser considerado igual a unidade.

Horio, Shibata, Kadoguchi e Muchi (1985) realizaram experimentos em um leito de 0,26 m de D com esferas de vidro (finas e grosseiras), com o objetivo de determinar o padrão de escoamento na *freeboard*. Na zona de *splashing*, a velocidade local do gás apresentou uma flutuação devido à erupção das bolhas e a magnitude de seu valor máximo decaiu com a altura da coluna. A *freeboard* poderia ser dividida em duas regiões: uma fina e próxima à parede, com fluxo de partículas descendente, e outra central, com partículas ascendendo com velocidade e concentração aproximadamente uniformes em cada seção transversal. Foi observado também que a concentração das partículas decresceu exponencialmente com a altura.

Hamdullahpur e Mackay (1986), em experimentos realizados com um LFB de 0,18×0,32 m e 4,00 m de altura, utilizando partículas de areia não-elutriável de diâmetro uniforme, constataram, através de medições com um LDV, que:

- No centro da coluna, em $z = 0,05$ m, a velocidade local do gás, U_g , seria igual a duas vezes a velocidade superficial de fluidização, U , decaindo exponencialmente até $U_g = U$. Para $U = 0,60$ m/s, o perfil de velocidade do gás se estabilizaria em $z < 0,80$ m. A partir desta altura, U seria igual a U_g para cada seção transversal;
- Quanto maior a seção transversal do leito, mais rápido o perfil de velocidade do gás se uniformizaria ao longo da mesma, pois menor seria o efeito de parede;
- A velocidade local da partícula, U_p , ao longo da altura no centro da coluna, teria dois níveis de decaimento. O primeiro, quando $U_p > U$, e o segundo quando $U_p < U$. Para $U \leq 0,60$ m/s, o primeiro nível de decaimento ocorreria até no máximo $z = 0,20$ m, e
- Ao longo da seção transversal, para qualquer altura, U_p só variaria bem próxima à parede, onde ocorreria fluxo descendente de partículas.

Levy e Lockwood já haviam observado, em 1983, as mesmas características para o perfil de velocidade local do gás, usando um LDV.

Berkelmann e Renz (1991) confirmaram a observação de Pemberton e Davidson (1984), segundo a qual a flutuação de velocidade axial do gás ao longo da altura, $u'(z)$,

poderia ser estimada usando-se a equação para a velocidade das bolhas, desenvolvida a partir da teoria das duas-fases, considerando que a porção de gás ejetada pelas bolhas do leito denso mantém identidade própria na *freeboard*.

• Fluxo de aglomerados na *freeboard*

O fluxo de arraste de sólidos decai ao longo da altura da *freeboard*, o que seria devido à presença de partículas aglomeradas não-elutriáveis. Este fato foi observado experimentalmente por Hazlett e Bergougnou (1992), que usaram uma cúpula móvel para coletar partículas de areia (0-105 μm) em um leito de 0,61 m de diâmetro e 7,5 m de altura.

A seguir, é apresentada a Tabela 1.1 contendo as condições operacionais dos trabalhos citados neste capítulo. Eles abrangem as informações experimentais acerca do arraste de partículas para leitos com dimensão até 0,60 m e acima. O diâmetro $D \geq 0,60$ m, poderia ser adotado como limite inferior dos chamados grandes vasos, justificado pela observação experimental de Schuurmans (1985), segundo a qual, para leitos fluidizando FCC com dimensão característica acima de 0,60 m, o fluxo de arraste seria independente do diâmetro do leito.

Tabela 1.1 Sumário dos experimentos de arraste em leito fluidizado.

Autores Ano	Alimentação do Leito	Dimensões do Leito (m)	Altura do topo da coluna (m)	Temperatura e Pressão	Sólidos	Granulometria (μm)	Velocidade (m/s)
Osberg e Charlesworth (1951)	batelada	0,0762	1,27	ambientes	esferas de vidro	25-145	0,05-0,13
Zens e Weil (1958)	batelada	0,052x0,60	3,20	300 K 6,8 atm	FCC	10-150	0,30-0,62
Wen e Hashinger (1960)	batelada	0,102 0,051	1,83 2,08	ambientes	esferas de vidro e carvão	71-279 97-714	0,22-1,32
Fournol et al. (1973)	batelada com recirculação de finos	0,60	7,92	ambientes	FCC fresco	0-102	0,11-0,22
Merrick e Highley (1974)	contínua com recirculação de finos	0,91x0,91	3,96	1027 K 1222 K 1 atm	carvão e/ou calcário	0-31800	0,61-2,44
Geldart et al. (1979)	batelada	0,0706	3,80	300 K 1 atm	alumina, areia, chumbo e polímero	62 219 114	0-3,0
George e Grace (1981)	batelada com recirculação de finos	0,254x0,432	3,0	300, 435 e 445 K 1 atm	areia	30-272	0,2-1,3
Hatano e Ishida (1981)	batelada	0,15	0,80	ambientes	esferas de vidro	300-600	0,20-0,80

Continua

Autores Ano	Alimentação do Leito	Dimensões do Leito (m)	Altura do topo da coluna (m)	Temperatura e Pressão	Sólidos	Granulometria (μm)	Velocidade (m/s)
Bachovchin et al. (1981)	batelada com recirculação de finos	0,15x0,24	0,77 a 3,61	ambientes	areia	> 600 < 210	0,61-1,25
Levy e Lockwood (1983)	batelada	0,60x0,31	2,4	300K 3,4 atm	areia grosseira	1000 400	0,125
Geldart e Pope (1983)	batelada	0,29	7,0	ambientes	areia	200 1000 2500	2,0-5,2
Hatano e Ishida (1983)	batelada com recirculação de finos	0,15	2,25	ambientes	FCC	75	0,1-0,5
Matsuno et al. (1983)	batelada	0,081	2,3 a 8,0	ambientes	esferas de vidro	68,5 161	0,48, 0,60 e 0,7
Morooka et al. (1983)	alimentação continua	0,066 0,120	2,5	ambientes	FCC	60	0,7-3,0
Colakyan e Levenspiel (1984)	batelada com recirculação de finos	0,92x0,92 0,30x0,30 0,10	7,5	ambientes	polietileno, zircônio e sílica	19 - 1000 19-800 19-300	0,91-3,35
Ismail e Chen (1984)	recirculação de finos	0,20x0,30	3,0	ambientes	esferas de vidro	300 475 850	0,17-2,50
Pemberton e Davidson (1984)	batelada	0,60 0,30x0,30	-	ambientes	polímero e areia	760 370	0,07
Walsh et al. (1984)	batelada	0,60x0,60	4,4	ambientes	areia	755	0,42-0,86
Horio et al. (1985)	batelada com recirculação de finos	0,261	2,44	ambientes	esferas de vidro	41 500	0,52 e 0,64
Schuurmans (1985)	regenerador de FCC	7,10	-	650 °C 3 bar	FCC	0-300	0,45 a 0,65
Kato et al. (1985)	continua com recirculação de finos	0,25x0,25 0,15x0,15	2,00	ambientes	alumina ativada e areia	0-500	0,4-1,5
Hamdullahpur e Mackay (1986)	batelada	0,32x0,18	4,00	ambientes	areia grosseira	300	0,20-0,60
Pemberton e Davidson (1986)	batelada	0,60 0,60x0,60	-	ambientes	areia polímero	300 700	0,30-0,50
Pemberton e Davidson (1986a)	batelada	0,60 0,30x0,30	-	ambientes	areia polímero	73 e 370 760	0,30-0,50
Geldart e Wong (1987)	batelada	0,08	2,6	ambientes	grupo A e C	5-95	próximo a Umf
Sciazko et al. (1988)	batelada	0,3	0,84 1,51; 2,11	ambientes	coque	80-2000	0,51 0,81; 1,23
Son et al. (1988)	batelada	0,38	9,10	ambientes	areia	0-1000	2,4-3,4
Choi et al. (1989)	batelada com recirculação de finos	0,38 0,3x0,3 1,01x0,83	9,6 1,7 4,45	300 e 1123 K 1 atm	areia e carvão	0-7930	0,38-2,44
Andersson e Leckner (1989)	continua	2,9x3,4	5,0	1133-1176 K 1 atm	carvão	0-30000	1,56-2,36
Sciazko et al. (1991)	batelada	0,30	-	ambientes	carvão volatilizado	80-2000	1,23
Berkelmann e Renz (1991)	continua	2,25x2,25	7,0	~ 1100 K 1 atm	carvão	0-8000	0,95
Briens et al. (1992)	batelada	0,60	-	ambientes	FCC	10-128	0,15-0,30
Baeyens et al. (1992)	batelada	0,0762	2,72	ambientes	FCC e finos grupo C	0-90	0,21
Baron et al. (1992)	batelada	0,60	-	ambientes	FCC	10-128	0,15-0,30
Hazlet e Bergougnou (1992)	batelada	0,60	7,50	ambientes	areia	0-105	0,15-0,30

Continua

Autores Ano	Alimentação do Leito	Dimensões do Leito (m)	Altura do topo da coluna (m)	Temperatura e Pressão	Sólidos	Granulometria (µm)	Velocidade (m/s)
Yao-Dian e Kimura (1993)	batelada	0.052	0.5	ambientes	silicone grupos B e C	330-370 0.47-3.70	0-0.41
Fung e Hamduillahpur (1993a)	batelada	0.145	1.75	ambientes	polímero e areia	760 200, 300 e 427	0.27-0.54
Benoni et al. (1994)	batelada com recirculação de finos	0.292 0.61	3.10	300 K 25 atm 1 atm	polietileno e areia	0-2000 30-200	0.25-0.50 0.15-0.30
Choi, Kim e Kim (1997)	batelada com recirculação de finos	0.10	2.25	ambientes	areia	128-363	0.78-2.76
Choi et al. (1997)	batelada com recirculação de finos	0.10	1.97	300-973 K 1 atm	areia	91-363	0.63-2.30
Smolders e Baeyens (1997)	batelada	0.082 (Dfreeb = 0.082, 0.164, 0.328 m)	3.06 2.06 1.06	ambientes	calcário, SiC, areia, alumina, vidro, E-cat, Al ₂ O ₃	16-70	0.10-0.80

Apesar das informações experimentais disponíveis para grandes vasos, são necessários novos estudos para uma maior compreensão do processo de arraste de partículas de FCC. Os trabalhos já realizados com FCC em grandes leitos (Fournol, Bergougnou e Baker ,1973; Schuurmans, 1985; Briens, Bergougnou, Inculet, Baron e Hazlett, 1992; e Baron, Briens, Hazlett, Bergougnou e Galtier, 1992) não fornecem a distribuição granulométrica das partículas arrastadas ao longo da *freeboard*, parâmetro necessário para o desenvolvimento de projetos de separadores gás-sólidos.

1.2.2 Análise dos modelos propostos na literatura

Para análise dos modelos de arraste, propõem-se sua divisão conforme tratem dos fenômenos que ocorrem nas duas partes principais que constituem o leito, ou do leito como um todo:

- Modelos do leito denso;
- Modelos da *freeboard*, e
- Modelos do arraste no leito fluidizado, integrando os processos desde a placa distribuidora até a entrada do ciclone, no topo do leito.

a. Modelos do leito denso

O leito denso propriamente dito é modelado pelo modelo clássico de duas-fases. Do ponto de vista do fenômeno de arraste de partículas é importante incluir a consideração da formação de aglomerados de partículas devido à existência de forças coesivas, como a de van der Waals. É também importante que se descreva a erupção de bolhas na superfície do leito.

• Modelo de duas-fases

Este modelo foi originariamente desenvolvido por Toomey e Johnstone (1952) e aperfeiçoado por Davidson e Harrison (1963) para cálculo da descarga de bolhas em LFB's e considera o leito denso composto de:

- Uma fase de emulsão ou particulada, de viscosidade desprezível, na qual a porosidade é essencialmente constante e igual à porosidade das condições de mínima fluidização, ε_{mf} , e
- Uma fase diluída ou borbulhante, na qual está presente o excesso de gás fluidizante, responsável pela formação das bolhas.

Na prática, sabe-se que a descarga real de bolhas é um pouco menor do que a prevista pelo modelo, sendo este déficit em torno de 10% para o grupo A de partículas. Conforme Geldart (1986), o modelo de duas-fases não explica todas as características do comportamento das bolhas em um LFB. Ainda assim, no entanto, ele permanece como o mais empregado (Fung e Hamdullahpur, 1993a).

• Modelagem da formação de aglomerados de partículas finas no leito denso

Em 1994, Bénoni, Briens, Baron, Duchesne e Knowlton propuseram um método de cálculo para estimar o percentual de partículas finas que se aglomerariam no interior do leito denso, através de uma função log-normal, de acordo com proposta anterior de Hazlett e Bergougnou (1992), que avaliaram qualitativamente a função que melhor descreveria o arraste de sólidos ao longo da *freeboard*. Seus resultados foram satisfatórios quando comparados a dados experimentais para areia e polietileno. Em termos práticos, seu trabalho

explica porque, abaixo de um determinado diâmetro crítico, o fluxo de elutriação diminui com a diminuição do tamanho das partículas, confirmando a observação experimental para FCC de Briens, Bergougnou, Inculet, Baron e Hazlett (1992), Baeyens, Geldart e Wu (1992) e Baron, Briens, Hazlett, Bergougnou e Galtier (1992). Como inconveniente, a modelagem não determina a distribuição granulométrica dos aglomerados formados.

Existem outros modelos que consideram a formação de aglomerados na *freeboard* (Cohen, 1992). Todavia, a principal força coesiva que atuaria no processo de aglomeração de sólidos seria a força de van der Waals, como foi verificado experimentalmente por Baeyens, Geldart e Wu (1992). Esta força é inversamente proporcional à distância média entre as partículas, o que permite supor que a aglomeração ocorreria basicamente dentro do leito denso.

- **Modelagem da zona de ejeção de partículas**

É consenso entre os autores que a ejeção de partículas na câmara de expansão acontece devido à erupção das bolhas na "superfície" do leito. Na prática, a região de interface entre o leito denso e a *freeboard* não é bem definida. Existem vários modelos que estimam o fluxo de partículas ejetadas do leito denso na *freeboard*. Entre eles, o mais comumente empregado é o de Pemberton e Davidson (1986a), que considera tanto a corrente de partículas ejetadas pelo topo das bolhas como a de sólidos originários da esteira das bolhas. Atualmente, tem-se incorporado a este modelo funções de probabilidade das bolhas coalescerem (Briens, Bergougnou e Baron, 1988 e Fung e Hamdullahpur, 1993a), pois se considera o fluxo de partículas ejetadas como diretamente proporcional ao tamanho das bolhas emergentes. Sendo assim, o uso de uma boa correlação para prever o diâmetro médio das bolhas, que leve em conta o tipo de distribuidor de gás e as condições operacionais empregadas, é de grande importância.

A dificuldade de elaboração de modelos para estimar o fluxo de ejeção de sólidos é a falta de dados experimentais consistentes, uma vez que só podem ser obtidos pela

extrapolação, até a superfície do leito, dos fluxos de arraste medidos ao longo da altura do reator (Briens, Bergougnou e Baron, 1988).

b. Modelos da *freeboard*

• Modelagem da região abaixo da TDH

Originalmente, Lewis, Gilliland e Lang (1962) propuseram um modelo, desenvolvido posteriormente por Kunii e Levenspiel (1969), no qual admitiram que existiriam quatro fases na *freeboard*:

- Fase 1: uma corrente de gás ascendente arrastando partículas dispersas;
- Fase 2: aglomerados ejetados ascendentemente pela erupção das bolhas;
- Fase 3: aglomerados com $U_t > U$ em escoamento descendente, e
- Fase 4: uma emulsão particulada aderida à parede em escoamento descendente.

Existiria uma troca de massa de partículas entre estas fases, a qual dependeria da velocidade do gás, da ação das bolhas, da granulometria das partículas e do diâmetro do leito. Embora expressões analíticas possam ser escritas para este modelo, este tipo de abordagem não tem fornecido resultados fisicamente realísticos (Geldart, 1986).

Em 1976, Large, Martini e Bergougnou propuseram uma abordagem mais simplificada, onde o fluxo de arraste ao longo da altura seria constituído de duas fases:

- Um fluxo contínuo e uniforme escoando ascendentemente, que seria o próprio fluxo de elutriação, correspondente à fase 1, e
- Um fluxo de aglomerados ejetados pelas bolhas, o qual decresceria exponencialmente com a altura da *freeboard*, correspondente ao fluxo líquido relativo à soma das fases 2, 3 e 4.

No entanto, este tipo de abordagem necessita do conhecimento prévio do fluxo de ejeção de partículas, F_o , e de uma constante empírica de decaimento exponencial do fluxo, a qual deve ser avaliada para cada sistema em particular.

Atualmente, alguns autores consideram a *freeboard* como uma zona de flutuação de velocidade do gás causada pela erupção das bolhas emergentes, admitindo que o movimento das partículas seria função somente da velocidade local do gás. Esta abordagem teve origem em 1984, com Pemberton e Davidson, a partir da teoria de vorticidade e de estabilidade dos anéis de vórtice de Maxworthy (1972). Tratando os vórtices anulares formados pela ejeção do gás na *freeboard* como "bolhas virtuais", com identidade distinta do meio circundante, os autores admitiram que a flutuação da velocidade do gás, u' , poderia ser estimada satisfatoriamente pela teoria das duas-fases, acoplada à hipótese de turbulência isotrópica. Em 1986, dando prosseguimento ao seu trabalho, desenvolveram um equacionamento para o fluxo de arraste de sólidos em função da altura. Quando comparados a dados experimentais, seus resultados foram apenas razoáveis, sempre superestimando o fluxo de arraste. Uma explicação possível para tanto seria a adoção da hipótese da isotropia para a turbulência do gás ao longo de cada seção transversal, contrária ao observado experimentalmente por Hamdullahpur e Mackay (1986), próximo à zona de ejeção, onde o perfil da flutuação do gás mostrou-se irregular.

Kunii e Levenspiel (1990) desenvolveram abordagem análoga a Pemberton e Davidson. No entanto, este tipo de modelagem não se aplica a regiões acima da TDH, onde se verificaria uma região de transporte, com a uniformização da velocidade do gás.

• Modelagem da região acima da TDH

Inicialmente, as abordagens apresentadas na literatura previam o fluxo de elutriação em termos de uma constante K_{oi} :

$$\frac{d}{dt}(x_i M) = x_i K_{oi} A_L = F_{oi} A_L \quad (1.1)$$

aonde $\frac{d}{dt}(x_i M)$ = taxa instantânea de elutriação de sólidos de diâmetro d_i , considerando

operação em batelada:

A_L = área da seção transversal do leito;

M = inventário do leito;

x_i = fração em massa no leito, e

$F_{\infty i}$ = fluxo de elutriação das partículas de diâmetro d_i .

Para operação contínua, x_i e M são constantes, e $F_{\infty i} = x_i K_{\infty i}$. A concentração de partículas de diâmetro d_i na entrada do ciclone poderia ser dada então por

$$C_i = \frac{F_{\infty i}}{U} \quad (1.2)$$

e a fração em massa de cada diâmetro de partícula elutriada por

$$x_{ei} = \frac{F_{\infty i}}{F_{\infty}} \quad (1.3)$$

O fluxo de elutriação não pode ser previsto a menos que $K_{\infty i}$ seja conhecida. Como esta constante não é, até o momento, determinada por princípios fundamentais, várias correlações empíricas tem sido propostas (Smolders e Baeyens, 1997).

Briens e Bergougnou (1986), Briens, Bergougnou e Baron, (1988) e Sciasko, Bandrowski e Raczek (1991) têm considerado que, na região acima da TDH, o perfil de velocidade do gás seria uniforme ao longo de cada seção transversal, com a suspensão gás-sólidos considerada em regime de transporte pneumático. Para calcular o fluxo de sólidos acima da TDH, os autores normalmente utilizaram formulações que relacionam a perda de pressão no escoamento com a concentração de partículas. Essas últimas necessitam, para sua utilização, do valor do fluxo de ejeção de partículas, $F_{o..}$

Apesar destes modelos relacionarem o fluxo de elutriação com o fluxo de ejeção de partículas, eles não estimam o fluxo de arraste ao longo da câmara de expansão na região situada abaixo da TDH e dependem do conhecimento da TDH. A determinação da TDH é complexa, sendo que na literatura há mais de uma dezena de proposições para tanto (conforme Tabela 4.6).

- **Modelagem de toda a *freeboard***

A primeira modelagem que considerou toda a *freeboard* foi proposta por Zenz e Weil, em 1958, baseado num balanço de forças aplicado às partículas, admitindo regime de escoamento laminar. Contudo, na época, não se tinham formulações matemáticas para a zona de ejeção, o que limitava o trabalho a uma descrição qualitativa do perfil do fluxo de arraste ao longo da altura.

Atualmente, a aplicação deste método tornou-se usual, pois já é possível estimar o fluxo de arraste e a velocidade das partículas na zona de ejeção (Hamdullahpur e Mackay, 1986).

Glicksman e Yule (1995) desenvolveram um modelo mecanicista para prever o fluxo de arraste total ao longo da *freeboard* de um leito fluidizado borbulhante. Eles incluíram no modelo a aceleração das partículas devido às altas velocidades do gás ocasionadas pela erupção de bolhas coalescendo na superfície do leito, e consideraram a probabilidade de coalescência de múltiplas bolhas. A porosidade do leito e a frequência de bolhas foram estimadas considerando o modelo de duas-fases. O fluxo de arraste previsto decaiu exponencialmente com a altura da coluna. Os resultados obtidos pelo modelo foram razoáveis quando comparados aos dados experimentais de Glicksman e Piper (1987).

Milioli e Foster (1995) propuseram um modelo para avaliar o fluxo de ejeção e de elutriação de partículas em um leito fluidizado borbulhante. No modelo, as partículas foram divididas em 3 classes: finos críticos, finos e grosseiros. Os finos críticos seriam aqueles cuja

velocidade terminal é muito menor do que U_t e seriam instantaneamente arrastados na superfície do leito. Partículas finas e grosseiras seriam aquelas com U_t menor e maior que U_t , respectivamente, e seriam arrastadas através do mecanismo de ejeção de partículas contidas na esteira das bolhas pela erupção das mesmas na superfície do leito denso. A expressão proposta para a determinação do fluxo de ejeção de partículas, F_o , foi baseada no trabalho de Briens, Bergougnou e Baron (1988) e, quando comparada aos dados experimentais de Pemberton e Davidson (1986), obtidos em um LFB de 0,60 m de D com polímeros de 760 μm , forneceu resultados satisfatórios. O modelo para elutriação é baseado no decaimento exponencial do fluxo de arraste com a altura da *freeboard* e depende de parâmetros empíricos, obtidos para situações operacionais específicas.

c. Modelagem completa do arraste no leito fluidizado

A tendência atual dos modelos é tentar considerar todos os fenômenos que possam influenciar o arraste, desde a placa distribuidora até a entrada no ciclone, acompanhando a trajetória das partículas ejetadas ao longo da *freeboard*, considerando ou não a variação axial da velocidade do gás devido à erupção das bolhas (Son, Choi e Lee, 1988; Choi, Son e Kim, 1989; Andersson e Leckner, 1989; Berkelmann e Renz, 1991, e Fung e Hamdullahpur, 1993, 1993a).

Son, Choi e Lee (1988) propuseram um modelo de arraste baseado num balanço de forças aplicado às partículas na *freeboard*, desconsiderando a variação da velocidade de fluidização com a altura do leito, e obtiveram resultados satisfatórios, quando comparados aos dados experimentais para fluxo de elutriação de Gugnoni e Zenz (1980) e George e Grace (1981), em leito de dimensão característica menor do que 0,90 m. Choi, Son e Kim (1989) e Andersson e Leckner (1989) usaram abordagens análogas e, também desconsiderando a variação de velocidade do gás, obtiveram resultados satisfatórios para o fluxo de elutriação e para o fluxo de arraste ao longo da altura, comparando-os a dados experimentais de um CLFB com dimensão característica maior que 0,60 m.

O modelo de Berkelmann e Renz (1991) fornece o fluxo de arraste total e a velocidade média axial das partículas ao longo da altura. A comparação do modelo, com a inclusão da turbulência do gás, contra seus dados experimentais obtidos para um CLFB de 2,25×2,25 m queimando carvão, não resultou numa melhora significativa dos resultados para o fluxo de arraste de sólidos ao longo da altura.

O trabalho de Fung e Hamdullahpur (1993, 1993a) apresenta a modelagem mais completa até então e considera simultaneamente uma série de fatores que podem afetar o arraste, entre eles a coalescência e a erupção das bolhas na superfície do leito denso, a flutuação local da velocidade do gás na *freeboard* e a geometria do distribuidor. Todavia, o modelo proposto não inclui a atuação de forças coesivas e a coalescência das bolhas é considerada apenas na vertical. Os resultados obtidos, quando comparados a dados experimentais do fluxo de partículas ejetadas (Pemberton e Davidson, 1986) não foram satisfatórios. Os autores atribuíram isto ao fato de não considerarem em seu modelo a probabilidade de coalescência de bolhas não alinhadas verticalmente. Para a previsão do decaimento da velocidade axial do gás com a altura da *freeboard*, no entanto, o método concordou bem com os seus dados experimentais.

1.3 Objetivos do Trabalho

Nesta tese, o fenômeno do arraste de partículas de FCC ao longo da altura de um leito fluidizado borbulhante é estudado experimentalmente, considerando a influência da velocidade superficial do gás e do inventário de sólidos.

É proposto um modelo mecanicista para leitos de grande porte - $D \geq 0,60 \text{ m}$ -, levando em conta a informação técnica e as constatações experimentais. O modelo é pioneiro em considerar a distribuição granulométrica efetiva das partículas de FCC devido à ação das forças coesivas interparticulares no leito denso. Ele considera também a ejeção vertical de partículas sólidas através da erupção de bolhas na superfície do leito denso e calcula a sua trajetória baseado na dinâmica das partículas, possibilitando estimativas do fluxo de arraste e da granulometria dos sólidos em cada seção transversal ao longo da câmara de expansão.

O programa de testes foi realizado para dar subsídios e confirmar a validade do modelo devido à não disponibilidade de dados experimentais detalhados na literatura relativos à granulometria e ao fluxo de partículas de FCC arrastadas em grandes leitos.

Capítulo 2

Modelo do Arraste de Partículas Proposto

Neste capítulo, é proposto um modelo mecanicista para o arraste de partículas em vasos de grandes dimensões. Isto é feito com base na descrição experimental recolhida e na consideração, quando adequada, dos modelos já disponíveis.

O modelo descrito está dividido em duas partes, conforme trata as duas regiões principais do leito:

- Leito denso, e
- *Freeboard*.

2.1 Leito Denso

A modelagem do leito denso compreende o leito propriamente dito e a zona de ejeção de partículas. As correlações empíricas ou semi-empíricas selecionadas no modelo foram empregadas devido à aplicabilidade as condições operacionais dos testes executados neste trabalho.

2.1.1 Leito denso propriamente dito

Para estimativa do fluxo de partículas ejetadas, F_o , uma série de parâmetros relativos à fluidodinâmica do leito denso deve ser considerada inicialmente, a saber:

- Velocidade terminal das partículas, U_t ;
- Distribuição granulométrica das partículas devido ao processo de atrito abrasivo;
- Distribuição granulométrica das partículas levando em conta o processo de aglomeração;
- Velocidade mínima de fluidização, U_{mf} ;

- Diâmetro médio das bolhas na superfície do leito, $\bar{d}_B$;
- Velocidade média das bolhas na superfície do leito, U_B ;
- Altura do leito denso expandido, H_e ;
- Frequência de borbulhamento, f_B ;
- Probabilidade de coalescência simultânea de N_B bolhas na superfície do leito, P_{NB} .

Os cálculos de U_{mf} , $\bar{d}_B$, U_B , H_e , e f_B dependem da distribuição granulométrica das partículas, que se altera devido ao processo de aglomeração. Como consequência, são realizados de modo iterativo, visto que a nova distribuição das partículas no leito denso depende, por sua vez, do conhecimento prévio daquelas grandezas.

O diâmetro médio das bolhas na superfície do leito, em especial, é um parâmetro que influencia de modo significativo o arraste; ele depende basicamente da geometria da placa distribuidora, das propriedades físicas do gás e das partículas, e da descarga de gás.

a. Velocidade terminal para cada tamanho de partícula alimentada, U_t ,

O cálculo da velocidade terminal, U_t , é necessário para a separação das partículas alimentadas em finas ($U_t < U$) e grosseiras ($U_t \geq U$). A velocidade terminal para cada tamanho de partícula é obtida através de um balanço de forças na partícula na direção vertical, considerando a partícula em queda livre e a velocidade do gás nula:

$$F_T = E - F_a - P \quad ,$$

onde F_T = força resultante;

E = empuxo;

F_a = força de arraste, e

P = peso da partícula.

Substituindo as expressões correspondentes a cada um desses termos, tem-se:

$$m_p a_p = \rho g \forall_p - \frac{1}{2} C_D A_p \rho |U_p - U| [U_p - U] - m_p g \quad ,$$

onde m_p = massa da partícula;

a_p = aceleração da partícula;

U_p = velocidade da partícula;

$\forall_p$ = volume da partícula;

A_p = área projetada da partícula, na direção perpendicular ao escoamento;

ρ = densidade do gás, e

g = aceleração gravitacional.

Tem-se que:

$$\forall_p = \frac{m_p}{\rho_p}$$

e

$$A_p = \frac{6}{4} \frac{\forall_p}{\phi d} \quad ,$$

onde ϕ é a esfericidade, d o diâmetro e ρ_p a densidade aparente da partícula.

Substituindo estas expressões na equação de balanço, fica:

$$0 = -\frac{3}{4} \frac{\rho C_D U_t^2}{\phi d \rho_p} - \left(\frac{\rho_p - \rho}{\rho_p} \right) g \quad ,$$

Rearranjando, vem:

$$U_t = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{\phi d \rho_p}{\rho C_D} \left(\frac{\rho_p - \rho}{\rho_p} \right) g}$$

Experiências conduzidas com partículas isométricas, isto é, partículas esféricas ou na forma de poliedros regulares, indicam que o coeficiente de arraste, C_D , depende apenas do número de Reynolds e da esfericidade das partículas (Lapple e Shepherd, 1940; Pettyjohn e Christiansen, 1948; Morsi e Alexander, 1972; Fouda e Capes, 1977; Clift, Grace e Weber, 1978; Concha e Barrientos, 1986; e Haider e Levenspiel, 1989). Como as correlações existentes para cálculo de C_D para partículas não-esféricas são de complexidade e precisão equivalentes (Coelho e Massarani, 1996), optou-se pelo uso da expressão de Haider e Levenspiel no modelo:

$$C_D = \frac{24}{Re} \left(1 + C_1 \cdot Re^{C_2} \right) + \frac{C_3}{1 + \frac{C_4}{Re}},$$

onde

$$C_1 = \exp(2,3288 - 6,4581\phi + 2,4486\phi^2)$$

$$C_2 = 0,0964 + 0,5565\phi$$

$$C_3 = \exp(4,905 - 13,8944\phi + 18,4222\phi^2 - 10,2599\phi^3)$$

$$C_4 = \exp(1,4681 + 12,2584\phi - 20,7322\phi^2 + 15,8855\phi^3)$$

O número de Reynolds da partícula é determinado por:

$$Re = \frac{\rho d |U_t - U|}{\mu}$$

onde μ é a viscosidade dinâmica do gás.

Desta forma, o cálculo da velocidade terminal da partícula isolada é iterativo. O gráfico da Figura 2.1 a seguir ilustra o efeito da esfericidade da partícula no coeficiente de arraste, demonstrando a importância de se ter bem definido o valor de ϕ .

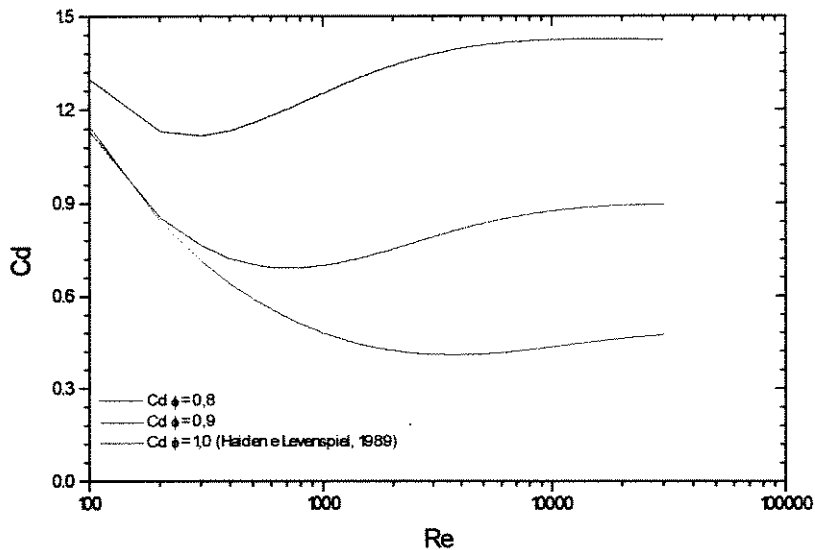


Figura 2.1 Efeito da esfericidade de uma partícula isométrica sobre o coeficiente de arraste.

b. Distribuição granulométrica das partículas devido ao processo de atrito abrasivo

Forsythe e Hertwig (1949) realizaram o primeiro trabalho sobre a redução de tamanho de partículas de FCC em um pequeno LFB e concluíram que o processo de redução de tamanho possível seria o de atrito abrasivo.

Para o caso de uma unidade de craqueamento catalítico, a distribuição granulométrica das partículas de FCC de equilíbrio no leito denso do regenerador já leva em conta o processo de atrito abrasivo (Zens e Smith, 1972). A distribuição granulométrica de equilíbrio de FCC é considerada um dado de entrada no método de cálculo, não sendo necessária a inclusão de algum efeito adicional do atrito abrasivo na granulometria. Esta hipótese, como as demais, deve passar posteriormente por confirmação experimental,

comparando, no caso, a distribuição granulométrica do leito antes e após o processo de fluidização.

c. Distribuição granulométrica das partículas devido ao processo de aglomeração

De acordo com Visser (1989), a força coesiva interparticular dominante em um leito fluidizado é a força de van der Waals, que atua principalmente em partículas do grupo A e C, classificação Geldart. Assim, para partículas de FCC - grupo A - a distribuição granulométrica do material alimentado difere da distribuição efetiva dentro do leito, devido à formação de aglomerados constituídos de partículas com até um diâmetro crítico d_c , conforme Baeyens, Geldart e Wu (1992). Partindo deste pressuposto, o modelo desenvolvido por Bénoni, Briens, Baron, Duchesne e Knowlton (1994) permite avaliar a distribuição granulométrica efetiva do leito denso. O modelo foi aplicado para areia e polietileno e previu de forma satisfatória a distribuição granulométrica efetiva dos finos no leito, admitindo que as amostras analisadas granulometricamente a seco mantinham os aglomerados formados durante o processo de fluidização e que as analisadas via úmida os desfaziam completamente. Considerando as hipóteses de que somente os finos ($U_t < U$) se aglomeram e de que os aglomerados são não elutriáveis, eles definiram uma função de aglomeração log-normal, f_{ag} , que fornece a fração em massa de cada tamanho de partícula fina que se aglomera. Como a definição de finos depende da velocidade terminal, para cada velocidade superficial de fluidização utilizada, existiriam mais ou menos finos no leito sujeitos ao fenômeno de aglomeração. Deve-se ressaltar que a força de van der Waals é função do diâmetro das partículas e da distância entre elas (Visser, 1989; Baeyens, Geldart e Wu, 1992; e Hyre, 1997). Baeyens, Geldart e Wu (1992), em testes que incluíram partículas catalíticas, determinaram esse diâmetro crítico como sendo igual a

$$d_c = \frac{10325}{\rho_p^{0,725}} \quad [\mu\text{m}],$$

Em um gráfico de fluxo de elutriação *versus* tamanho de partícula, eles observaram que o fluxo aumentava com o tamanho de partícula até um certo diâmetro d_c , tendência contrária ao esperado. Isto teria ocorrido, supostamente, pela ação da força coesiva, a qual provocaria a aglomeração de partículas finas com diâmetro máximo igual a d_c , fazendo com que estes finos se tornassem não-elutriáveis. Pode-se estimar este diâmetro crítico teoricamente, a partir da expressão da força coesiva interparticular de Van der Waals, F_c (Rietema, Cottaar e Piepers, 1993):

$$F_c = \frac{d_a A}{12Z^2}, \quad [\text{N}]$$

onde d_a = raio de curvatura médio das asperezas superficiais das partículas, admitido igual a $0,1 \times 10^{-6}$ m (Massimilla e Donsi, 1976);

A = constante de Hamaker, igual a 10^{-19} J (Visser, 1972), e

Z = distância mínima entre as partículas tal que F_c seja máxima; admitido um valor médio igual a $2,23 \times 10^{-10}$ m (Lennard-Jones, 1937).

De acordo com Visser (1989), a força de van der Waals é dominante em relação a força gravitacional, e, portanto, em relação às forças fluidodinâmicas no leito fluidizado, quando as partículas estão em contato real, que ocorre para distância entre superfícies da ordem de nanômetros, e têm diâmetros menores que 100 μm . A situação muda para partículas porosas, como é o caso do FCC, ou partículas achatadas e cristalinas; para estes casos, a faixa de tamanho na qual a força coesiva é significativa e estendida para partículas maiores.

Num gráfico da razão entre a força coesiva e a força gravitacional F_c/F_g *versus* o diâmetro da partícula, admitindo que o máximo tamanho de partícula de FCC sujeito à aglomeração no leito denso seja aquele no qual $F_c/F_g = 1$, tem-se $d_c = 130 \mu\text{m}$:

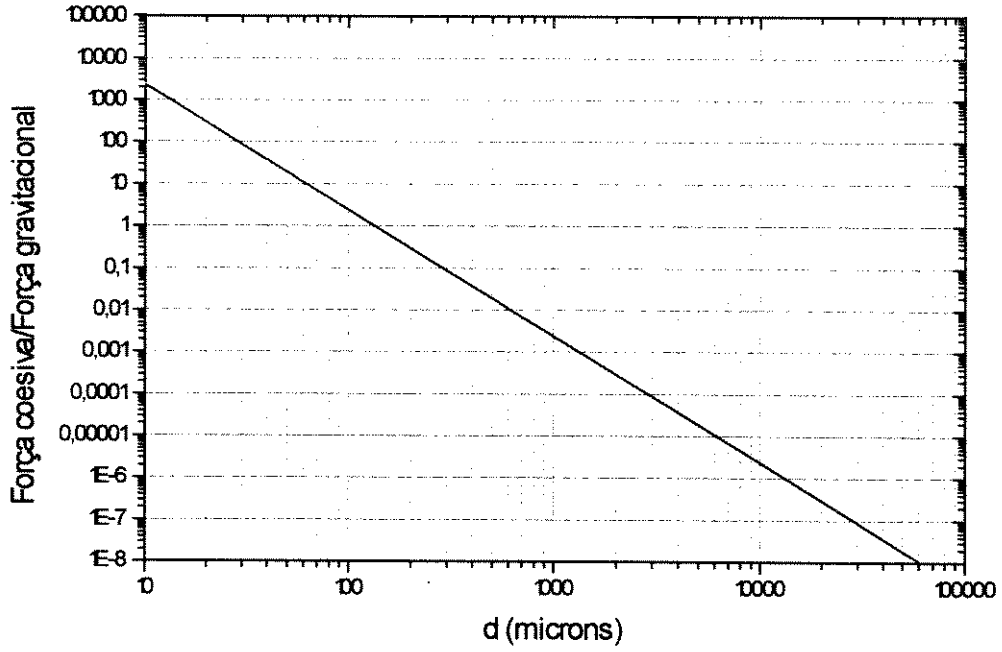


Figura 2.2 Diâmetro máximo de partícula de FCC sujeito à aglomeração no leito denso.

A função log-normal de aglomeração, f_{ag} , é dada por (Bénoni, Briens, Baron, Duchesne e Knowlton, 1994):

$$f_{ag}(d_i) = \frac{X_{ei}}{X_i} \quad (2.1)$$

$$= \int_0^{d_i} \frac{\exp\left\{-\frac{[\ln(d_i) - \ln(\bar{d}^*)]^2}{2[\ln(\sigma_s)]^2}\right\}}{\sqrt{2\pi} \ln(\sigma_s)} \frac{\partial(d_i)}{d_i} ,$$

onde $\bar{d}^*$ = diâmetro médio geométrico dos sólidos alimentados: $\bar{d}^* = \sqrt[N]{\prod_{i=1}^N d_i}$;

d_i = diâmetro das partículas da faixa granulométrica i menores ou iguais ao diâmetro

crítico d_c :

σ_s = desvio-padrão da distribuição:

X_{ei} = fração mássica acumulativa das partículas finas não aglomeradas do leito de diâmetro d_i menor ou igual a d_c , e

X_i = fração mássica acumulativa das partículas alimentadas de diâmetro d_i menor ou igual a d_c .

A fração em massa acumulativa correspondente à soma das várias faixas granulométricas de finos que se aglomeram, X_{ag} , é calculada por:

$$X_{ag} = \sum_{i=1}^{N_c} (X_i - X_{ei}) \quad , \quad (2.2)$$

onde N_c é o número de faixas granulométricas de partículas menores ou iguais ao diâmetro crítico para aglomeração d_c .

Adotou-se para σ_s o valor de $3\sigma_{so}$, sendo σ_{so} o desvio-padrão geométrico das partículas alimentadas, visto que o percentual de partículas aglomeradas no leito denso, calculado pelo modelo, X_{ag} , variou de modo sensível até $\sigma_s = 3\sigma_{so}$. Para valores de σ_s superiores, não ocorreu alteração significativa da massa de aglomerados formados.

Não há na literatura, até o momento, modelos que permitam avaliar a distribuição granulométrica dos aglomerados formados no leito denso. O tamanho máximo de aglomerado pode ser estimado, no entanto, como será visto posteriormente, a partir dos dados experimentais obtidos neste trabalho, levando em conta as distribuições granulométricas das partículas do leito denso, determinadas por peneiramento vibratório (a seco) e por difração a laser (via úmida), empregando-se o Malvern®, onde se admite que o procedimento a úmido desintegra os aglomerados formados durante a fluidização.

Considerando, ainda, o menor diâmetro dos aglomerados como sendo igual ao diâmetro das partículas imediatamente maiores que d_c , estabelece-se os tamanhos limites dos aglomerados, que podem ser distribuídos em N_{ag} faixas granulométricas. A massa total de aglomerados é distribuída pelas várias faixas granulométricas, admitindo-se tentativamente quatro tipos de distribuição: uniforme, normal, log-normal ou exponencial. Aplicadas essas distribuições ao modelo de arraste, elas forneceram valores de $F(z)$ próximos. Sendo assim, adotou-se, por simplicidade, a distribuição uniforme, como segue:

$$x_{gi} = \frac{X_{ag}}{N_{ag}}, \quad (2.3)$$

onde x_{gi} é igual a fração mássica dos finos aglomerados de diâmetro d_i .

d. Velocidade mínima de fluidização, U_{mf}

Lippens e Mulder (1993) testaram 33 correlações propostas na literatura para determinação de U_{mf} , aplicando-as em 80 conjuntos de testes diferentes para 20 tipos de particulado (grupos A e B), também encontrados na literatura. As expressões mais relevantes puderam ser reformuladas como correlações adimensionais, nas quais o estado do leito fluidizado poderia ser determinado pela razão entre o número de Arquimedes e o número de Reynolds para mínima fluidização, Ar/Re_{mf} . Os autores concluíram que a equação de Ergun poderia ser usada para determinar a velocidade de mínima fluidização corretamente, com resultados superiores comparados às demais correlações propostas. A correlação, no entanto, não foi analisada para partículas de FCC.

Xie e Geldart (1995) fluidizaram partículas de FCC em uma LFB de 0,152 m de diâmetro para analisar o efeito do tipo de gás e da temperatura, e observaram que as correlações propostas por Wen e Yu (1966) e Geldart e Abrahansen (1980) fornecem resultados satisfatórios para o cálculo de U_{mf} , na faixa de 27 a 500 °C, para ar, argônio,

nitrogênio e dióxido de carbono, com velocidade superficial de fluidização entre U_{mf} e 0.5 m/s.

Estas correlações foram adotadas no modelo, considerando, adicionalmente, as observações de Geldart (1986) quanto ao diâmetro das partículas:

- Para partículas maiores que 100 μm , U_{mf} é calculada através da equação de Ergun modificada (Wen e Yu, 1966):

$$U_{mf} = \left(\sqrt{1135,7 + 0,0408 Ar} - 33,7 \right) \frac{\mu}{\rho \bar{d}}, \quad (2.4)$$

$$\text{com } Ar = \frac{\rho(\rho_p - \rho)g\bar{d}^3}{\mu^2}, \quad (2.5)$$

onde $\bar{d}$ é o diâmetro médio de Sauter das partículas do leito denso.

- Para partículas menores do que 100 μm , adotou-se a correlação de Geldart e Abrahansen (1980), para um LFB de 0,152 m de diâmetro, fluidizando partículas de alumina, esferas de vidro e FCC:

$$U_{mf} = \frac{(\rho_p - \rho)^{0,934} g^{0,934} \bar{d}^{1,8}}{1111 \mu^{0,87} \rho^{0,066}} \quad (2.6)$$

Para o cálculo da velocidade mínima de fluidização para cada tamanho de partícula d_i , substitui-se o valor de $\bar{d}$ nas Eqs. (2.4) a (2.6) pelo valor de d_i .

e. Diâmetro médio das bolhas na superfície do leito, $\bar{d}_B$

Existem várias correlações na literatura propostas para a determinação do diâmetro médio das bolhas na superfície do leito denso (Baron, Briens, Gautier e Bergougnou, 1990). Entretanto, apenas as correlações de Mori e Wen (1975) e Horio e Nonaka (1987) consideram o diâmetro do leito e foram aplicadas a partículas catalíticas do grupo A.

O procedimento de cálculo adotado para avaliar $\bar{d}_B$ foi o de Mori e Wen (1975), que considerou um número maior de parâmetros físicos, tais como: o diâmetro inicial d_{Bo} e o diâmetro máximo estável das bolhas, d_{Bm} , o diâmetro interno do leito, D , e a geometria do distribuidor de gás.

O diâmetro inicial da bolha, d_{Bo} , na saída do distribuidor de gás, é dado por Miwa, Mori, Kato e Muchi (1971), através de uma correlação de ajuste de dados experimentais, obtidos para placas distribuidoras porosas, perfuradas ou com ejetores tipo torre:

$$d_{Bo} = 0,872 \left[A_n (U - U_{mf}) \right]^{0,4}, \quad (2.7)$$

para placa perfurada e tipo torre, e

$$d_{Bo} = 0,376 (U - U_{mf})^2, \quad (2.8)$$

para placa porosa, onde A_n é a área da seção transversal da placa distribuidora dividida pelo número de orifícios verticais.

Leung (1972) observou experimentalmente que, para bolhas injetadas dentro do leito denso através de um único orifício, a razão entre o máximo diâmetro estável, d_{Bm} , e o diâmetro inicial das bolhas, d_{Bo} , poderia ser estimada de:

$$\frac{d_{Bm}}{d_{Bo}} = 1,87 \quad (2.9)$$

Embora esta equação tenha sido verificada apenas para leitos com um orifício na placa distribuidora, ela é aplicada no presente caso devido à não existência de informações mais específicas para LFBs operando com partículas do grupo A.

Mori e Wen (1975), através de um ajuste de dados experimentais de vários autores, constataram que o diâmetro médio das bolhas na superfície do leito denso, $\bar{d}_B$, varia exponencialmente com o diâmetro interno do mesmo, D , e propuseram a seguinte correlação:

$$\frac{d_{Bm} - \bar{d}_B}{d_{Bm} - d_{Bo}} = \exp\left(-0,3 \frac{H_e}{D}\right), \quad (2.10)$$

onde H_e é igual a altura do leito denso expandido. Essa equação foi testada para leitos fluidizando partículas de areia, carvão, alumina, catalisadores e esferas de vidro (grupos A e B). Sua faixa de aplicabilidade é:

$$0,05 \leq U_{mf} \leq 0,20 \text{ m/s};$$

$$60 \leq d \leq 450 \text{ } \mu\text{m};$$

$$U \leq 0,50 \text{ m/s, e}$$

$$D \leq 1,3 \text{ m}$$

f. Velocidade média de ascensão das bolhas, U_B

Este parâmetro é estimado através do modelo das duas-fases de Davidson e Harrison, por ser simples e fornecer resultados comparáveis aos experimentais:

$$U_B = 0,71\sqrt{g\bar{d}_B} + (U - U_{mf}) , \quad (2.11)$$

onde o primeiro termo do lado direito da expressão corresponde à velocidade de uma bolha isolada e o segundo ao excesso do gás de fluidização, isto é, a porção de gás responsável pela formação das bolhas.

g. Altura do leito denso expandido, H_e .

Para uma seção transversal reta do leito denso, A_L , na qual a vazão de gás contido nas bolhas, Q_B , e a velocidade média de ascensão das bolhas, U_B , são aproximadamente uniformes, a fração da área ocupada pelas bolhas, ε_L , é dada por:

$$\varepsilon_L = \frac{Q_B}{A_L U_B} \quad (2.12)$$

O volume diferencial dV_D que a fase densa ou particulada ocupa em um elemento de altura dz do leito denso é dado por:

$$dV_D = (1 - \varepsilon_L) A_L dz \quad (2.13)$$

Assim, o volume total da fase particulada é obtido pela integração no volume, dV_D , de $z = 0$ até $z = H_e$. De acordo com o modelo das duas fases, a porosidade da fase particulada é igual à da condição de mínima fluidização, de modo que seu volume total é igual ao do leito na condição de mínima fluidização, i.e., $A_L H_{mf}$, onde H_{mf} é a altura do leito denso em condições de mínima fluidização. Assim:

$$A_L H_{mf} = \int dV_D$$

$$= \int_0^{H_e} (1 - \varepsilon_L) A_L dz$$

e, substituindo-se ε_L da Eq. (2.12):

$$H_{mf} = \int_0^{H_e} \left(1 - \frac{Q_B}{A_L U_B} \right) dz$$

Dai:

$$H_e - H_{mf} = \int_0^{H_e} \left(\frac{Q_B}{A_L U_B} \right) dz \quad (2.14)$$

Do modelo de duas-fases, tem-se:

$$Q_B = (U - U_{mf}) A_L \quad (2.15)$$

Substituindo as expressões para U_B e D_B , das Eqs. (2.11) e (2.15), em (2.14), resulta:

$$H_e - H_{mf} = \int_0^{H_e} \frac{(U - U_{mf})}{(U - U_{mf}) + 0,71 \sqrt{g \bar{d}_B}} dz$$

Para partículas do grupo A, onde a velocidade média das bolhas, U_B , e o diâmetro médio das bolhas, $\bar{d}_B$, permanecem aproximadamente constantes com a altura, variando somente na região próxima ao distribuidor de gás (Geldart, 1986), a altura do leito expandido pode ser estimada por:

$$H_e = \left(\frac{U - U_{mf}}{0,71\sqrt{g\bar{d}_B}} + 1 \right) H_{mf} ,$$

Para partículas do grupo A, H_{mf} pode ser considerado igual à altura do leito estático, H_o , conforme proposto por Geldart (1986), de maneira que a altura do leito expandido é estimada por:

$$H_e = \left(\frac{U - U_{mf}}{0,71\sqrt{g\bar{d}_B}} + 1 \right) H_o \quad (2.16)$$

h. Frequência de borbulhamento, f_B

A frequência de borbulhamento pode ser estimada pela expressão desenvolvida em 1963, por Davidson e Harrison, usando a teoria da duas-fases:

$$f_B = \frac{(U - U_{mf})A_L}{\frac{\pi}{6}\bar{d}_B^3} , \quad (2.17)$$

onde o numerador indica a vazão de gás no leito denso responsável pela formação de bolhas, e o denominador o volume médio das bolhas.

i. Probabilidade de coalescência simultânea de N_B bolhas na superfície do leito, P_{N_B}

De acordo com Clift e Grace (1971), para bolhas de mesmo tamanho d_B , uma bolha somente coalescerá com outra se duas condições forem satisfeitas simultaneamente:

- A distância centro a centro entre as duas bolhas, Δl , for menor do que o diâmetro das mesmas, e

- O ângulo formado pela linha que une os centros das duas bolhas com a direção vertical for menor do que um ângulo limite α_c .

Existem várias argumentações na literatura em relação ao valor do ângulo α_c . Clift e Grace estimaram que para duas bolhas esféricas de mesmo tamanho coalescendo, o ângulo limite seria 30° . Briens, Bergougnou e Baron (1988), para ajustar seus resultados teóricos com dados experimentais obtidos para o fluxo de ejeção de partículas, impuseram um ângulo de 48° , independente da velocidade superficial de fluidização. Yates, Wu e Cheesman (1997), observaram ângulos de coalescência variando de $2,5$ a $53,1^\circ$ e diretamente proporcionais a razão U/U_{mf} , analisando, através de raio-X, o comportamento de bolhas oriundas de dois orifícios separados a uma distância conhecida em um leito mantido em condições de mínima fluidização, para partículas do grupo A. No presente trabalho, optou-se pelo procedimento empregado por Briens, Bergougnou e Baron, obtendo-se o ângulo limite para coalescência das bolhas na superfície do leito a partir da extrapolação dos valores obtidos, em cada velocidade de fluidização, do fluxo de ejeção de partículas experimental.

Se P_d é a probabilidade de que a distância centro a centro de duas bolhas consecutivas, Δl , seja menor do que o diâmetro médio das bolhas, $\bar{d}_B$, e P_c é a probabilidade de que duas ou mais bolhas coalesçam, isto é, $\alpha < \alpha_c$, de acordo com Briens, Bergougnou e Baron (1988), tem-se:

$$P_c = CP_d \quad , \quad (2.18)$$

onde C é um fator de correção que leva em conta o ângulo no qual as bolhas coalescem.

A probabilidade P_d é admitida independente do ângulo no qual as bolhas coalescem. Para uma dada distância Δl entre duas bolhas, o fator de correção C é calculado como a razão entre a área da superfície da esfera de raio Δl , centrada no centro da bolha líder,

limitada pelo cone com ângulo sólido igual a $2\alpha_c$, com ápice localizado no centro da bolha líder, e a área da semi-esfera de raio Δl , conforme a Figura 2.3:

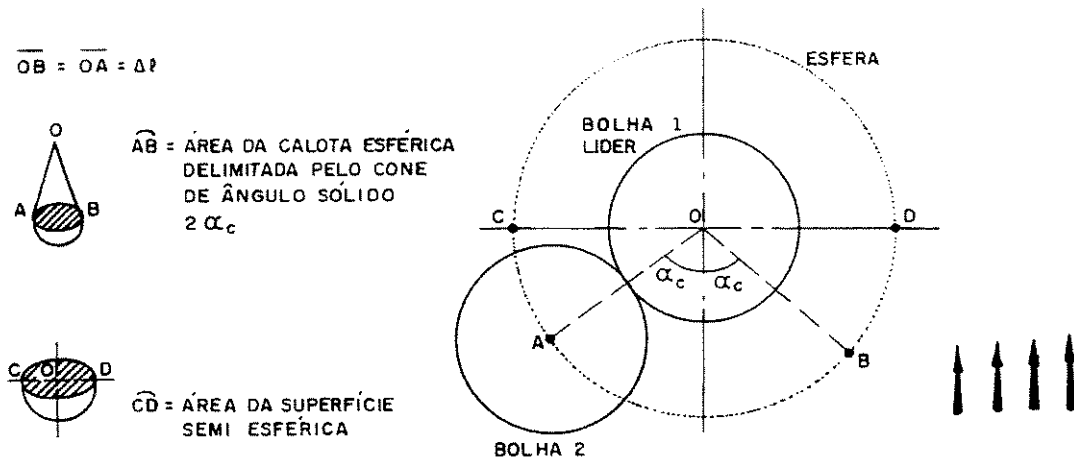


Figura 2.3 Desenho esquemático da coalescência de duas bolhas.

Assim:

$$C = \frac{\text{area delimitada pelo cone na superficie semi - esferica}}{\text{area da superficie semi - esferica}}$$

ou

$$C = \frac{2\pi\Delta l^2(1 - \cos\alpha_c)}{2\pi\Delta l^2}$$

Dessa forma:

$$C = 1 - \cos\alpha_c \quad (2.19)$$

e, substituindo a Eq. (2.19) em (2.18):

$$P_c = P_d(1 - \cos \alpha_c) \quad (2.20)$$

Segundo Hatano e Ishida (1983), a distância entre o centro de duas bolhas consecutivas, Δl , segue uma lei de distribuição normal de probabilidade, com um valor médio Δl_m e um desvio-padrão σ . Para a relação entre Δl e o diâmetro médio das bolhas na superfície do leito, $\bar{d}_B$, a distribuição normal de probabilidade $\Phi(\Delta l / \bar{d}_B)$ é:

$$\Phi\left(\frac{\Delta l}{\bar{d}_B}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\left(\frac{\Delta l - \Delta l_m}{\sigma \bar{d}_B}\right)^2\right] \quad (2.21)$$

Para FCC, os autores determinaram experimentalmente o desvio-padrão da distribuição de tamanho das bolhas emergentes, σ , aproximadamente igual a 0,76, para um LFB com 0,15 m de diâmetro, supondo distribuição uniforme das bolhas ao longo da seção transversal. O valor de Δl_m é obtido a partir da hipótese de arranjo cúbico de bolhas (Ishida, Nashiwaki e Shirai, 1980):

$$\varepsilon_L \Delta l_m^3 = \frac{\pi \bar{d}_B^3}{6}$$

Substituindo o valor de ε_L da Eq. (2.12) na expressão anterior, resulta:

$$\Delta l_m = \left(\frac{\pi}{6}\right)^{1/3} \left(\frac{A_L U_B}{Q_B}\right)^{1/3} \bar{d}_B$$

Introduzindo a Eq. (2.15) para Q_B , vem:

$$\frac{\Delta l_m}{\bar{d}_B} = \left[\frac{6}{\pi} \left(\frac{U - U_{mf}}{U_B} \right) \right]^{-1/3} \quad (2.22)$$

Integrando a Eq. (2.21) pelo método numérico de Newton-Cotes de 3ª ordem, para $\Delta l / \bar{d}_B$ variando entre 0 e +1, determina-se a probabilidade de que a distância centro à centro entre duas bolhas consecutivas, P_d , seja menor do que o diâmetro da bolha, $\bar{d}_B$. Para um intervalo de integração igual a Δx , onde $x = \Delta l / \bar{d}_B$ e $f(x) = \Phi(\Delta l / \bar{d}_B)$, a aplicação do método numérico fornece:

$$P_d = \sum_{a=0}^{a=1} \int_{x=a}^{a+\Delta x} f(x) dx \quad (2.23)$$

$$= \sum_{a=0}^{a=1} \frac{\Delta x}{8} \left\{ 3 \left[f\left(a + \frac{\Delta x}{3}\right) + f\left(a + 2\frac{\Delta x}{3}\right) \right] + [f(a) + f(a + \Delta x)] \right\}$$

Substituindo este valor na Eq. (2.20), obtêm-se a probabilidade P_c de duas bolhas consecutivas coalescerem. A probabilidade de N_B bolhas coalescerem simultaneamente na superfície do leito seria dada por (Briens, Bergougnou e Baron, 1988):

$$P_{N_B} = (1 - P_c) P_c^{(N_B-1)}, \quad (2.24)$$

com N_B variando de 2 a $+\infty$.

Uma outra expressão para a probabilidade de coalescência simultânea de N_B bolhas na superfície do leito foi proposta mais recentemente por Fung e Hamdullahpur (1993a) em seu modelo para cálculo do fluxo de ejeção de sólidos, F_o . Contudo, devido à hipótese de coalescência apenas para bolhas verticalmente alinhadas, o modelo não forneceu resultados satisfatórios quando aplicado a dados experimentais de Pemberton e Davidson (1986a), com partículas poliméricas de 760 μm .

2.1.2 Zona de ejeção das partículas

Em 2.1.1 foram obtidos os parâmetros necessários ao cálculo do fluxo de partículas ejetadas na *freeboard*, desenvolvido nesta seção.

a. Distribuição da velocidade inicial de ejeção das partículas, $U_{p0\theta}$

Em modelos de arraste que acompanham a trajetória das partículas ao longo da *freeboard*, o conhecimento da velocidade inicial de ejeção é essencial. Vários pesquisadores tem derivado expressões teóricas e empíricas para a determinação da velocidade inicial das partículas, tanto para bolhas isoladas como para bolhas coalescendo na superfície do leito. Pode-se listar as seguintes hipóteses, procedimentos e constatações em seus trabalhos:

- Os modelos para cálculo da velocidade inicial de ejeção das partículas consideram como condição inicial de ejeção que as partículas contidas na esteira das bolhas, um instante antes de serem ejetadas, possuem a velocidade de ascensão da bolha, sem considerar a velocidade relativa devido a recirculação do gás através das bolhas - *throughflow* (Caram, Edelstein e Levy, 1984 e Baskakov, Shuvalov e Berg, 1984). Esses modelos devem subestimar a velocidade de ejeção;
- A velocidade de ejeção das partículas é maior para bolhas coalescendo na superfície do leito (Caram, Edelstein e Levy, 1984);
- Não foram encontradas evidências experimentais de que a velocidade máxima de ejeção das partículas dependa da densidade ou da granulometria das partículas (Caram, Edelstein e Levy, 1984), embora alguns autores tenham considerado estes parâmetros na determinação da velocidade máxima de ejeção (Pemberton e Davidson, 1986, e Choi, Son e Kim, 1989);
- Apesar de discrepâncias na literatura, admite-se que cada tamanho de partícula ejetada tem uma distribuição de velocidades de ejeção, função da posição da qual ela é ejetada da superfície da bolha (Fung e Hamdullahpur, 1993);

- A velocidade de ejeção para cada partícula pode ser calculada a partir da curva experimental do fluxo de arraste em função da altura, e da equação do movimento para a partícula na *freeboard*, determinando-se assim qual a velocidade necessária para que aquele determinado diâmetro de partícula atinja a máxima altura na qual foi coletada (George e Grace, 1981, e Wen e Chen, 1982);
- Não há medida experimental eficiente para a determinação da velocidade real de ejeção das partículas no momento da erupção das bolhas na superfície do leito denso.

A Tabela 2.1 a seguir resume os principais trabalhos disponíveis na literatura, acerca da velocidade de ejeção, com a finalidade de uma análise de sensibilidade dos parâmetros envolvidos.

Tabela 2.1 Velocidade de ejeção das partículas na *freeboard*.

Referência	Expressão	Hipóteses, procedimentos e constatações experimentais
Do, Grace e Clift (1972)	$\overline{U}_{po} = 1,15U_B$ <i>bolha isolada</i> $\overline{U}_{po} = 2,00U_B$ <i>bolhas coalescendo</i>	• Velocidade média de ejeção para o diâmetro médio das partículas determinada a partir da medida experimental do fluxo de arraste.
Demmich e Bohnet (1978)	$U_{po_i} = 1,46 \times 10^9 d_B^{1,5} \left(\frac{\rho}{\rho_p} \right)^{0,5} d_i^{-1,3} U_B$	• Velocidade de ejeção para cada tamanho de partícula determinada a partir da medida experimental do fluxo de arraste.
George e Grace (1981)	$\overline{U}_{po} = 2,1U_B$	• Velocidade média de ejeção para o diâmetro médio das partículas determinada a partir da medida experimental do fluxo de arraste.
Wen e Chen (1982)	Não apresentaram correlação	• Velocidade de ejeção para cada tamanho de partícula determinada a partir da medida experimental do fluxo de arraste.
Walsh, Chaung, Dutta, Beer e Sarofim (1982)	Não apresentaram correlação	• Distribuição de velocidade admitindo uma distribuição normal com um valor médio proporcional a velocidade da bolha.
Hatano e Ishida (1983)	$0,5 \leq U_{po_{max}}/U_B \leq 1,5$ <i>bolha isolada</i> $1,1 \leq U_{po_{max}}/U_B \leq 3,0$ <i>bolhas coalescendo</i>	• Velocidade de ejeção máxima obtida experimentalmente em um leito com FCC usando sonda ótica na região de splash.
Levy, Caram, Dille e Edelstein (1983)	Não apresentaram correlação	• LFB semicilíndrico (3D); • Particulado: esferas de vidro, estireno e catalisador (50-3970 μm e 1055-3970 kg/m^3); • 4228 bolhas observadas; • 9,2% de bolhas coalescendo na superfície do LFB; • Os mecanismos de ejeção de partículas mostraram-se independentes do particulado.

Continua

Referência	Expressão	Hipóteses, procedimentos e constatações experimentais
Caram, Edelstein e Levy (1984)	$U_{po_{max}} = \left[0,67 + 0,9 \left(\frac{h}{d_B} \right) \right] \sqrt{g d_B} \quad \text{bolha isolada}$ $U_{po_{max}} = \left[0,71 + 1,4 \left(\frac{h}{d_B} \right) \right] \sqrt{g d_B} \quad \text{bolhas coalescendo}$	• Modelo teórico; • Cavidade formada por múltiplas bolhas coalescendo admitida cilíndrica; • <i>Throughflow</i> é potencial e incompressível; • Pressão constante ao longo da cavidade; • Interação partícula-partícula desprezível; • Uso da formulação da velocidade potencial na eq. da conservação da massa; • Experimental: 3 tipos de esferas de vidro e estireno (125-921 μm e 1055-2460 kg/m^3); • A velocidade inicial de ejeção independe do tamanho e da densidade das partículas utilizadas.
Baskakov, Shuvalov e Berg (1984)	$U_{po_{max}} = \left[1 + 1,7 \frac{2h}{d_B} + 0,3 \left(\frac{2h}{d_B} \right)^2 \right] U_{mf}$ $+ \frac{2}{3} \sqrt{g \left[\frac{1,7}{d_B} \left(d_B^2 - h^2 \right) + 0,2 / (d_B/2)^2 \left(d_B^3 - h^3 \right) \right]} + U_B^2$	• Modelo teórico; • Cavidade formada por múltiplas bolhas coalescendo admitida semi-elipsoidal; • <i>Throughflow</i> é potencial e incompressível; • Pressão constante ao longo da cavidade; • Interação partícula-partícula desprezível; • Balanço de forças na esteira da cavidade.
Zhang, Cao, Ren, Chen e Hong (1985)	$U_{pomax} = \text{infinita}$	• Uso de balanço de energia aplicado as bolhas em erupção.
Pemberton e Davidson (1986)	$U_{po_{max}} = \frac{U_B d_B}{12 \bar{d}} \quad \text{bolha isolada}$ $U_{po_{max}} = 2,5 U_B \quad \text{bolhas coalescendo}$	• Balanço de força aplicado as bolhas em erupção; • Toda a quantidade de movimento do gás no interior da bolha é transferida para as partículas ejetadas.
Choi, Son e Kim (1989)	$U_{po_{max_i}} = 0,71 \left(d_i \times 10^{-3} \right)^{-1,65} U_B \left(\frac{T + 273}{298} \right)$ $U_{po_i} = U_{po_{max_i}} \exp \left(-2,44 X_i \right)$	• Velocidade máxima de ejeção para cada tamanho de partícula determinada a partir da medida experimental do fluxo de arraste. • CLFB queimando carvão; • Areia como material inerte.
Fung e Hamdullahpur (1993)	$U_{po_{\theta}} = \left(1 - \frac{\theta}{\theta_{max}} \right) U_{po_{max}} \cos \theta$	• U_{pomax} - uso das expressões de Caram et al. (1984); • Distribuição de velocidade - admitida como decrescente linearmente com o ângulo de ejeção θ.

As correlações disponíveis para U_{pomax} são aplicadas a seguir ao conjunto de dados abaixo, referentes a um LFB operando com FCC, para duas bolhas coalescendo simultaneamente na superfície do leito denso:

$$\bar{d} = 80 \mu m$$

$$\bar{d}_B = 0,08 m$$

$$U_{mf} = 0,01 m/s$$

$$\rho = 1,0 kg/m^3$$

$$\rho_p = 1350 kg/m^3$$

$$H_e = 0,50 m$$

$$T = 27 ^\circ C$$

A Figura 2.4 apresenta os resultados obtidos, onde se pode verificar a sensível dispersão dos valores:

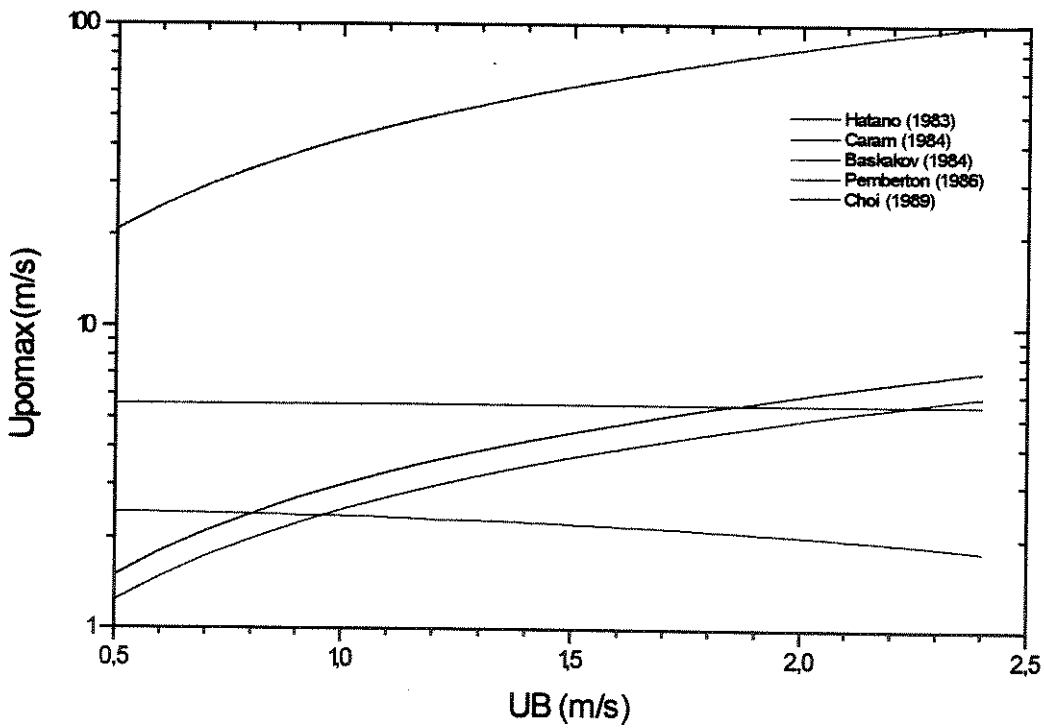


Figura 2.4 Velocidade máxima de ejeção das partículas devido à erupção de bolhas na superfície do leito denso.

Dada a divergência encontrada e a falta de dados experimentais consistentes na literatura para a velocidade de ejeção de partículas de FCC, optou-se por estimar a velocidade máxima de ejeção no modelo, U_{pomax} , como a velocidade de transporte do maior diâmetro de partícula presente no leito denso até a TDH, admitida independente da

densidade ou do tamanho do particulado, conforme Caram, Edelstein e Levy (1984). A distribuição de velocidades é calculada de modo semelhante a proposta por Fung e Hamdullahpur (1993), considerando que partículas de mesmo tamanho são ejetadas com diferentes velocidades na direção axial do leito, de acordo com:

$$U_{po\theta} = U_{po\max} \cos\theta \quad , \quad (2.25)$$

onde θ é ângulo de cone entre a direção axial e a de ejeção das partículas.

De acordo com estas hipóteses, todas as partículas possuem a mesma velocidade máxima de ejeção, $U_{po\max}$, e a mesma distribuição de velocidades, $U_{po\theta}$. O conhecimento dessas velocidades é necessário para a determinação da altura atingida pelas partículas grosseiras, como será visto na seção 2.2.2. Para os finos, o conhecimento dessas velocidades é dispensável, visto que a priori eles serão completamente elutriados quando ejetados do leito.

b. Fluxo de ejeção por tamanho de partícula, F_{oi}

A modelagem adotada para o fluxo total de partículas ejetadas do leito denso na *freeboard*, F_o , é baseada no trabalho de Briens, Bergounou e Baron (1988), no qual as partículas ejetadas eram provenientes do topo e da esteira das bolhas. O método foi empregado pelos autores para cálculo inclusive do fluxo de ejeção para FCC e ofereceu resultados razoáveis. Contudo, observações experimentais de Levy, Caram, Dille e Edelstein (1983) na fluidização de partículas dos grupos A e B, com $U/U_{mf} > 10-15$, mostraram que as partículas ejetadas do leito denso seriam originárias somente da esteira e não do topo das bolhas. Com base nessa descrição e sabendo que a fluidização de partículas de FCC em LFB geralmente se situa nesta faixa de velocidade, admitiu-se, neste trabalho, que todo o fluxo de partículas ejetadas é proveniente da esteira das bolhas. A fração em volume que a esteira de sólidos ocupa em relação ao volume total da bolha seria, conforme Rowe e Partridge (1965), igual a 0,25. George e Grace (1981) observaram que somente 40% das partículas na esteira das bolhas seriam realmente ejetadas. Levando em conta essas

observações, admitindo a porosidade da esteira de sólidos na bolha igual à de mínima fluidização. ε_{mf} , a massa de partículas ejetadas de uma bolha, m_{ow} , seria igual a:

$$m_{ow} = (0,25)(0,40)(1 - \varepsilon_{mf})\rho_p \left(\frac{\pi}{6} \bar{d}_B^3 \right) \quad (2.26)$$

onde ε_{mf} é admitida igual a ε_{mb} e calculada como (Xie e Geldart, 1995):

$$\varepsilon_{mf} = 0,4 \left(\frac{U_{mb}}{U_{mf}} \right)^{0,22},$$

sendo U_{mb} a velocidade de mínimo borbulhamento, dada por

$$U_{mb} = 0,3 \bar{d} \exp(0,716 X_{45}) \frac{\rho^{0,13}}{\mu^{0,5}},$$

para X_{45} igual a fração em massa acumulativa das partículas do leito menores que 45 μm .

Multiplicando a massa de sólidos ejetada de uma única bolha, m_{ow} , pela frequência de bolhas f_B e dividindo pela área da seção transversal reta do leito, A_L , determina-se o fluxo total de sólidos ejetados pela esteira das bolhas, F_o :

$$F_o = 0,1 \rho_p (1 - \varepsilon_{mf}) \left(\frac{\pi}{6} \bar{d}_B^3 \right) \frac{f_B}{A_L}$$

Substituindo a expressão para f_B , dada pela Eq. (2.17), na expressão anterior, obtém-se:

$$F_o = 0,1 \rho_p (1 - \varepsilon_{mf}) (U - U_{mf}) \quad (2.27)$$

A ejeção de partículas de FCC na *freeboard* só é significativa quando ocorre a coalescência de duas ou mais bolhas na superfície do leito (Hatano e Ishida, 1983). Assim, deve-se multiplicar o fluxo de ejeção de sólidos, F_o , pela probabilidade de que haja coalescência simultânea de N_B bolhas na superfície do leito, P_{N_B} . Deste modo, a Eq. (2.27) fica:

$$F_o = 0,1\rho_p(1 - \varepsilon_{mf})(U - U_{mf}) \sum_{N_B=2}^{+\infty} [(N_B - 1)P_{N_B}] \quad (2.28)$$

Admitindo que não haja segregação de partículas no leito e considerando que, para vasos grandes, o efeito de parede é desprezível, ou seja, o fluxo descendente de sólidos aderidos à parede é insignificante quando comparado ao fluxo de arraste total (Andersson e Leckner, 1989), pode-se considerar o fluxo de ejeção de sólidos de cada faixa granulométrica, F_{oi} , igual a:

$$F_{oi} = F_o x_i \quad (2.29)$$

c. Fluxo de ejeção por tamanho de partícula em cada ângulo de cone θ , $F_{oi\theta}$

Como foi admitido que as partículas são ejetadas uniformemente em todas as direções, o fluxo $F_{oi\theta}$ num dado ângulo θ pode ser obtido de:

$$F_{oi\theta} = \frac{F_{oi}}{N_a} \quad (2.30)$$

onde N_a é o número de ângulos de cone θ na superfície das bolhas segundo os quais as partículas são ejetadas, tais que $0 \leq \theta \leq \pi/2$. O ângulo de azimuth ψ em torno do eixo vertical da bolha varia de 0 a 2π .

2.2 *Freeboard*

Esta seção apresenta a modelagem utilizada para descrever a dinâmica do gás e das partículas na *freeboard*, considerando:

- A trajetória das partículas, descrita por um balanço de forças em cada conjunto de partículas ejetadas segundo um ângulo θ ;
- A altura z atingida pelas partículas grosseiras;
- O fluxo de arraste por tamanho de partícula ao longo da altura, $F_i(z)$;
- A concentração por tamanho de partícula ao longo da altura, $C_i(z)$, e
- A distribuição granulométrica das partículas arrastadas ao longo da altura.

2.2.1 Dinâmica do gás

Da descrição experimental apresentada no Capítulo 1 para LFB's, pode-se afirmar que, devido à erupção de bolhas na superfície do leito denso, o gás comporta-se de maneira irregular, com flutuação local de velocidade na zona de ejeção, u' , cerca de duas vezes a velocidade superficial de fluidização, U . Contudo, quanto maior a área da seção transversal da coluna, mais rápido o perfil de velocidade do gás se uniformizaria, conforme Hamdullahpur e Mackay (1986). Poderia ser admitido um perfil de velocidade do gás uniforme ao longo da seção transversal, com variações somente muito próximo à parede, numa região menor que $0,04D$, onde o fluxo de partículas seria desprezível (Fung e Hamdullahpur, 1993a).

Son, Choi e Lee (1988) propuseram um modelo de arraste baseado num balanço de forças aplicado às partículas na *freeboard*, desconsiderando as flutuações de velocidade do gás. Seu modelo, quando comparado aos dados experimentais para fluxo de elutriação de Gugnoni e Zenz (1980) e George e Grace (1981), em leito de dimensão característica menor do que 0,90 m, forneceu resultados satisfatórios. Choi, Son e Kim (1989) e Andersson e Leckner (1989) usaram abordagens análogas e, também desconsiderando as flutuações de

velocidade do gás, obtiveram resultados satisfatórios para o fluxo de elutriação e para o fluxo de arraste ao longo da altura, quando comparados a dados experimentais de um CLFB com dimensão característica maior que 0.60 m.

Berkelmann e Renz, em 1991, usando um modelo do arraste em um grande combustor com LFB, em que acompanharam a trajetória das partículas na *freeboard*, observaram que, acoplando ou não a variação de velocidade do gás ao longo da altura ao modelo, os resultados de $F(z)/F_o$ versus z , quando comparados a dados experimentais, eram satisfatórios.

Assim, por simplicidade e, de acordo com os autores acima, optou-se por admitir um perfil de velocidade do gás invariável ao longo da altura, para cada seção transversal da *freeboard*.

2.2.2. Dinâmica das partículas

a. Trajetória das partículas

De acordo com o exposto anteriormente, as partículas finas ejetadas do leito denso são completamente elutriadas, com uma trajetória axial e um fluxo de arraste constante ao longo da altura.

A trajetória das partículas grosseiras ocorreria segundo a direção axial, de acordo como as seguintes evidências experimentais:

- O fluxo de arraste e o diâmetro médio das partículas grosseiras permanecem aproximadamente constantes em cada seção transversal ao longo da altura (Andersson e Leckner, 1989), e
- O perfil de velocidade do gás em cada seção transversal ao longo da *freeboard* tende a se uniformizar mais rápido quanto maior for a seção (Hamdullahpur e Mackay, 1986).

De acordo com a Eq. (2.25), as partículas grosseiras seriam ejetadas com componente axial de velocidade, em módulo, igual a $U_{p\max}\cos\theta$, para cada direção θ . No entanto, como as partículas se desaceleram muito rapidamente devido à sua pequena massa, considera-se apenas a componente vertical da velocidade das partículas no cálculo de sua trajetória, concordando assim com as duas evidências experimentais citadas.

b. Altura z atingida por tamanho de partícula grosseira do fluxo de ejeção $F_{oi\theta}$

As partículas grosseiras ejetadas do leito denso na *freeboard* têm suas trajetórias determinadas pela aplicação da 2ª lei de Newton. Considerando o perfil de velocidade do gás uniforme, conforme seção 2.2.1, tem-se que, para cada tamanho de partícula grosseira ejetada num ângulo θ , com velocidade inicial $U_{po\theta}$, na direção axial:

$$F_T = E - F_a - P \quad ,$$

Substituindo as expressões correspondentes a esses termos, vem:

$$m_p a_p = \rho g \forall p - \frac{1}{2} C_D A_p \rho |U_{p\theta}(t) - U| [U_{p\theta}(t) - U] - m_p g \quad , \quad (2.31)$$

ou,

$$\frac{dU_{p\theta}(t)}{dt} = -\frac{3}{4} \frac{\rho C_D |U_{p\theta}(t) - U| [U_{p\theta}(t) - U]}{\phi d_i \rho_p} - \left(\frac{\rho_p - \rho}{\rho_p} \right) g \quad , \quad (2.32)$$

onde o número de Reynolds da partícula correspondente é dado por:

$$\text{Re}_i(t) = \frac{\rho d_i |U_{p\theta}(t) - U|}{\mu} \quad (2.33)$$

A Eq. (2.32) pode ser resolvida aplicando-se o método de Runge-Kutta de quarta ordem, conhecida a velocidade inicial de cada tamanho de partícula, U_{p0} e o incremento no tempo.

A altura correspondente atingida por cada partícula grosseira pode ser calculada por:

$$z = \int_0^t U_{p\theta}(t) dt \quad (2.34)$$

Admite-se que toda partícula que atingir o topo da coluna será capturada pelo ciclone.

c. Fluxo de arraste por tamanho de partícula ao longo da *freeboard*, $F_i(z)$

O fluxo de arraste por tamanho de partícula ao longo da altura da *freeboard* é, em resumo, determinado através dos passos seguintes:

- Cálculo da velocidade terminal de cada tamanho de partícula, U_{ti} , considerando as partículas em queda livre e a velocidade do gás nula;
- Cálculo da distribuição granulométrica efetiva do leito denso em regime permanente levando em conta a aglomeração das partículas; da velocidade mínima de fluidização para cada tamanho de partícula, U_{mfi} ; da velocidade média das bolhas na superfície do leito, U_B ; do diâmetro médio das bolhas na superfície do leito, $\bar{d}_B$; da altura do leito denso expandido, H_e , e da frequência de borbulhamento, f_B , através de processo iterativo, utilizando as Eqs. (2.1) a (2.11), (2.16) e (2.17);
- Determinação da probabilidade de duas ou mais bolhas coalescerem simultaneamente na superfície do leito, P_{NB} , usando as Eqs. (2.20) e (2.22) a (2.24). Na prática, é suficiente a

consideração de até seis bolhas coalescendo simultaneamente: uma vez que, acima desse número, a probabilidade é praticamente nula:

- Cálculo da distribuição de velocidades de ejeção das partículas para cada ângulo de cone θ , $U_{po\theta}$, através da Eq. (2.25);
- Cálculo do fluxo de ejeção para cada tamanho de partícula ejetada, F_{oi} , conforme Eqs. (2.28) e (2.29);
- Determinação do fluxo de ejeção para cada tamanho de partícula numa dada direção θ , $F_{oi\theta}$, com uma velocidade de ejeção $U_{po\theta}$, conforme Eq. (2.30);
- Determinação da altura z atingida na *freeboard* pelas partículas, que saem da superfície do leito com velocidade de ejeção $U_{po\theta}$, através da aplicação da 2ª lei de Newton, conforme Eqs. (2.32) a (2.34). Lembrar que os finos ejetados da superfície do leito serão completamente elutriados, a menos que façam parte de um aglomerado;
- Para estimar o fluxo de arraste de cada tamanho de partícula grosseira em uma dada altura z da *freeboard*, $F_i(z)$, acompanha-se a trajetória das partículas do fluxo $F_{oi\theta}$ da zona de ejeção até a altura máxima atingida. Isso é feito através da solução das Eqs. (2.32) a (2.34) pelo método numérico de Runge-Kutta de 4ª ordem, considerando as seguintes etapas:
 - Aplicação da condição inicial, $U_{po\theta}(0) = U_{po\theta}$, na Eq. (2.33), para cálculo do número de Reynolds Re ;
 - Substituição do valor inicial de Re na expressão para cálculo do coeficiente de arraste C_D ;
 - Cálculo da velocidade da partícula grosseira de diâmetro d_i num dado instante t , $U_{p\theta}(t)$, usando-se na Eq. (2.32) o valor de C_D e o incremento de tempo adotado;
 - Cálculo da altura atingida pela partícula, substituindo o valor de $U_{p\theta}(t)$ e o incremento de tempo na Eq. (2.34);
 - O fluxo de arraste das partículas de diâmetro d_i , $F_i(z)$, numa dada cota z é igual a somatória de todos os fluxos $F_{oi\theta}$ que passam pela mesma cota em regime permanente, e
 - O fluxo de arraste total em cada altura z da *freeboard*, $F(z)$, é a somatória de todos os fluxos $F_i(z)$, na mesma cota.

d. Concentração de partículas ao longo da altura, $C_i(z)$

A concentração de partículas de diâmetro d_i em cada altura z , $C_i(z)$, é calculada dividindo-se o fluxo de arraste fracional, $F_i(z)$, pela velocidade superficial de fluidização, isto é:

$$C_i(z) = \frac{F_i(z)}{U} \quad [\text{kg/m}^3]$$

e. Distribuição granulométrica das partículas arrastadas ao longo da altura

A fração em massa das partículas arrastadas em cada altura é obtida dividindo-se o fluxo de arraste do tamanho de partícula considerada pelo fluxo total, ou seja:

$$x_{a_i}(z) = \frac{F_i(z)}{F(z)}$$

A Figura 2.5, a seguir, apresenta um diagrama de blocos contendo as etapas do método de cálculo proposto.

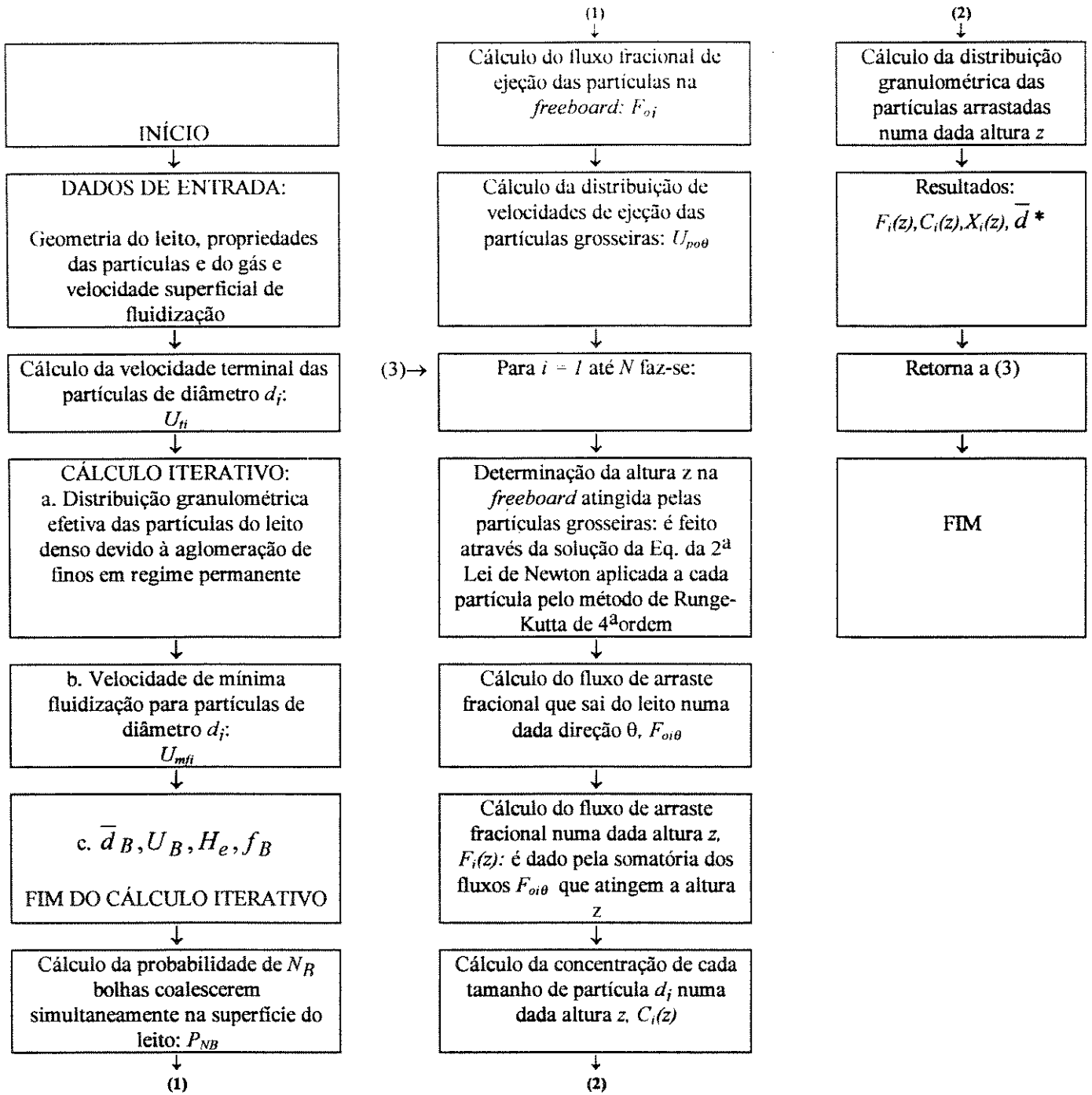


Figura 2.5 Diagrama de blocos contendo a sequência de cálculo do modelo proposto.

Capítulo 3

Sistema de Testes e Procedimento Experimental

O sistema de testes é constituído basicamente por um leito fluidizado borbulhante, com diâmetro interno de 0,60 m e altura 5,0 m. O projeto conceitual da unidade é apresentado no Anexo B.

3.1 Descrição do Sistema de Testes

O sistema de testes compreende:

- Sopradores;
- Linha de alimentação de ar;
- Coluna de fluidização;
- Ciclone;
- Válvula de amostragem, e
- Filtro manga,

conforme apresentado na Figura 3.1.

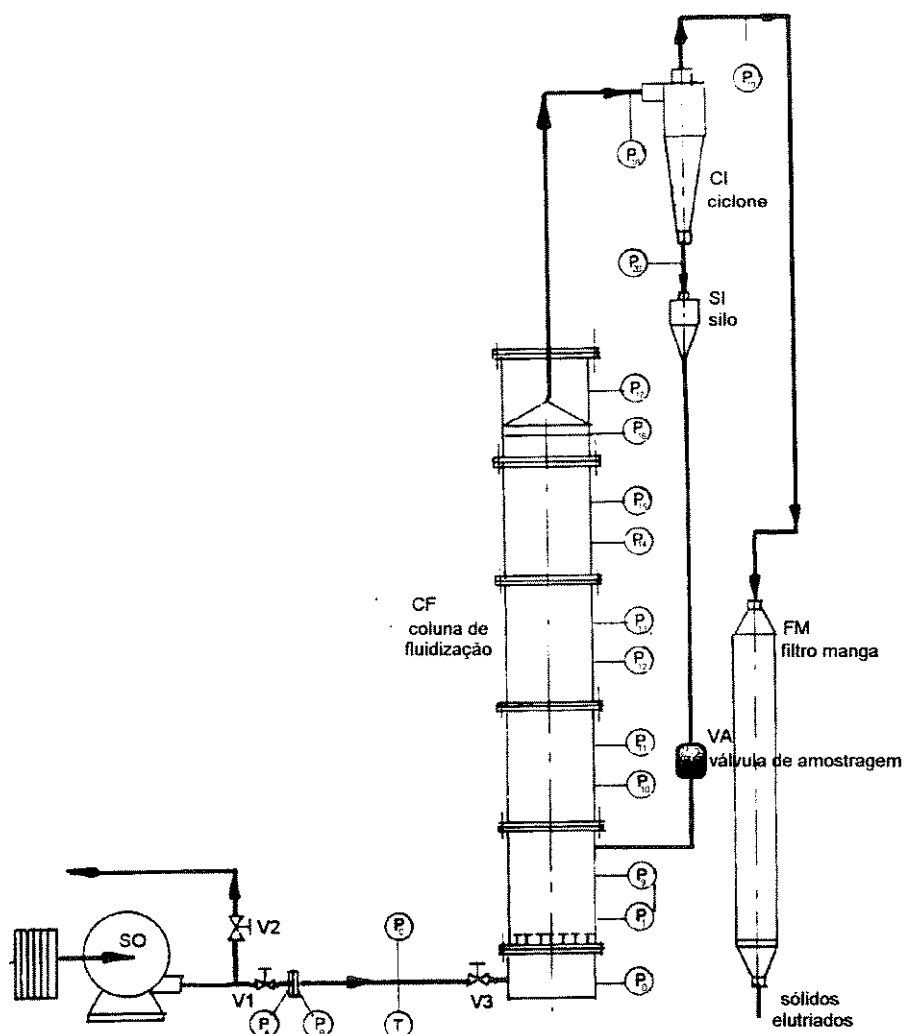


Figura 3.1 Diagrama esquemático do sistema experimental.

a. Sopradores

Foram utilizados três sopradores centrífugos em série, com as seguintes especificações nominais, do menor para o maior soprador, respectivamente:

- Marca: Marelli, Marelli, e Kleper Weber;
- Potências: 3,0, 4,7, e 22,5 cv;
- Motores: trifásico, 3500 rpm;
- Vazões: 356, 600, e 5400 Nm³/h;
- Quedas de pressão estática suportadas pelos sopradores nas vazões acima: 1500, 788 e 1500 mmCA.

Para a partida dos sopradores, utilizou-se duas chaves tipo estrela-triângulo; o ar na saída dos mesmos era aquecido à uma temperatura em torno de 50 °C.

A Figura 3.2 apresenta os três sopradores montados em série.

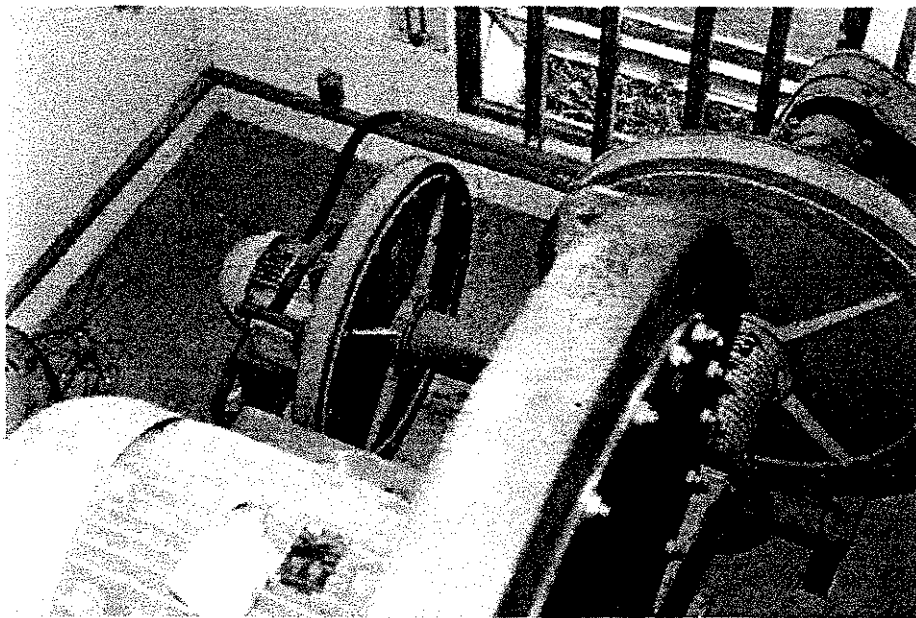


Figura 3.2 Sopradores centrífugos montados em série.

b. Linha de alimentação de ar

A tubulação é composta por dutos de PVC, com uma conexão flexível próxima à câmara plena, para contemplar dilatação, e três válvulas de aço inoxidável tipo borboleta ao longo da linha, para controle da vazão do ar de fluidização. A Figura 3.3 apresenta um *lay-out* da tubulação com suas principais dimensões e válvulas.

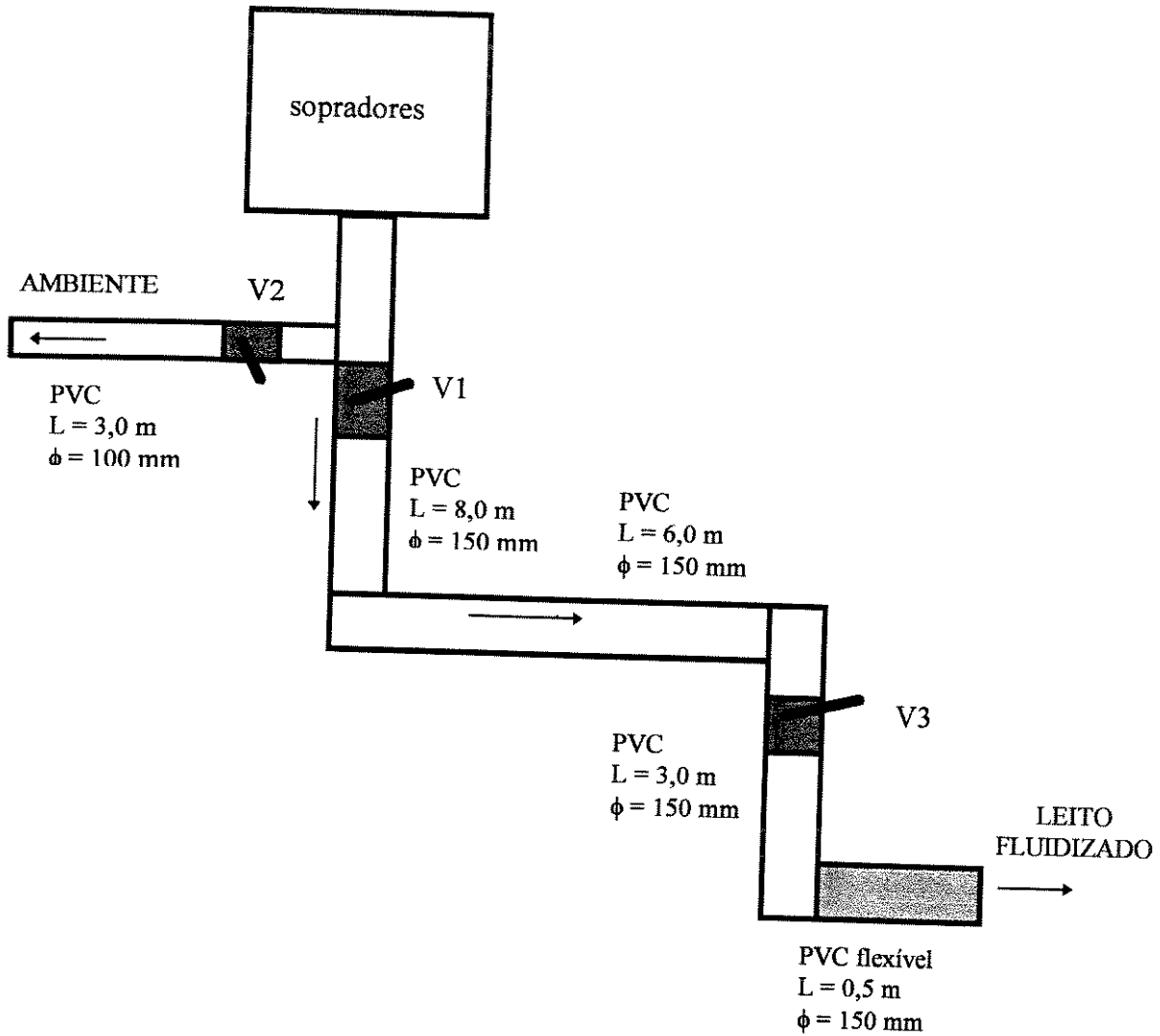


Figura 3.3 Lay-Out da tubulação com suas principais dimensões e válvulas.

c. Leito propriamente dito

O leito é composto por uma câmara plena, uma placa distribuidora com bicos ejetores tipo torre e uma coluna de fluidização.

• Câmara plena

A câmara plena ou *plenum* é construída em aço carbono e possui 0,60 m de diâmetro e 0,50 m de altura. A entrada do ar de fluidização ocorre tangencialmente à parede lateral da câmara, em um duto de 150 mm de diâmetro interno, conforme as Figuras 3.4a e 3.4b.

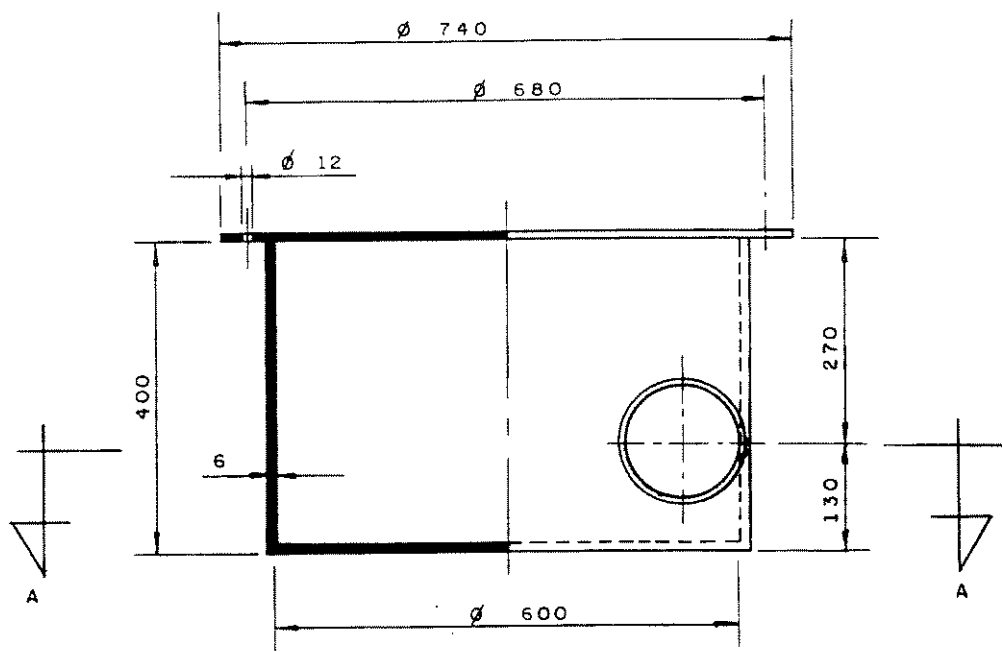


Figura 3.4a Vista lateral da câmara plena.

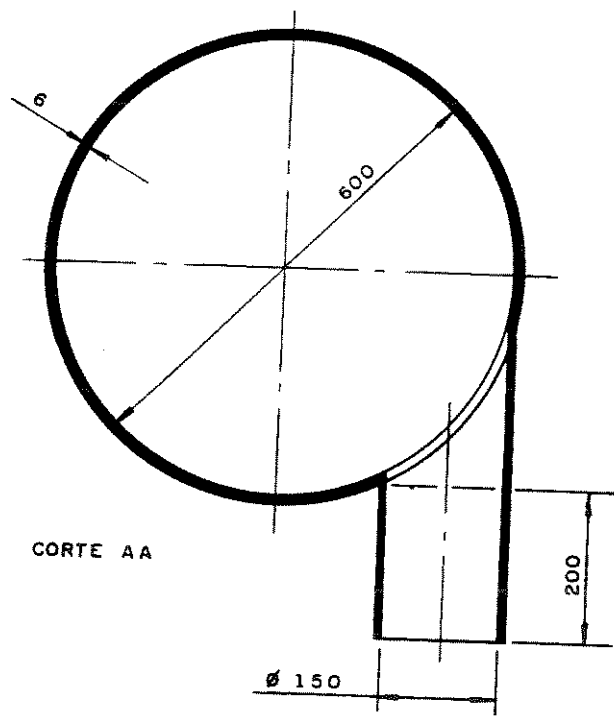


Figura 3.4b Vista de topo da câmara plena - corte A-A.

- **Placa distribuidora de ar**

O distribuidor de ar é composto por 58 bicos tipo torre e uma placa circular de 0,80 m de diâmetro e 5 mm de espessura, construída em aço carbono e possuindo as seguintes características geométricas:

- Espessura da placa distribuidora: *5 mm*
- Número de bicos: *58*
- Arranjo dos bicos: *triangular*
- Altura total dos bicos: *60 mm*
- Altura dos orifícios verticais: *38 mm*
- Diâmetro interno dos orifícios verticais: *20 mm*
- Topo dos bicos: *cônico com 45° de inclinação*
- Número de orifícios radiais: *169 5 bicos com 2 furos cada*
32 bicos com 3 furos cada
21 bicos com 3 furos cada
- Diâmetro interno dos orifícios radiais: *4 mm*
- Comprimento dos orifícios radiais: *10 mm*

Durante o projeto da placa, descrito no Anexo B, os requisitos para uma operação adequada foram verificados, tais como:

- Queda de pressão mínima requerida no distribuidor;
- Estabilidade de operação;
- Não-formação de canais preferenciais (*channelling*);
- Operação plena dos orifícios do distribuidor;
- Não-formação de zonas mortas no leito, e
- Área mínima percentual do leito ocupada pelos orifícios radiais.

As Figuras 3.5a e 3.5b apresentam desenhos esquemáticos do distribuidor de ar, com detalhes dos bicos injetores, construídos em latão.

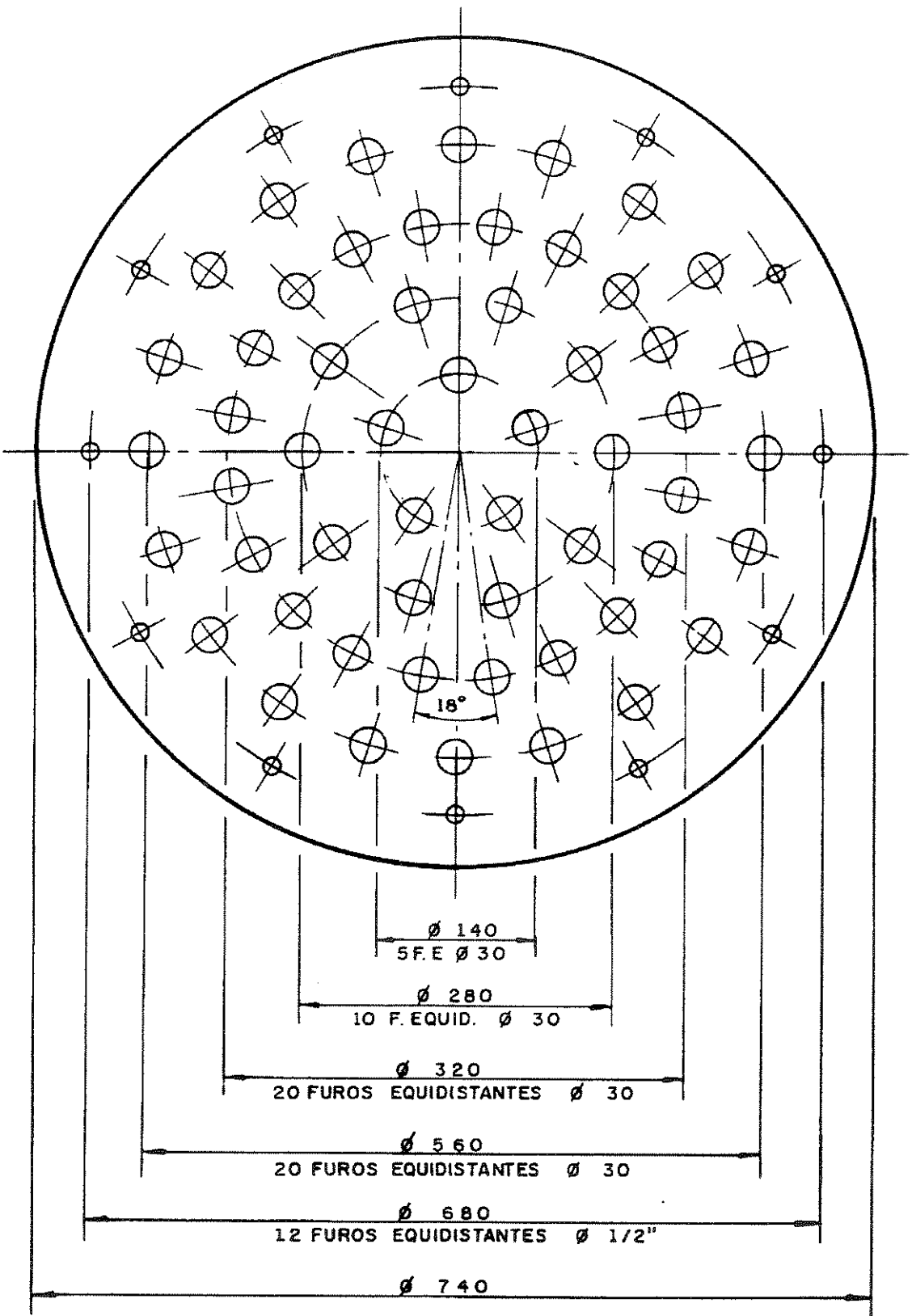


Figura 3.5a Vista de topo do distribuidor de ar.

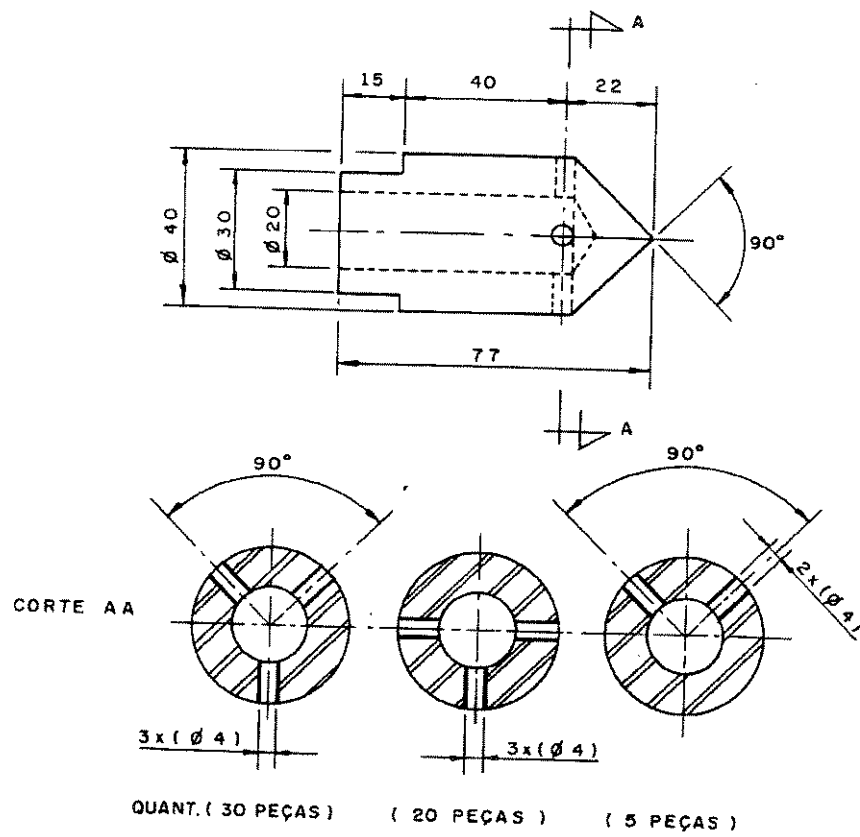


Figura 3.5b Bicos ejetores de ar.

A Figura 3.6 mostra uma fotografia da placa distribuidora instalada na coluna de fluidização, com detalhes dos bicos injetores e da abertura para retirada dos sólidos ao final do teste.

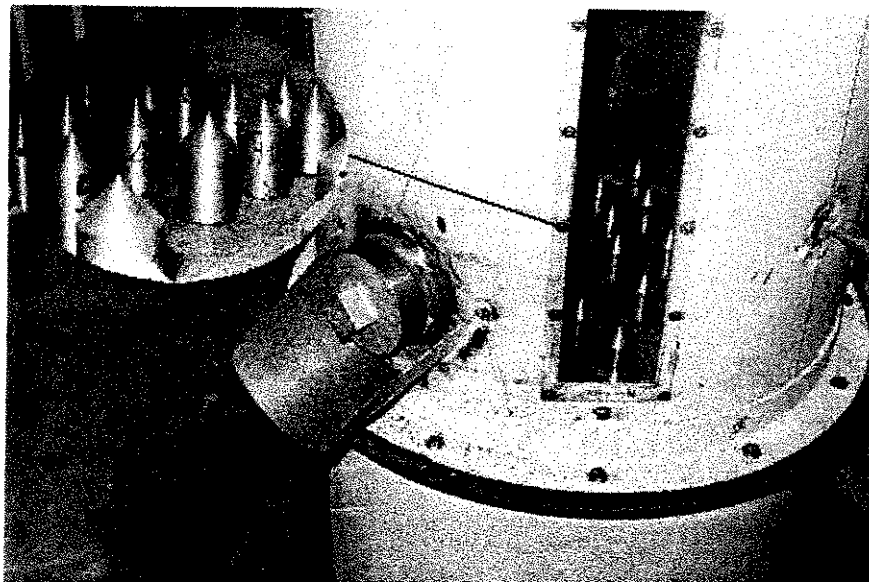


Figura 3.6 Placa distribuidora instalada na coluna de fluidização.

- **Coluna de fluidização**

A coluna de fluidização possui 5 m de altura, 0.6 m de diâmetro interno, e é composta por 5 seções flangeadas, conforme mostra a Figura 3.7.

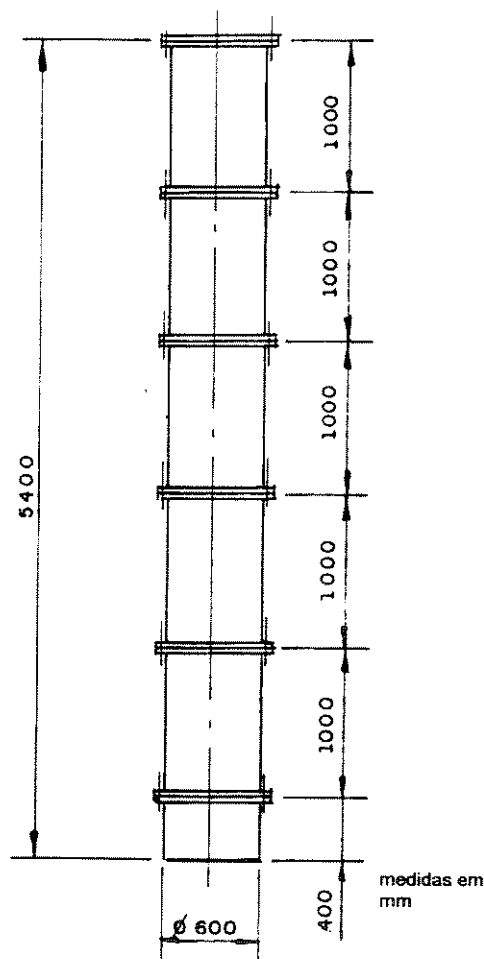


Figura 3.7 Coluna de fluidização.

Cada seção foi construída com chapas de aço carbono com 3 mm de espessura e possuem 4 janelas de acrílico parafusadas, diametralmente opostas, a cada 90° . Cada janela tem 0,80 m de altura, 0,10 m de largura e 15 mm de espessura.

- **Topo móvel da coluna**

O topo da coluna foi dimensionado de forma cônica, formando um ângulo de 119° para minimizar o impacto das partículas arrastadas na *freeboard* contra a sua superfície inferior. Ele é móvel, como um êmbolo, e desce através da coluna por ação do próprio peso, subindo com o auxílio de um sistema manual de polia-manivela com trava. Na sua parede lateral existe uma

ranhura de 5 mm de espessura na qual foi instalada uma câmara de ar que, quando insuflada, evita a passagem de ar pelo espaço anular formado com a parede interna da coluna de fluidização. Logo abaixo da câmara de ar, há um anel de espuma colado, o qual completa a vedação e impede o contato das partículas com a câmara de ar.

O duto de saída da corrente de ar com as partículas arrastadas, acoplado ao topo do êmbolo, é flexível e dimensionado de forma que a velocidade terminal da maior partícula aglomerada arrastada seja menor que a velocidade superficial do ar no seu interior.

A Figura 3.8 apresenta o desenho esquemático do topo móvel da coluna de fluidização.

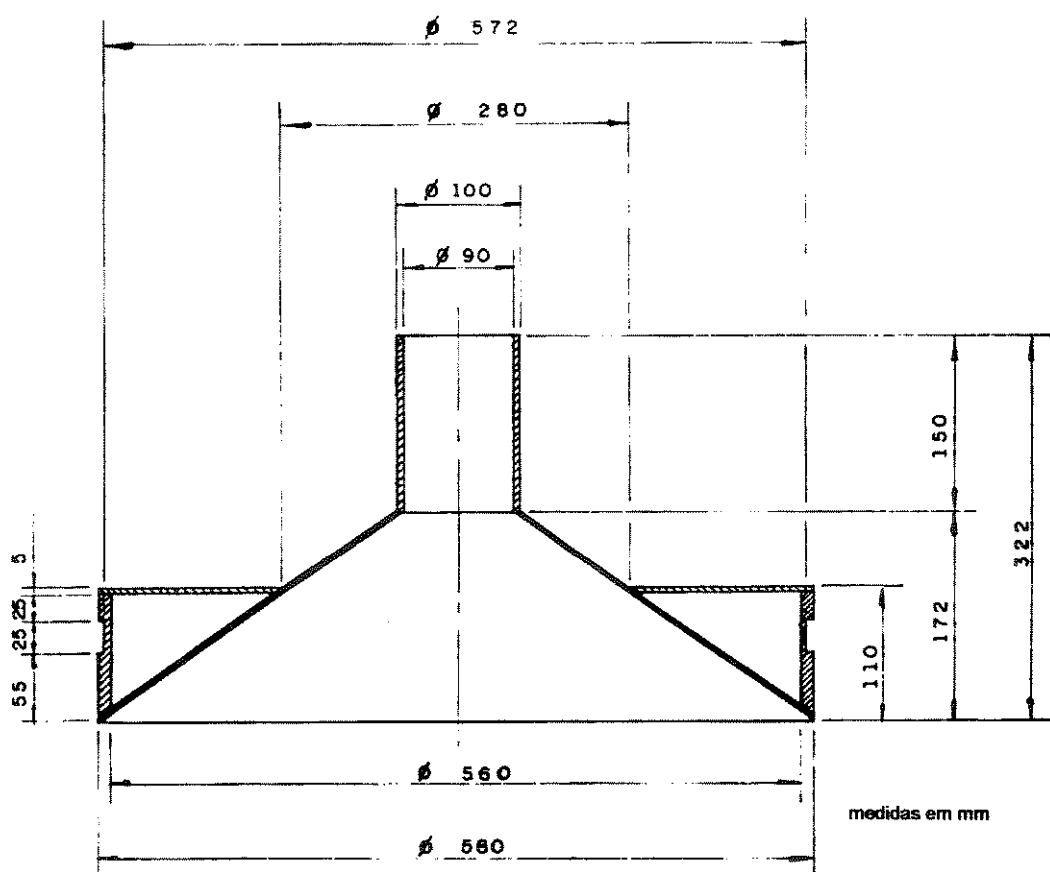


Figura 3.8 Desenho do topo cônico móvel da coluna de fluidização.

A fotografia a seguir mostra uma vista superior do topo da coluna montado, com seus tirantes de fixação. O furo ao lado da saída do duto de exaustão foi feito para passagem da mangueira de ar comprimido até a câmara de ar.

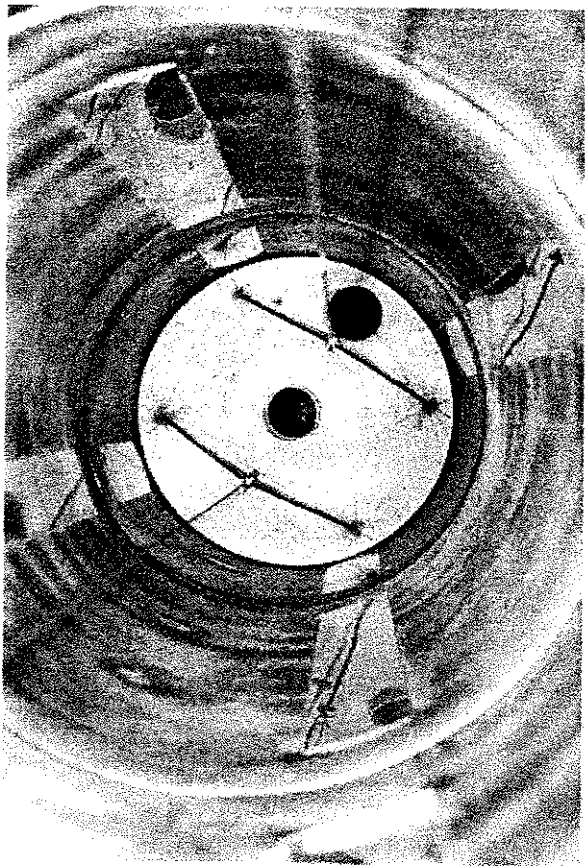


Figura 3.9 Topo móvel da coluna de fluidização instalado.

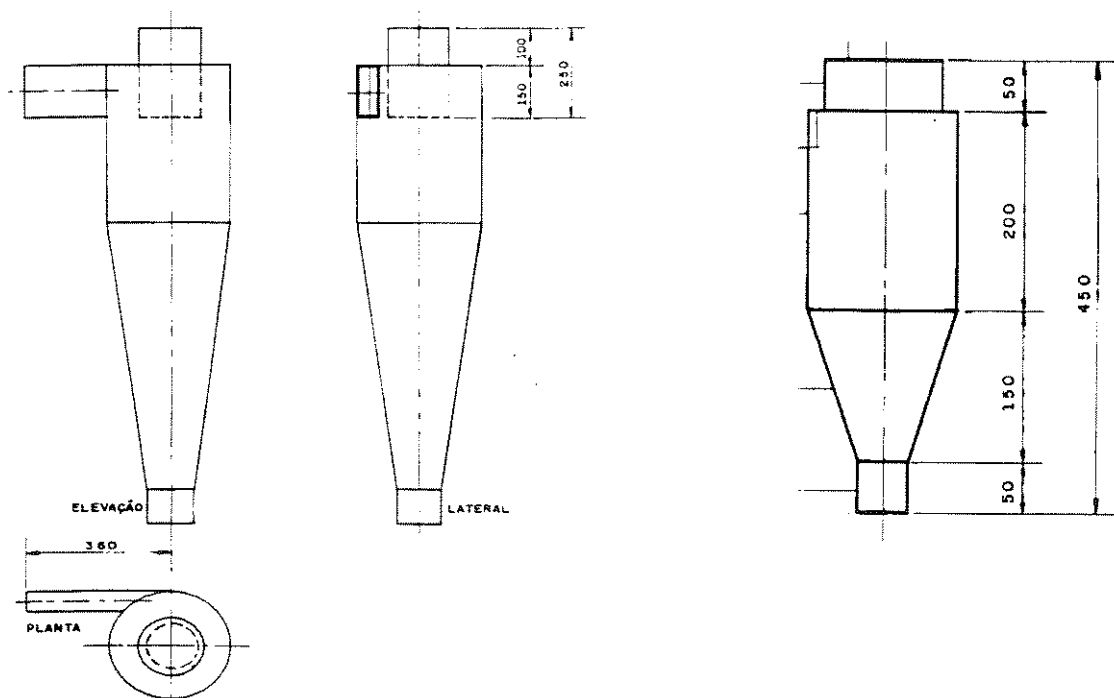
d. Ciclone

O ciclone foi dimensionado seguindo a configuração Stairmand para ciclones de alta eficiência, para uma concentração e granulometria de sólidos que atingem a entrada do ciclone estimada através do modelo de arraste proposto.

As dimensões características, geradas a partir do diâmetro do barril, são:

Tabela 3.1 Dimensões características do ciclone.		
Item	Fator de multiplicação	Dimensão, m
Altura total, a	4,000	1,24
Altura do barril, b	1,500	0,47
Diâmetro da perna, c	0,375	0,12
Altura da seção de saída do gás, e	0,500	0,16
Altura da seção de entrada, f	0,500	0,16
Largura da seção de entrada, g	0,200	0,06
Diâmetro da seção de saída do gás, h	0,500	0,16
Fator geométrico adimensional, s	-	55,1

A Figura 3.10 apresenta os desenhos esquemáticos do ciclone e do silo conectado a sua perna, construído para evitar o escoamento reverso de sólidos.



Ciclone Stairmand

Silo

Figura 3.10 Desenhos esquemáticos do ciclone e do silo.

e. Válvula de amostragem

A válvula de amostragem foi construída em acrílico, com uma portinhola móvel de aço inoxidável, a qual permite o desvio do fluxo de sólidos recirculados pela perna do ciclone para um funil de coleta. Com um cronômetro, avalia-se o fluxo de arraste. Estabelece-se também a granulometria do material arrastado. Abaixo da válvula, foi colocado um silo de aço inoxidável, com o objetivo de manter a altura da coluna de sólidos constante na linha de recirculação.

A válvula possui seção retangular horizontal de 100×270 mm e foi montada entre a perna do ciclone e a linha de retorno dos sólidos, conforme as Figuras 3.11.

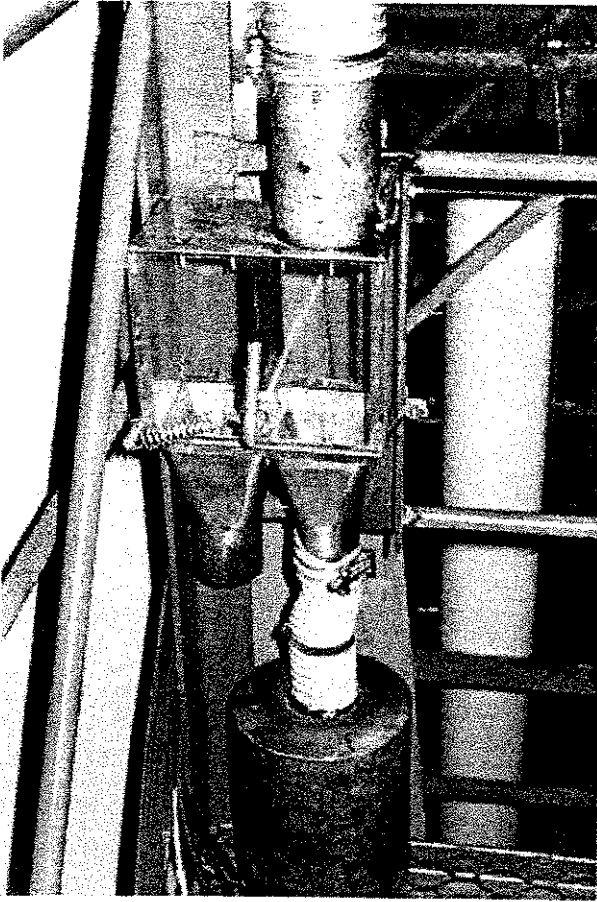


Figura 3.11.a Válvula de amostragem de sólidos.

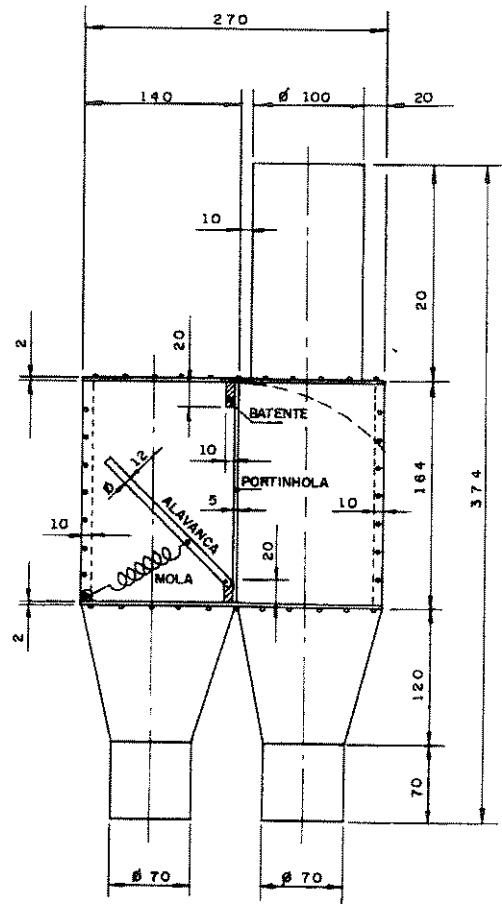


Figura 3.11.b Desenho esquemático da válvula de amostragem.

f. Filtro de manga

O filtro foi colocado logo após a saída do ciclone, para coleta do material sólido elutriado não retido pelo mesmo. Ele é de tecido de algodão, com formato cilíndrico e área total de $2,5 \text{ m}^2$. Na saída inferior foi colocado um cone para coleta do material sólido retido. A Figura 3.12 apresenta o desenho esquemático do filtro, com as suas dimensões.

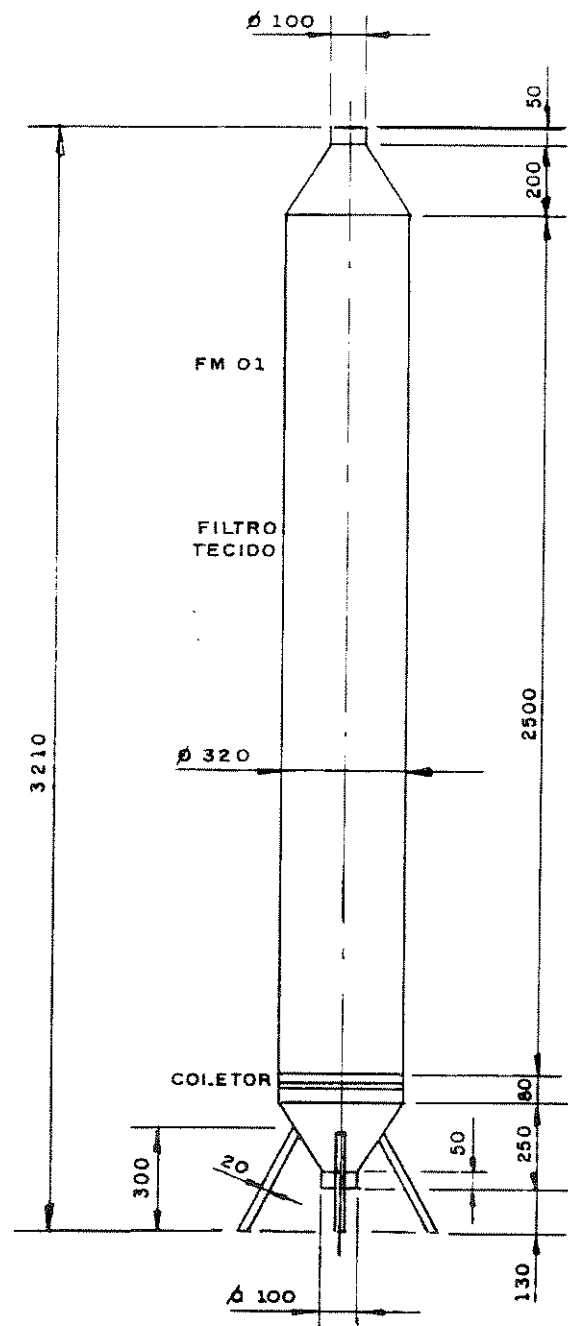


Figura 3.12 Desenho esquemático do filtro manga.

3.2 Procedimento Experimental

O procedimento empregado para a operação do sistema e a realização das medidas experimentais foi padronizado para todos os testes e é descrito a seguir:

- Com o leito vazio (sem sólidos), manter totalmente aberta as válvulas V2 e V3 que permitem a entrada de ar no leito e fechar totalmente a válvula V1 que desvia o ar insuflado para o ambiente (*by-pass*), conforme Figura 3.1;
- Acionar os sopradores 1, 2 e 3 e posicionar a abertura da válvula V3, de modo a se obter a vazão de ar desejada para a fluidização, anotando a diferença de pressão $P_A - P_B$ na placa de orifício;
- Desligar os sopradores, manter a válvula V3 na posição, e abrir e fechar totalmente as válvulas V1 e V2, respectivamente;
- Pesquisar o inventário, retirar uma amostra do material sólido, e carregar o leito, verificando se o topo móvel da coluna se encontra acima da abertura do duto de alimentação. Após o carregamento total do leito, fechar o *plug* do duto de alimentação;
- Ajustar o topo do leito na posição desejada, com enchimento da câmara de ar lateral a pressão manométrica de 1,0 bar;
- Acionar os sopradores, aguardar 5 minutos para o fluxo de ar atingir a temperatura de regime, e fechar e abrir ao mesmo tempo as válvulas V1 e V2, respectivamente, iniciando a contagem de tempo do teste;
- Imediatamente após o início do teste, fazer o pequeno ajuste necessário na vazão desejada através da válvula V3, observando a diferença de pressão na placa de orifício;
- Aos 5 minutos, fazer leitura das pressões ao longo do sistema experimental, de P_0 a P_{21} ;
- Aos 15 e 25 minutos, retirar amostras dos sólidos arrastados pela válvula de amostragem VA, registrando seu tempo de abertura;
- Aos 30 minutos, encerrar o teste, fechando totalmente a válvula V3 que permite a entrada de ar no leito e, em seguida, desligando os sopradores;
- Pesquisar as duas amostras coletadas pela válvula de amostragem e a massa de partículas finas coletada no filtro;
- Retirar o material do leito abrindo a válvula de descarga e promover limpeza do *plenum*. O restante do material que permanecer no leito deve ser retirado por aspiração. Após, pesar

todo o inventário final para verificação do balanço de massa, com retirada de uma nova amostra:

- Analisar granulometricamente, por peneiramento vibratório e análise via úmida por difração a laser, as amostras coletadas, provenientes do inventário inicial M (uma), do inventário final, M_f (uma), da válvula de amostragem, m_a (duas) e do filtro, m_e (uma).

A distribuição granulométrica das amostras de sólidos coletadas foi obtida por peneiramento vibratório durante 10 minutos, suficiente para não modificar mais a granulometria da amostra, usando um conjunto de 12 (doze) peneiras com abertura variando de 38 a 420 μm . As massas retidas em cada peneira foram medidas com uma balança eletrônica da Ohaus, modelo GA 200, com capacidade de 200 g e precisão de $\pm 0,0001$ g.

As amostras coletadas na válvula de amostragem referentes aos testes 01 a 36; coletadas no leito no início e no fim dos testes 16, 21, 26, 31 e 33 a 36, e coletadas no filtro ao final dos testes 16, 21, 31, 34 e 36 também foram analisadas no Laboratório de Caracterização Tecnológica da Escola Politécnica da USP, empregando-se varredura via difração a laser na amostra de partículas. O analisador a laser é produzido pela Malvern Instruments Ltd. e emprega a teoria de tempo de transição, segundo a qual, o tempo que um feixe de laser, movendo-se em uma velocidade constante, leva para interagir com uma partícula produzindo uma sombra em um detetor é diretamente proporcional ao diâmetro da partícula. As interações entre o feixe de raio laser e as partículas podem então ser processadas para determinar o diâmetro dessas.

A amostra era colocada em dispersão numa solução aquosa de hexametáfosfato de sódio e, após a dispersão, era fixada sob o feixe de laser e a análise efetuada pelo aparelho. O sistema a laser forneceu a distribuição granulométrica de 1,22 a 564 μm , com intervalos variando de 0,1 a 40,0 μm .

3.3 Dificuldades operacionais

Durante a realização dos testes preliminares, ocorreram dificuldades de operação do sistema experimental, com algumas delas conduzindo a modificações no equipamento. Foram elas:

- Vazamentos de ar nas conexões da linha de alimentação, solucionados com adesivo a base de resina epóxi (Araldite®);
- Rompimento sistemático da câmara de ar colocada no topo da coluna devido à pressão excessiva. O problema foi resolvido com a colocação de um regulador de pressão na linha, o qual fixou em 2,0 bar a pressão absoluta no interior da câmara;
- Arraste do topo da coluna de fluidização devido à pressão do ar dentro do leito, ocasionando a ruptura da câmara de ar e a parada imediata da operação. Este problema foi solucionado com a colocação de 120 kg de chumbo como contrapeso no topo do leito e com a substituição do duto de PVC sanfonado, que ligava a saída do topo da coluna a entrada do ciclone, por um duto de PVC flexível, que ofereceu uma menor perda de pressão;
- Vazamentos, durante teste de estanqueidade, na junção entre as janelas de acrílico e a parede metálica da coluna de fluidização e pelos parafusos de fixação das janelas. Os vazamentos foram corrigidos com o uso de silicone em pasta;
- Altura excessiva da coluna de sólidos no duto de recirculação (entre a perna do ciclone e a entrada do leito), que impedia a coleta de sólidos arrastados pela válvula de amostragem. Solucionou-se o problema trabalhando com inventários inferiores a 100 kg e máxima velocidade superficial de fluidização igual a 0,45 m/s, permitindo alturas menores da coluna de sólidos;
- Vazamento de sólidos pela válvula de amostragem, corrigido com aplicação de manta de feltro e silicone em pasta nas frestas entre a portinhola e a caixa de acrílico;
- Entupimento das tomadas de pressão situadas no leito denso, solucionado com a colocação de tomadas de ar comprimido para a limpeza das sondas antes da leitura das pressões manométricas.

3.4 Programa de Testes

Os testes foram programados com o objetivo de levantar informações detalhadas do fluxo de arraste e da distribuição granulométrica ao longo da altura de um leito fluidizado borbulhante de porte e comprovar o modelo de arraste proposto, verificado a influência da velocidade superficial do gás e inventário de sólidos sobre o arraste de partículas. Para tanto, foram programados e executados os seguintes testes:

Tabela 3.2 Programa de testes.

Testes n ^o	D (mm)	U (m/s)	M (g)	H _o (mm)	Altura do topo da coluna (mm)	d _o (μm)
01	600	0.13	60000	240	1000	84
02		0.21				
03		0.27				
04		0.35				
05		0.39				
06		0.45				
07	600	0.21	60000	240	1500	84
08		0.27				
09		0.35				
10		0.39				
11		0.45				
12	600	0.21	60000	240	2000	84
13		0.27				
14		0.35				
15		0.39				
16		0.45				
17	600	0.21	60000	240	2500	84
18		0.27				
19		0.35				
20		0.39				
21		0.45				
22	600	0.21	60000	240	3000	84
23		0.27				
24		0.35				
25		0.39				
26		0.45				
27	600	0.21	60000	240	4000	84
28		0.27				
29		0.35				
30		0.39				
31		0.45				
32	600	0.21	60000	240	5000	84
33		0.27				
34		0.35				
35		0.39				
36		0.45				
37	600	0.27	30000	120	1000	84
38			35000	140		
39			40000	160		
40			45000	180		
41			50000	200		
42			55000	220		
43			70000	280		
44			80000	320		
45			90000	360		
46			100000	400		

Os testes 1 a 36 foram realizados para levantar o efeito da velocidade superficial do ar e da altura da coluna de fluidização sobre o fluxo de arraste. Foi testado um inventário de 60 kg, para velocidades de 0,13; 0,21; 0,27; 0,35; 0,39 e 0,45, com o topo móvel localizado a 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0 e 5,0 m acima da placa distribuidora.

Para a verificação do efeito do inventário de sólidos sobre o fluxo de arraste de partículas, foram realizados os testes 37 à 46. A velocidade superficial foi mantida em 0,27 m/s e o topo móvel da coluna em 1,0 m, para inventários variando de 30 a 100 kg.

Todos os testes foram empregados na verificação do modelo proposto para prever o fluxo de arraste e a distribuição granulométrica do material arrastado ao longo da coluna.

3.5 Coleta dos Dados

Os dados foram coletados em tabelas como as apresentadas a seguir. Os dados relativos ao restante dos testes operacionais podem ser vistos no Anexo D.

Tabela 3.3a Dados coletados.

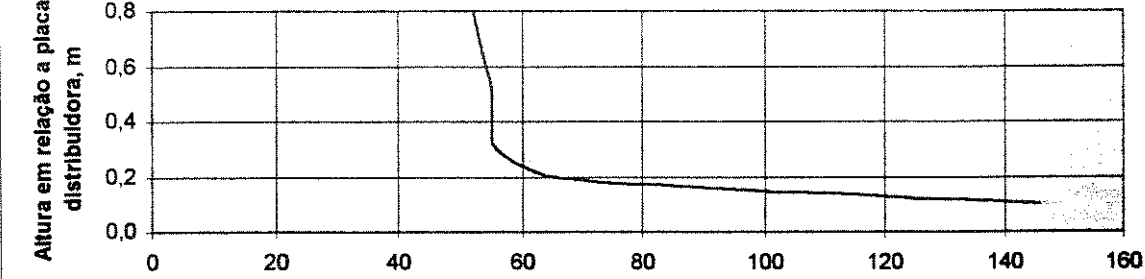
TESTE:	12	HORA:	09:45
Temperatura ambiente (°C):	18	Pressão ambiente (mmHg):	709
Duração, t (min):	30	Data:	15/07/97
Condições operacionais:			
.Inventário inicial no leito, M (g):	60000	.Massa coletada no filtro, m_a (g):	114,00
.Inventário final no leito, M_f (g):	60034	.Altura do topo da coluna, h (m):	2,0
.Amostra coletada na válvula aos 15 min., m_a/t_c (g/s):	58,05 / 90	.Altura do leito estático, H_o (mm):	240
.Amostra coletada na válvula aos 30 min., m_a/t_c (g/s):	57,05 / 90	.Altura do leito expandido, H_e (mm):	350
Distribuição de pressão no leito:			
z, m	Pressões, mmCA _{man}	z, m	Pressões, mmCA _{man}
-0,10	P ₀ 18(*)	0,90	P ₉ 52
0,10	P ₁ 146	1,33	P ₁₀ 52
0,20	P ₂ 66	1,66	P ₁₁ 51
0,30	P ₃ 56	2,33	P ₁₂ -
0,40	P ₄ 55	2,66	P ₁₃ -
0,50	P ₅ 55	3,33	P ₁₄ -
0,60	P ₆ 54	3,66	P ₁₅ -
0,70	P ₇ 53	4,33	P ₁₆ -
0,80	P ₈ 52	4,66	P ₁₇ -
(*) mmHg _{man}			
Altura em relação a placa distribuidora, m  Pressão manométrica, mmCA			
Distribuição de pressão no ciclone, mmCA _{man} :			
Entrada, P ₁₈	44		
Saída, P ₁₉	31		
Perna, P ₂₀	31		
Medida de vazão do ar de fluidização:			
.Pressão à montante da placa de orifício, P _C (mmHg _{man}):	20		
.Diferença de pressão na placa de orifício, P _A - P _B (mmCA _{man}):	28		
.Temperatura do ar, T (°C):	38		
Observações:			
Altura da coluna de recirculação de sólidos: 0 mm			
Massa de sólidos encontrada no plenum após o teste: 990 g			

Tabela 3.3b Granulometria das amostras.

Teste 12 - amostras coletadas pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.								Material:	FCC
m_a (g) - 15 min.:		55,106	m_a' (g) - 25 min.:		53,563			t (min):	10
N	Abert. peneiras	d_i	m_i (g)		x_i (%)		X_i (%)		
	(μm)	(μm)	15 min	25 min	15 min	25 min	15 min	25 min	médio
1	< 38	19,0	1,246	3,190	2,26	5,96	2,26	5,96	4,51
2	38-45	41,5	13,188	19,785	23,93	36,94	26,19	42,89	34,54
3	45-53	49,0	31,219	27,544	56,65	51,42	82,85	94,32	88,58
4	53-65	59,0	7,587	2,606	13,77	4,87	96,61	99,18	97,90
5	65-75	70,0	1,441	0,295	2,61	0,55	99,23	99,73	99,48
6	75-88	81,5	0,314	0,115	0,57	0,21	99,80	99,95	99,87
7	88-105	96,5	0,111	0,028	0,20	0,05	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):								15 min.:	46,91
								25 min.:	42,62
								médio:	44,76
								Desvio (%):	10,08
Teste 12 - amostras coletadas no leito denso no início e no fim do teste								Material:	FCC
m (g) - inicial.:		55,564	m' (g) - final.:		77,552			t (min):	10
N	Abert. peneiras	d_i	m_i (g)		x_i (%)		X_i (%)		
	(μm)	(μm)	inicial	final	inicial	final	inicial	final	
1	< 38	19,0	0,036	0,046	0,06	0,06	0,06	0,06	
2	38-45	41,5	0,840	0,910	1,51	1,17	1,58	1,23	
3	45-53	49,0	5,039	5,204	9,07	6,71	10,65	7,94	
4	53-65	59,0	7,237	10,435	13,02	13,46	23,67	21,40	
5	65-75	70,0	13,490	19,490	24,28	25,13	47,95	46,53	
6	75-88	81,5	9,428	14,158	16,97	18,26	64,92	64,79	
7	88-105	96,5	9,921	14,560	17,86	18,77	82,77	83,56	
8	105-125	115,0	5,265	7,294	9,48	9,41	92,25	92,97	
9	125-149	137,0	2,914	3,728	5,24	4,81	97,49	97,77	
10	149-177	163,0	0,924	1,154	1,66	1,49	99,15	99,26	
11	177-210	193,5	0,257	0,312	0,46	0,40	99,62	99,66	
12	210-297	253,5	0,122	0,153	0,22	0,20	99,84	99,86	
13	297-420	326,0	0,091	0,108	0,16	0,14	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):								Inicial:	83,35
								Final:	85,18
								Desvio (%):	-2,15

As partículas de FCC de equilíbrio empregadas nos testes são compostas basicamente por sílica-alumina, constituídas por octaedros regulares e com alta porosidade. Elas podem ser consideradas aproximadamente esféricas, com esfericidade igual a 0,90 (Bartholomew, 1984). As fotografias a seguir, obtidas a partir de ampliações em microscópio eletrônico, apresentam detalhes da morfologia das partículas, com visualização de algumas partículas de coque aderidas a superfície do catalisador.

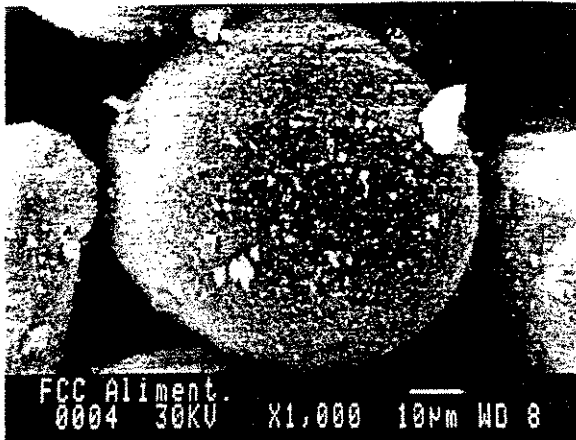


Figura 3.13a Partícula de FCC ampliada 1000 vezes com detalhe das partículas de coque aderidas a superfície.

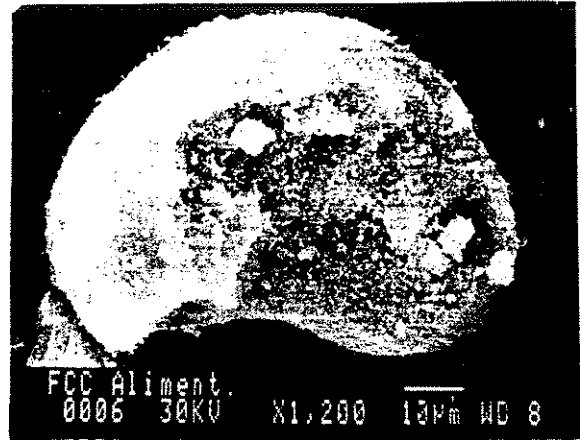


Figura 3.13b Partícula de FCC fragmentada ampliada 1200 vezes com detalhe da estrutura interna.

Em caráter ilustrativo, pode-se observar na Figura 3.14 uma sequência de erupção de bolhas na superfície do leito denso expandido, para $H_e = 350$ mm e $U = 0,45$ m/s.

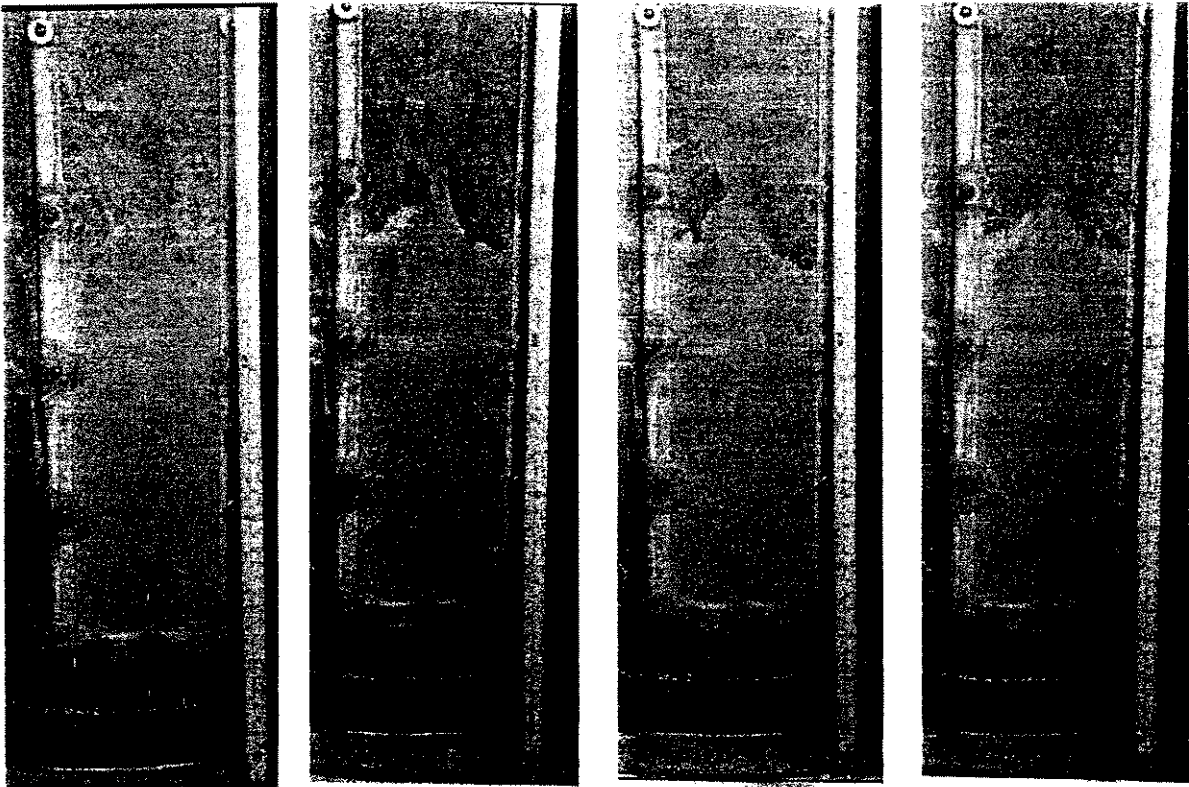


Figura 3.14 Sequência de erupção de bolhas na superfície do leito denso expandido.

3.6 Processamento dos Dados Experimentais

A partir dos dados experimentais obtidos durante a execução dos testes, foram calculados os valores das variáveis de interesse:

- Velocidade superficial de fluidização;
- Fluxo de arraste;
- Distribuição granulométrica.

Foram registradas também as distribuições de pressão manométrica ao longo do sistema experimental, através do emprego de manômetros tipo tubo em U.

a. Velocidade superficial de fluidização

A velocidade superficial é calculada a partir da medida da diferença de pressão na placa de orifício e das medidas de pressão manométrica à montante da placa e de temperatura à jusante da placa, realizadas com manômetros tipo tubo em U e termômetro analógico. Utilizou-se a norma ISO 5167 (1980) - “Medida de Vazão em Tubos de Seção Circular, Completamente Cheios, Com o Uso de Placas de Orifício, Bocais e Tubos Venturi”, para projeto da placa de orifício, a qual tem as seguintes características:

- tipo de placa: furo concêntrico com tomadas na flange;
- diâmetro do tubo, d_t : 150,0 mm
- diâmetro do orifício, d_o : 69,5 mm
- espessura da placa: 4,6 mm

O comprimento reto antes da placa foi superior a 20 diâmetros e, à jusante da placa, maior que 8 diâmetros, o que garante a incerteza do cálculo do coeficiente de descarga menor que 0,8%. O cálculo da descarga de ar no leito e, posteriormente, da velocidade superficial, é feito de acordo com a seguinte expressão:

$$\dot{m}_{ar} = C_D A_d \left[\frac{2\gamma p_1 \rho_1 \left(Y^{2/\gamma} - Y^{(\gamma+1)/\gamma} \right)}{(\gamma - 1) \left(1 - Y^{2/\gamma} \beta^4 \right)} \right]^{1/2} \quad (3.1)$$

onde A_d = área do orifício da placa;

Y = razão entre p_B e p_A ;

p_A = pressão à montante da placa;

p_B = pressão à jusante da placa;

γ = razão entre os calores específicos a pressão constante e a volume constante;

β = diâmetro do orifício dividido pelo diâmetro da tubulação, e

C_{Dp} = coeficiente de descarga, calculado por:

$$C_{Dp} = \left(1 - \beta^4 \right)^{1/2} k \quad (3.2)$$

A determinação de k envolve a avaliação de alguns parâmetros, como segue:

$$A = d_o \left(905 - 5000\beta + 9000\beta^2 - 4200\beta^3 + \frac{875}{d_t} \right) \quad (3.3)$$

$$k_e = 0,5925 + \frac{0,0182}{d_t} + \left(0,44 - \frac{0,06}{d_t} \right) \beta^2 \quad (3.4)$$

$$+ \left(0,935 + \frac{0,225}{d_t} \right) \beta^5 + 1,35\beta^{14} + \left(\frac{1,43}{d_t^{1/2}} \right) (0,25 - \beta)^{5/2}$$

$$k_o = \frac{10^6 k_e d_o}{10^6 d_o + 15A} \quad (3.5)$$

$$k = k_o \left(1 + \frac{\beta A}{Re_{dt}} \right) \quad (3.6)$$

onde Re_{dt} é o número de Reynolds baseado no diâmetro da tubulação.

O cálculo é iterativo, pois a determinação de k depende da descarga de ar. A velocidade superficial pode então ser determinada por:

$$U = \frac{\dot{m}_{ar}}{\rho A_L} \tag{3.7}$$

onde A_L é a área da seção transversal reta do leito denso.

A curva de velocidade superficial do ar *versus* diferença de pressão na placa foi determinada de acordo com a norma e está apresentada na Figura 3.15.

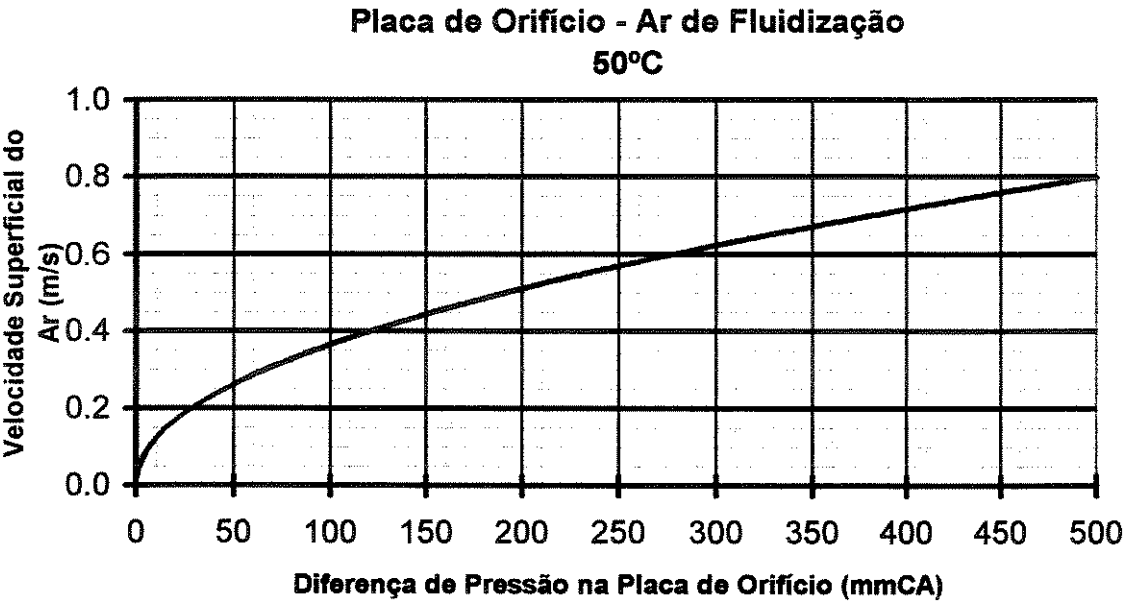


Figura 3.15 Curva de velocidade do ar *versus* diferença de pressão na placa de orifício.

b. Fluxo de arraste

O fluxo de arraste foi medido através da válvula de amostragem, situada na linha de retorno dos sólidos, desviando o fluxo de sólidos retidos pelo ciclone e registrando-se o tempo de abertura da válvula.

A massa coletada pela válvula m_a é somada à massa de sólidos m_e retida no filtro manga, de maneira que o fluxo de arraste $F(z)$ em cada teste pode ser avaliado por:

$$F(z) = \frac{\frac{m_a}{t_c} + \frac{m_e}{t}}{A_L}, \quad (3.8)$$

onde t_c = tempo de abertura da válvula, e
 t = duração do teste.

c. Distribuição granulométrica

O diâmetro médio da distribuição foi calculado empregando-se o diâmetro médio de Sauter, dado por:

$$\bar{d} = \frac{1}{\sum_{i=0}^N \frac{x_i}{d_i}}, \quad (3.9)$$

onde $\bar{d}$ é o diâmetro médio de Sauter da distribuição.

O conjunto completo de resultados experimentais é apresentado no próximo capítulo, contendo: a velocidade superficial do gás, o perfil de pressão no sistema, e o fluxo de arraste e a granulometria ao longo da altura da coluna do leito, para cada teste.

Capítulo 4

Apresentação e Análise dos Resultados

4.1 Introdução

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados dos testes realizados nas condições operacionais descritas no Capítulo 3, referentes ao efeito da velocidade superficial do ar, do inventário de sólidos e da altura da coluna de fluidização no fluxo de arraste e na granulometria das partículas sólidas arrastadas. Os testes permitem também a verificação do modelo de arraste e a análise dos principais fenômenos considerados, como aglomeração, segregação e redução de tamanho de partículas no leito denso, TDH, coalescência de bolhas e velocidade de ejeção das partículas.

A Tabela 4.1 sumaria os resultados do programa de testes executado:

- Os valores apresentados para os diâmetros médios relativos às partículas do leito denso antes e após a fluidização, $\bar{d}_o$ e $\bar{d}_f$, respectivamente, e as partículas arrastadas e elutriadas, $\bar{d}_a$ e $\bar{d}_e$, foram determinados a partir de análise granulométrica via peneiramento vibratório e por difração a laser;
- H_o e H_e correspondem à altura do leito estático e do leito denso expandido, respectivamente, sendo que os valores de H_e foram estimados preliminarmente a partir do perfil de pressão na coluna;
- As partículas elutriadas e coletadas no filtro possuem diâmetro médio $\bar{d}_e$ em torno de 4 μm e não ultrapassaram 1,0% da massa total de partículas alimentadas.

Tabela 4.1 Sumário dos testes executados.

Teste	U	M	h	H_o	H_e	$\bar{d}_o$		$\bar{d}_f$		$\bar{d}_a$		$\bar{d}_e$	$F(z) \times 10^3$
n°	(m/s)	(g)	(mm)	(mm)	(mm)	(μm) ¹	(μm) ²	(μm) ¹	(μm) ²	(μm) ¹	(μm) ²	(μm) ²	(kg/m ² s)
01	0.13	60000	1000	240	350	85,32		84,09		39,21	38,74		1,24
02	0.21					80,76		86,75		37,36	43,81		13,87
03	0.27					77,92		80,63		40,38	45,83		75,14
04	0.35					88,89		97,37		56,43	49,80		180,64
05	0.39					82,48		90,40		59,57	55,80		313,96
06	0.45					82,69		84,53		66,42	59,78		519,45
07	0.21	60000	1500	240	350	93,78		100,75		42,59	38,29		4,33
08	0.27					88,90		110,15		46,11	42,02		26,72
09	0.35					92,36		90,49		52,29	47,62		126,58
10	0.39					83,41		94,53		64,96	55,62		231,02
11	0.45					89,73		98,32		72,76	60,23		388,89
12	0.21	60000	2000	240	350	83,35		85,18		44,76	39,14		2,49
13	0.27					82,19		80,71		44,33	42,44		13,00
14	0.35					83,13		86,63		59,61	47,92		104,02
15	0.39					82,90		87,25		56,91	48,43		187,65
16	0.45					86,73	82,09	95,56	84,24	63,56	60,15	4,37	315,18
17	0.21					84,64		88,78		53,16	35,33		2,09
18	0.27	60000	2500	240	350	85,77		89,71		51,48	42,85		9,05
19	0.35					85,76		86,19		56,47	48,79		68,78
20	0.39					85,36		85,12		59,24	53,83		159,88
21	0.45					86,60	82,96	90,82	81,54	60,92	58,89	3,95	284,02
22	0.21	60000	3000	240	350	81,79		83,84		53,14	36,19		1,80
23	0.27					87,10		88,59		54,24	35,86		7,07
24	0.35					82,92		89,99		54,53	48,62		74,83
25	0.39					80,55		87,26		56,40	49,99		142,42
26	0.45					85,96	82,72	87,98		61,51	55,29		270,02
27	0.21	60000	4000	240	350	84,92		86,65		66,61	31,93		1,49
28	0.27					85,64		87,12		52,47	38,95		7,07
29	0.35					87,73		85,97		55,77	45,21		74,13
30	0.39					82,19		89,29		58,05	48,45		145,41
31	0.45					84,93	84,16	92,60	80,78	62,17	56,75		271,85
32	0.21	60000	5000	240	350	83,36		87,57		67,26	26,39		1,41
33	0.27					84,92		86,97	81,68	51,38	39,16		7,08
34	0.35					84,41	83,50	92,46	82,77	56,45	47,94	3,38	70,48
35	0.39					84,39		89,94	79,91	56,72	48,17		129,63
36	0.45					86,12	83,16	87,26	81,84	61,60	51,12	4,26	258,93
37		30000		120	250	88,90		110,13		41,41			59,01
38		35000		140	250	88,90		110,15		42,02			46,24
39		40000		160	250	84,00		90,13		44,50			52,59
40		45000		180	250	88,90		110,13		44,34			52,88
41	0.27	50000	1000	200	350	84,76		91,48		41,12			50,38
42		55000		220	350	78,48		82,17		42,22			72,35
43		70000		280	350	79,12		80,86		42,01			67,59
44		80000		320	450	82,71		79,74		41,82			72,08
45		90000		360	450	81,71		81,71		42,34			71,17
46		100000		400	550	80,13		84,98		46,90			75,46

(1) distribuição granulométrica obtida por peneiramento vibratório (a seco).

(2) distribuição granulométrica obtida por difração a laser (via úmida).

4.2 Apresentação e Análise dos Resultados Experimentais

4.2.1 Influência da velocidade superficial de fluidização no arraste de partículas

Desde 1958, com Zenz e Weil, a literatura considera o fluxo de arraste diretamente proporcional à velocidade superficial de fluidização U .

A Figura 4.1 apresenta a variação do fluxo de arraste com a altura para as 5 velocidades de fluidização utilizadas. As barras verticais correspondem as incertezas médias percentuais encontradas para cada série de testes numa dada velocidade de fluidização, conforme a análise de incertezas descrita no Anexo A.

A linha pontilhada indica a superfície do leito denso expandido, H_e .

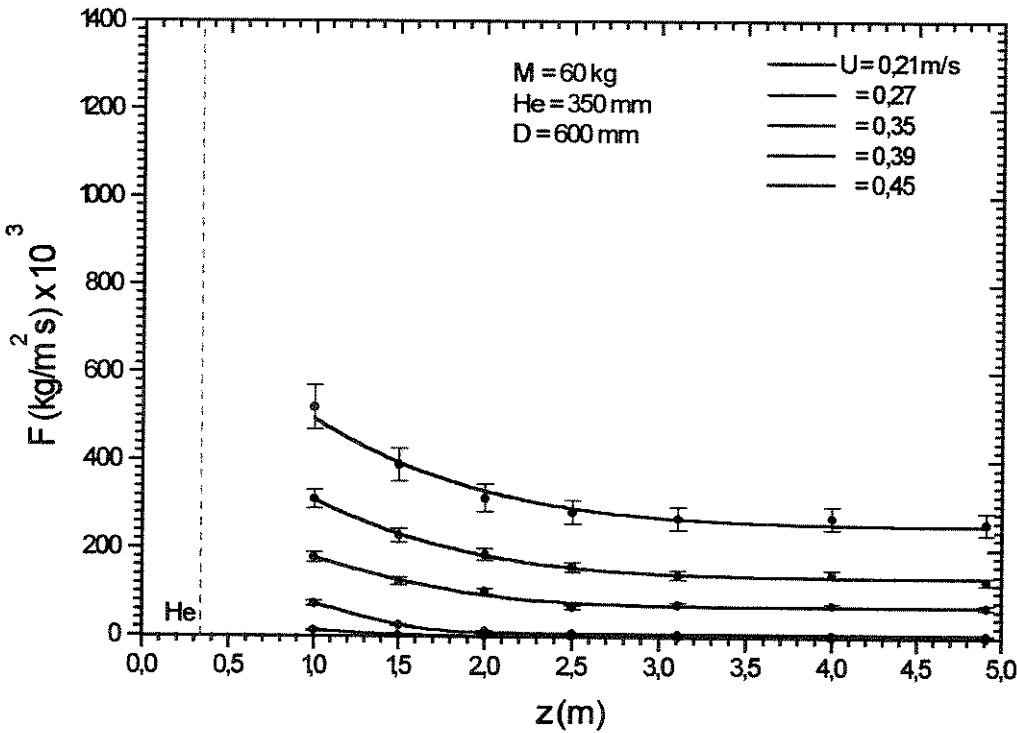


Figura 4.1 Variação do fluxo de arraste total das partículas com a altura da *freeboard*.

A revisão dos trabalhos experimentais sobre arraste de partículas em leitos borbulhantes, conforme o Capítulo 1, mostra que poucos se referem ao FCC. Os resultados disponíveis estão na tabela a seguir.

Tabela 4.2 Dados experimentais de arraste de FCC obtidos na literatura.

Autores	Dimensões do Leito (m)	Temperatura e Pressão	diâmetro médio das partículas (μm)	Velocidade (m/s)	Altura (m)	Fluxo de Arraste ($\text{kg/m}^2\text{s}) \times 10^3$
Zens e Weil (1958)	0,052x0,60	300 K 6,8 atm	60,0	0,30	1,00	134,6
					2,50	72,1
				0,46	1,00	1105,2
					2,50	294,73
Fournol et al. (1973)	0,61	ambientes	58,0	0,22	1,00	9,8
					5,00	4,4
Hatano e Ishida (1983)	0,15	ambientes	75,0	0,15	2,50	2,5
				0,20	2,50	10,0
				0,30	2,50	75,0
				0,40	2,50	250,0
Geldart e Wong (1987)	0,08	ambientes	33,0	0,25	2,50	0,80
				0,38	2,50	43,8
				0,50	2,50	5026,5
Baeyens et al. (1992)	0,0762	ambientes	68,3	0,21	3,0	11,0
				0,30	3,0	60,0
				0,40	3,0	200,0
				0,50	3,0	400,0

Apesar dos valores encontrados para o fluxo de arraste neste trabalho possuírem a mesma ordem de grandeza dos obtidos por outros autores para FCC, comparando as Tabelas 4.1 e 4.2, é possível notar uma influência da pressão média do leito (Zens e Weil, 1958), diretamente proporcional ao fluxo de arraste, e do diâmetro do leito, inversamente proporcional a F (Baeyens et al., 1992). Resultados analíticos evidenciam que a fluidodinâmica da partícula é influenciada pela presença de fronteiras rígidas, que provoca uma redução na velocidade terminal em relação a velocidade terminal da partícula isolada (Francis, 1933; Munroe, 1988; Di Felice, 1996 e Massarani, 1997). Com a redução da velocidade terminal, partículas grosseiras podem comportar-se como finos numa dada velocidade de fluidização, fazendo com que o fluxo de elutriação em leitos pequenos aumente comparado a leitos maiores. Hamdullahpur e Mackay (1986) constataram, através de medições com um LDV, que quanto maior a seção transversal do leito, mais rápido o perfil de velocidade do gás se uniformizaria ao longo da mesma, pois menor seria o efeito de parede. Assim, para leitos pequenos, a velocidade do gás no centro da coluna para posições

mais elevadas na *freeboard* seria maior, ocasionando um maior arraste de partículas e uma elevação da concentração de sólidos ao longo da altura.

Devido ao pequeno tamanho das partículas usadas por Geldart e Wong (1987), ocorreu uma ação dominante das forças coesivas durante a fluidização, ocasionando uma queda do fluxo de arraste, independente do tamanho reduzido do leito - 0,0762 m de D . Porém, para a velocidade de 0,50 m/s, a ação da força gravitacional sobre as partículas do leito volta a prevalecer, tornando o efeito de parede predominante.

A Figura 4.2 relaciona diretamente o fluxo de arraste total com a velocidade superficial de fluidização, considerando as 7 alturas nas quais foram realizadas as medidas experimentais.

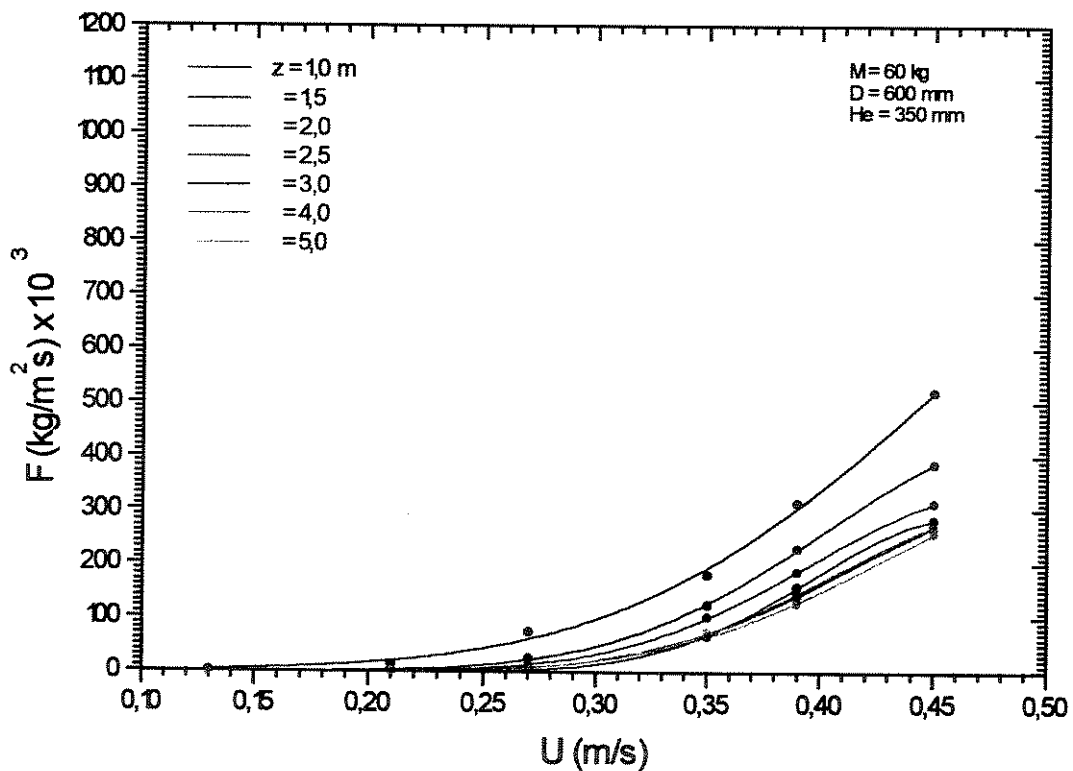


Figura 4.2 Variação do fluxo de arraste total das partículas com a velocidade de fluidização.

Os dados apresentados nas Figuras 4.1 e 4.2 mostram uma variação exponencial do fluxo de arraste total com a altura e com a velocidade superficial de fluidização, a partir de $z = 1,0$ m em relação a placa distribuidora, correlacionados por uma função de ajuste que obedece a uma distribuição normal:

$$F(x) = \frac{A}{B\sqrt{\pi/2}} \exp\left[-\frac{2(x-C)^2}{B^2}\right] + D, \quad (4.1)$$

onde A , B , C e D são parâmetros constantes para cada velocidade de fluidização empregada e x é a variável que representa U ou z .

O decaimento exponencial do fluxo de arraste com a altura e com a velocidade superficial de fluidização também foi observado por Andersson e Leckner (1989) e Choi, Son e Kim (1989), em combustores com LFB de grande porte queimando carvão, e por Horio, Shibata, Kadoguchi e Muchi (1985), em um leito de 0,26 m de D fluidizando esferas de vidro. Para leitos pequenos, Choi, Son e Kim observaram um crescimento logarítmico do fluxo de elutriação com a velocidade de fluidização e Smolders e Baeyens (1997), fluidizando partículas dos grupos A e C, notaram que o fluxo de arraste poderia ser descrito como uma função da velocidade de fluidização elevada a 4ª potência.

Hazlett e Bergougnou (1992), empregando uma cúpula móvel para coletar partículas de areia (0-105 μm), atribuíram o decaimento do fluxo de arraste de sólidos ao longo da altura à formação de aglomerados no leito denso.

Em relação a granulometria das partículas arrastadas ao longo da altura, as Figuras 4.3 trazem a evolução da distribuição granulométrica do material arrastado, obtida via úmida por difração a laser, para cada velocidade de fluidização empregada.

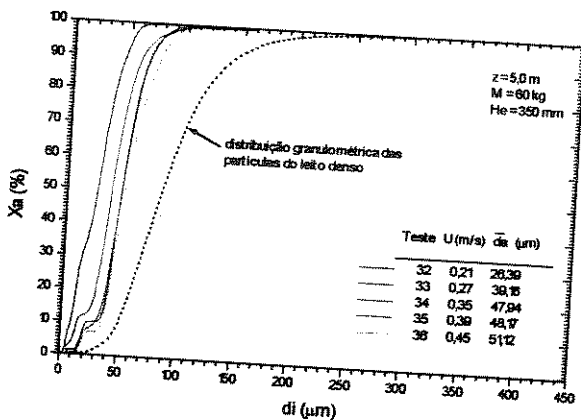
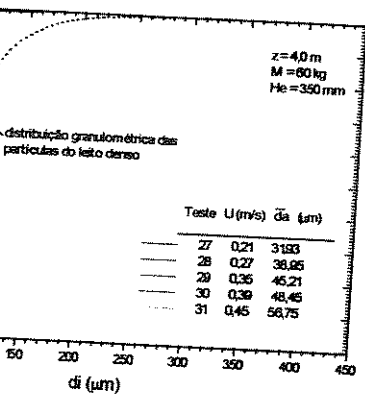
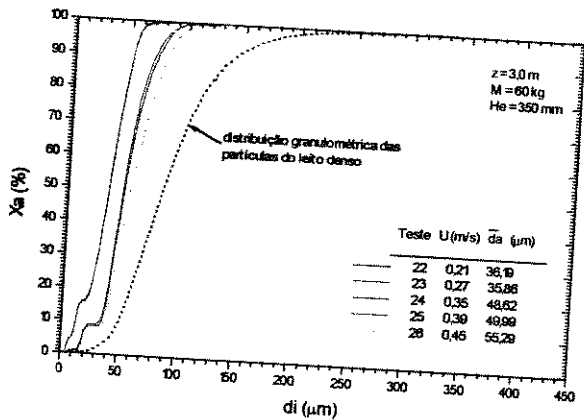
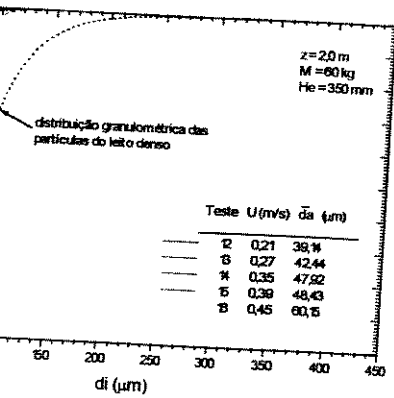
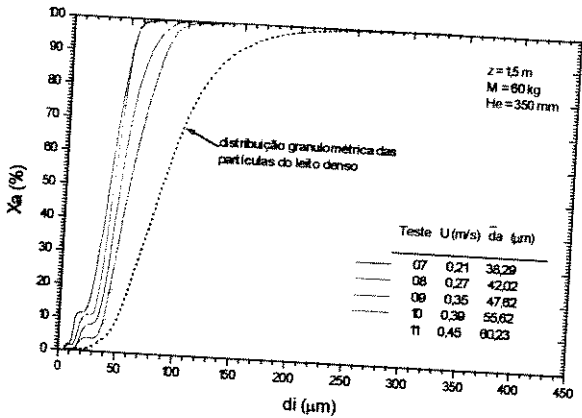
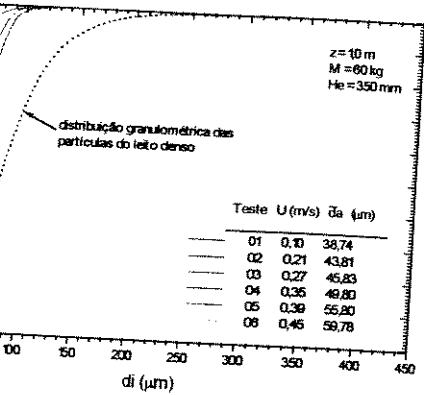
zação,
ão do
nas de

oard é

a.

,45

9,78
0,23
0,15
58,89
55,29
56,75
51,12
46 ± 3,11



olução da distribuição granulométrica das partículas arrastadas ao longo da altura da freeboard.

a freeboard.

Do exame das Figs. 4.1 e 4.4 e da Tabela 4.3, observa-se que o fluxo de arraste sofre uma sensível redução até aproximadamente $z = 2,5$ m, enquanto para o diâmetro médio do material arrastado acontece apenas uma ligeira diminuição ao longo da altura. Isto poderia ser explicado analisando o fenômeno sob a ótica da formação de aglomerados no leito denso, devendo estar ocorrendo um retorno significativo de partículas aglomeradas, até z em torno de 2,5 m, o que não foi observado experimentalmente dada a desintegração das partículas aglomeradas quando coletadas na válvula de amostragem. Assim, a granulometria do material arrastado praticamente se manteria constante já em alturas superiores a 1,0 m.

Os resultados apresentam a mesma tendência que os de Fournol, Bergougnou e Baker (1973), que mediram o fluxo de arraste de partículas de FCC ao longo da *freeboard*, em um LFB com 0,60 m de D , usando uma sonda de sucção isocinética. Dos dados dos autores, observa-se que:

- O fluxo de arraste manteve-se aproximadamente constante somente em alturas superiores a 2,80 m acima da superfície do leito denso, para velocidades de fluidização na faixa de 0,11 a 0,22 m/s, e
- Para a mesma faixa de velocidades, o diâmetro médio geométrico das partículas, coletadas pela sonda, manteve-se aproximadamente constante já a partir de alturas superiores a 0,50 m acima da superfície do leito denso.

Considerando o conceito de TDH, o fluxo de arraste deveria se manter constante a partir de 0,50 m, e não apenas em alturas superiores a 2,80 m. A explicação para este fenômeno é que existem finos aglomerados ainda em ascensão, comportando-se como partículas grosseiras, em alturas superiores a 0,50 m, os quais não seriam detectados pela sonda, pois se desintegrariam quando coletados. A mesma desintegração também teria ocorrido no ciclone e na linha de recirculação de sólidos no LFB empregado neste trabalho.

4.2.2 Efeito do inventário de sólidos no arraste de partículas

Existem controvérsias na literatura sobre a influência do inventário, e portanto da altura do leito denso, sobre o arraste de partículas.

Son, Choi e Lee (1988) observaram que o aumento da altura estática do leito denso, composto por partículas de areia, resultou em um aumento do fluxo de elutriação F_{∞} . Os testes foram realizados em um leito com diâmetro igual a 0,38 m e velocidades de fluidização variando de 0,40 a 3,50 m/s. No entanto, Son, Choi e Kim (1989), variando a altura do leito estático de 0,20 até 1,00 m, não observaram variação no fluxo de elutriação, em dois combustores de 0,3×0,3 m e de 1,01×0,83 m, ambos queimando carvão.

Em experimentos feitos com um combustor de leito fluidizado borbulhante de seção maior, igual a 2,90×3,40 m, Andersson e Leckner (1989), notaram que a granulometria das partículas elutriadas aumentou com o inventário do leito.

O efeito do inventário sobre o fenômeno de arraste é apresentado na Figura 4.5, para o LFB operando com velocidade superficial de fluidização igual a 0,27 m/s e o topo da coluna situado em $z = 1,0$ m. Observa-se que o fluxo de arraste aumenta até uma altura do leito estático em torno de 220 mm, correspondente a um inventário de 55 kg. Para alturas maiores, o fluxo cresce ligeiramente, com um valor médio de $72,00 \pm 5,04$ g/m²s. A este fenômeno corresponderia à existência de um leito raso em alturas inferiores a 220 mm, na qual a intensidade do processo de coalescência e divisão sucessiva das bolhas é crescente com a distância a partir da placa distribuidora, até atingir um valor máximo, relativo ao pico dos cones de bolhas formados devido à movimentação destas na direção do eixo do leito. A partir daí, a dinâmica do processo pouco se alteraria, sugerindo a manutenção de um fluxo aproximadamente constante de partículas ejetadas da superfície do leito. Os testes realizados mostram que o valor de H_0/D que caracteriza o leito raso seria 0,58, que está na faixa de valores proposta por Geldart (1986): $H_0/D < 0,50$.

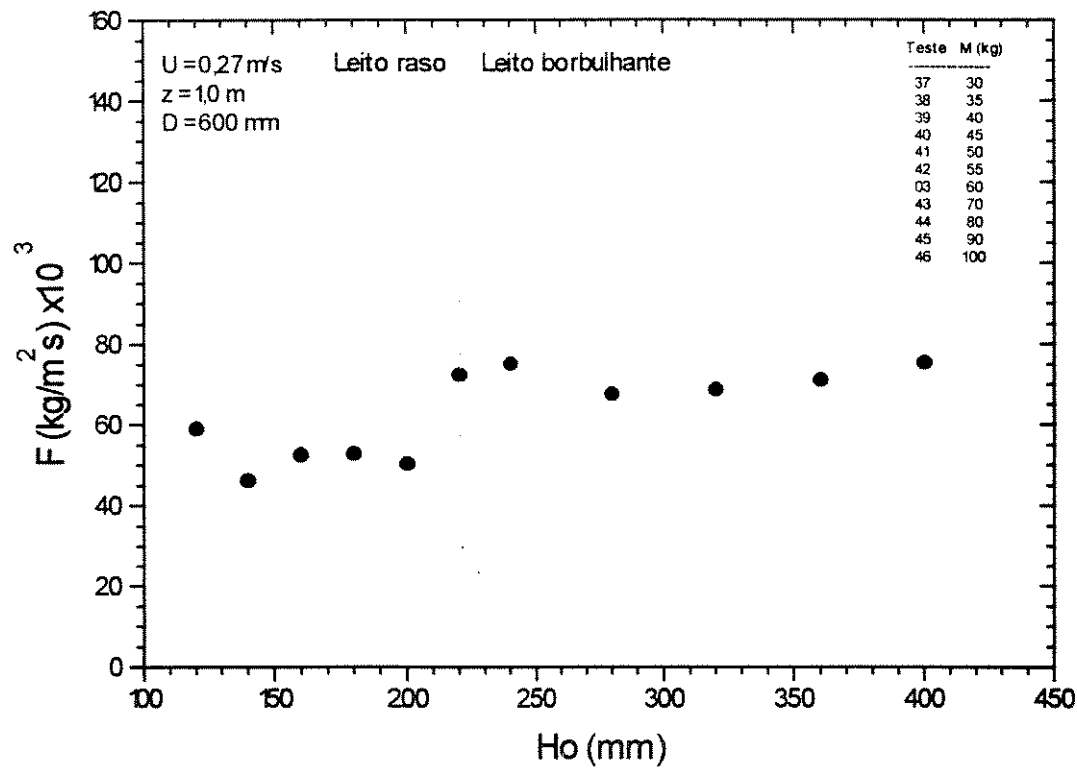


Figura 4.5 Efeito do inventário de sólidos no leito sobre o arraste de partículas.

A Figura 4.6 traz a influência do inventário do leito sobre a granulometria do material arrastado em $z = 1,0 \text{ m}$, determinada via úmida.

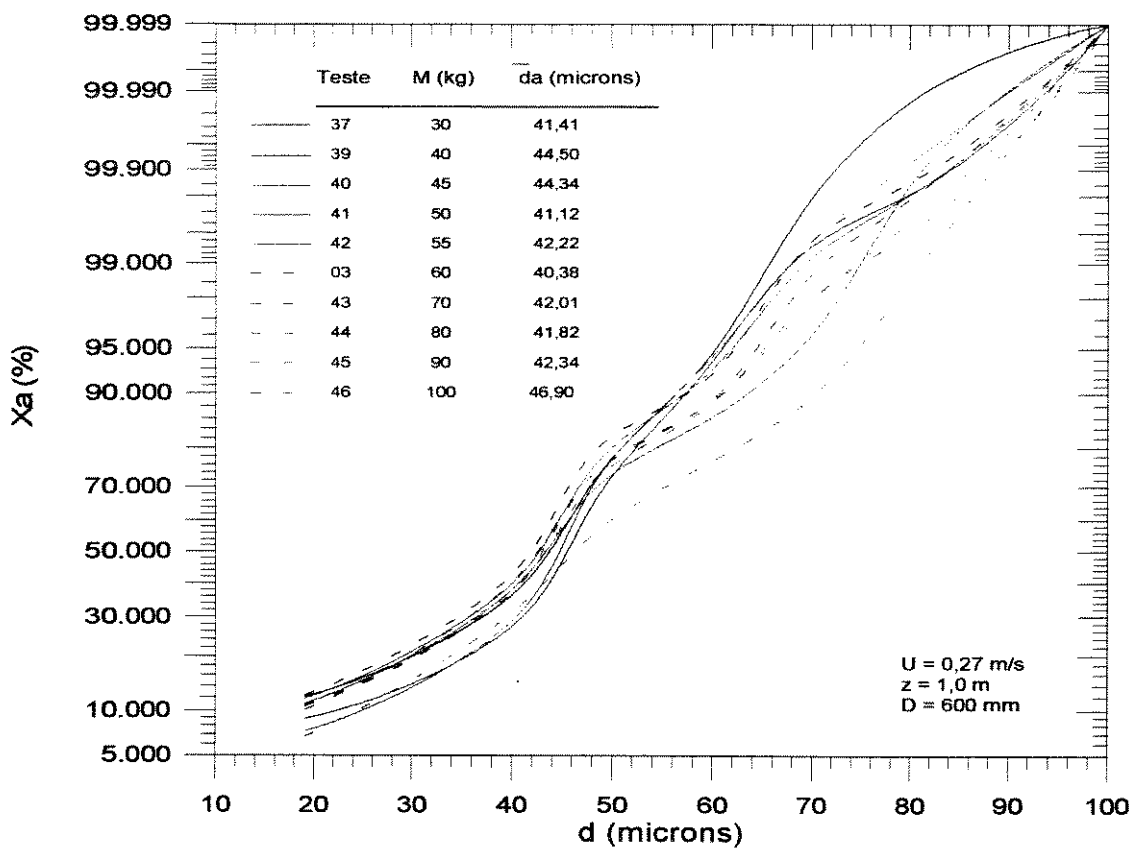


Figura 4.6 Efeito do inventário sobre a granulometria das partículas arrastadas.

Às distribuições granulométricas obtidas corresponde um diâmetro médio igual a 42,70 μm , com desvio-padrão de 1,86 μm . O teste 46, com inventário igual a 100 kg e diâmetro médio das partículas arrastadas de 46,90 μm , mostra uma granulometria relativamente mais grosseira, provavelmente devido à maior expansão do leito e consequente redução da distância entre sua superfície e o topo da coluna. Observa-se, portanto, que a razão H_0/D praticamente não afeta a granulometria das partículas arrastadas, ao variar na faixa de 0,33 a 0,67 nos testes realizados.

4.2.3 Aglomeração de partículas no leito denso

A aglomeração de partículas no leito denso ocorre devido à ação de forças coesivas interparticulares, sendo a força de van der Waals predominante em sistemas fluidizados com

partículas dos grupos A e C (Rietema, Cottaar e Piepers. 1993; Hyre, 1997; e Xu e Yu, 1997).

Conforme descrito na seção 2.1.1 do Capítulo 2, o modelo proposto considera a aglomeração de partículas de até um certo diâmetro crítico d_c . Estas partículas irão sofrer aglomeração segundo uma distribuição log-normal (Bénoni, Briens, Baron e Duchesne, 1994), e os aglomerados serão distribuídos uniformemente em faixas granulométricas com tamanhos entre d_c e um certo tamanho máximo de aglomerado d_{max} . Há controvérsia na literatura quanto ao valor de d_c e nenhuma expressão ou determinação experimental é apresentada para a avaliação de d_{max} . Nesta seção, propõe-se uma metodologia para a estimativa destes parâmetros.

a. Tamanho máximo de partícula sujeito à aglomeração no leito denso

Dos dados experimentais referentes a análise granulométrica apresentados sumariados na Tabela 4.1 e detalhadamente no Anexo D, observa-se que as distribuições obtidas por peneiramento vibratório (via seco) para as partículas do leito denso antes dos testes foram praticamente análogas aquelas determinadas via úmida, por difração a laser. Entretanto, comparando as distribuições granulométricas (d.g.) do leito denso ao final dos testes, obtidas via seco e via úmida, pode-se notar uma granulometria mais grosseira nas distribuições determinadas pelo primeiro método. De acordo com estas duas evidências experimentais, pode-se constatar que:

- Ocorreu aglomeração de partículas no leito denso, e
- O peneiramento vibratório não contribuiu para a formação de aglomerados.

A partir das frações em massa médias para cada tamanho de partícula do leito denso obtidas via peneiramento, antes e após a fluidização, para todos os 46 testes realizados, pode-se construir um gráfico da razão entre a frações em massa inicial e final de cada tamanho de partícula pertencente ao leito denso, x_{i0}/x_{if} , *versus* o diâmetro de partícula d_i . Assim,

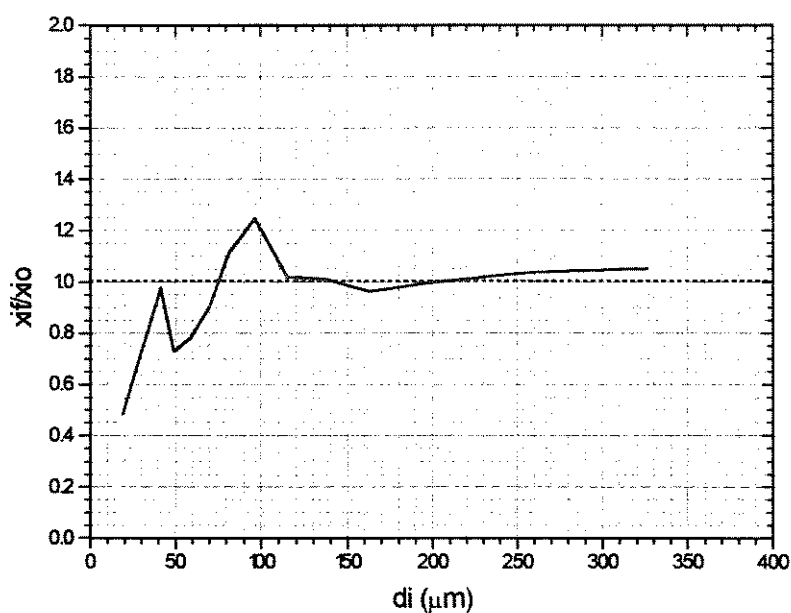
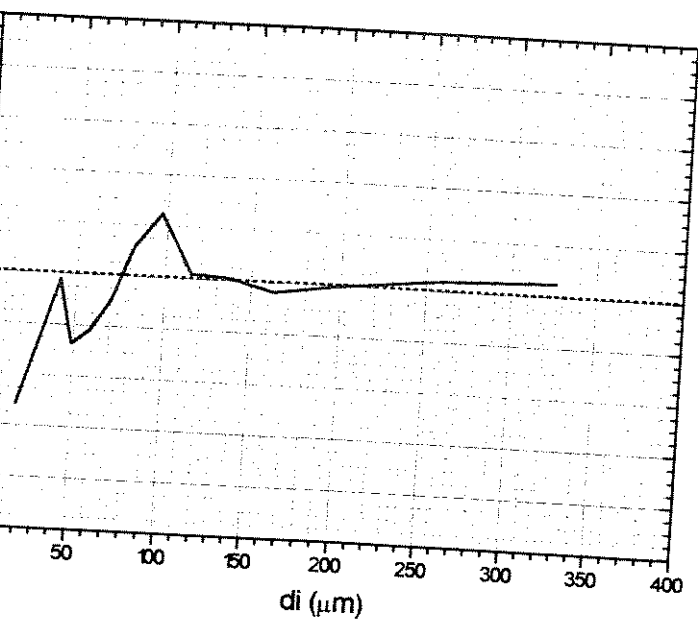


Figura 4.7 Razão entre a distribuição granulométrica média inicial e final do leito denso.

Os resultados obtidos para o fluxo de arraste total ao longo da altura, apresentados na Figura 4.1, indicam que até cerca de 2,5 m de altura na *freeboard*, existe uma quantidade significativa de partículas grosseiras voltando para o leito, com diâmetro maior que 86 μm , que é o tamanho correspondente à velocidade terminal de 0,21 m/s, igual a menor velocidade de fluidização usada nos testes. A d.g. (via úmida) do material arrastado mostra que as partículas com $d_i \geq 86 \mu\text{m}$ representam no máximo 12,8 % da massa total; estas faixas granulométricas, no entanto, devem estar recebendo mais partículas - na forma de aglomerados - do que o mostrado na Figura 4.7, de modo a justificar a diminuição acentuada do fluxo total até valores de z em torno de 2,5 m. Uma explicação provável é a de que partículas aglomeradas devem ter sido desagregadas cessada a fluidização. A Figura 4.7 fornece, portanto, evidência experimental qualitativa da ocorrência de aglomeração de partículas no leito denso. Ela mostra como efeito líquido da ação das forças interparticulares que partículas entre 0 e 75 μm e entre 140 e 190 μm perdem massa devido à aglomeração e o restante dos tamanhos de partícula, incluindo o maior alimentado, recebe massa de aglomerados.



re a distribuição granulométrica média inicial e final do leito denso.

s para o fluxo de arraste total ao longo da altura, apresentados na até cerca de 2,5 m de altura na *freeboard*, existe uma quantidade s grosseiras voltando para o leito, com diâmetro maior que 86 μm , espondente à velocidade terminal de 0,21 m/s, igual a menor usada nos testes. A d.g. (via úmida) do material arrastado mostra $\geq 86 \mu\text{m}$ representam no máximo 12,8 % da massa total; estas o entanto, devem estar recebendo mais partículas - na forma de o mostrado na Figura 4.7, de modo a justificar a diminuição é valores de z em torno de 2,5 m. Uma explicação provável é a de s devem ter sido desagregadas cessada a fluidização. A Figura 4.7 cia experimental qualitativa da ocorrência de aglomeração de la mostra como efeito líquido da ação das forças interparticulares μm e entre 140 e 190 μm perdem massa devido à aglomeração e de partícula, incluindo o maior alimentado, recebe massa de

ria diminuir
enta com o
o é devido à
se todas as
et al. (1992),
cedimento, o



; partículas.

valor de d_c igual a

i que deve se situar o
mo de 50 a 190 μm .
estando-se os valores

extremos e um valor intermediário, $d_c = 130 \mu\text{m}$, correspondente à situação em que as forças interparticulares se equivalem a força gravitacional.

b. Tamanho máximo de partícula aglomerada no leito denso

Na literatura não foram encontradas evidências experimentais ou proposições que forneçam um valor para o diâmetro máximo de aglomerado formado no leito denso.

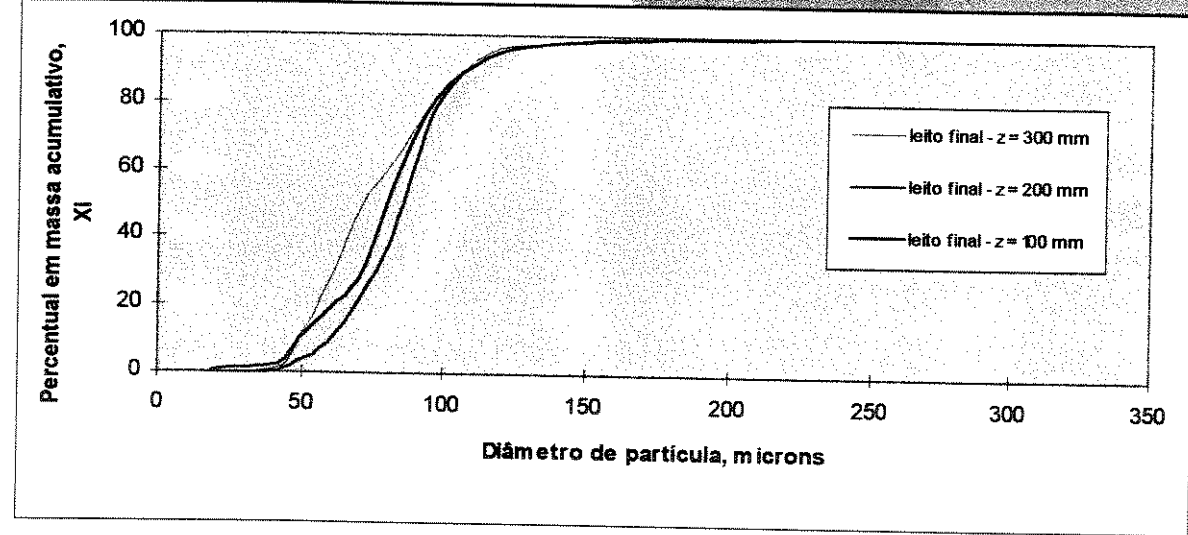
Durante a análise granulométrica via peneiramento das partículas do leito denso ao final dos testes, não foram encontradas partículas retidas na maior abertura de peneira utilizada, de $420 \mu\text{m}$, o que forneceu um primeiro limite superior. Adicionalmente, pode-se observar a partir da Figura 4.7 a ocorrência de aglomerados inclusive do tamanho da maior partícula alimentada. Feitas estas considerações, apesar da observação de que parte dos aglomerados foi desfeita ao final dos testes, admitiu-se o maior tamanho de aglomerado formado $d_{\text{máx}} = 420 \mu\text{m}$.

4.2.4 Segregação de partículas no leito denso

Para verificar experimentalmente a segregação de partículas no leito denso, a fim de verificar a hipótese do modelo de que as partículas estão uniformemente distribuídas no leito denso, foram construídos 3 pontos de retirada de sólidos ao longo da altura do leito denso, situados a 100, 200 e 300 mm da placa distribuidora. Ao final do teste 46, foram coletados sólidos nestes 3 pontos e as amostras foram analisadas granulometricamente via peneiramento, de acordo com a Tabela 4.4.

Tabela 4.4 Distribuição granulométrica ao longo da altura do leito denso - teste 46.

Amostras: teste 46 - leito denso final			Material: FCC			t (min): 10					
m (g) - 100 mm: 64,321			m (g) - 200 mm: 60,847			m (g) - 300 mm: 72,933					
N	Abert. peneiras (μm)	d _i (μm)	m _i (g)			x _i (%)			X _i (%)		
			z (mm)			z (mm)			z (mm)		
			100	200	300	100	200	300	100	200	300
1	< 38	19,0	0,553	0,000	0,083	0,86	0,00	0,11	0,86	0,00	0,11
2	38-45	41,5	0,842	0,189	0,976	1,31	0,31	1,34	2,17	0,31	1,45
3	45-53	49,0	5,076	1,977	5,642	7,89	3,25	7,74	10,06	3,56	9,19
4	53-65	59,0	5,433	3,165	12,476	8,45	5,20	17,11	18,51	8,76	26,29
5	65-75	70,0	6,643	8,270	16,832	10,33	13,59	23,08	28,84	22,35	49,37
6	75-88	81,5	17,069	11,431	9,885	26,54	18,79	13,55	55,37	41,14	62,93
7	88-105	96,5	16,972	23,392	13,345	26,39	38,44	18,30	81,76	79,58	81,22
8	105-125	115,0	7,583	8,428	9,668	11,79	13,85	13,26	93,55	93,43	94,48
9	125-149	137,0	2,583	2,454	2,499	4,02	4,03	3,43	97,56	97,47	97,91
10	149-177	163,0	0,975	0,986	1,007	1,52	1,62	1,38	99,08	99,09	99,29
11	177-210	193,5	0,322	0,299	0,299	0,50	0,49	0,41	99,58	99,58	99,70
12	210-297	253,5	0,160	0,149	0,139	0,25	0,24	0,19	99,83	99,82	99,89
13	297-355	326,0	0,110	0,107	0,082	0,17	0,18	0,11	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):			100 mm: 87,63								
			200 mm: 101,52								
			300 mm: 90,46								
			média: 93,20								
Desvio Padrão (microns):			3,46								



Há um espalhamento dos resultados, não revelando uma tendência. Para um valor médio $\bar{d}_f = 93,20 \mu\text{m}$, o desvio-padrão foi de cerca de $3,46 \mu\text{m}$. Observa-se, comparando este valor médio com o valor $\bar{d}_f = 84,98 \mu\text{m}$ (Tabela 4.1), um indicativo de que a hipótese de distribuição uniforme das partículas no leito é razoável para fins de modelagem.

4.2.5 Geração de partículas finas por atrito

A verificação experimental da redução ou não do tamanho das partículas por atrito abrasivo foi realizada mediante comparação entre as distribuições granulométricas das partículas do leito denso obtidas antes e após a fluidização, empregando-se difração a laser (via úmida) para anular o efeito da aglomeração.

A Tabela 4.5 apresenta granulometrias típicas obtidas por difração a laser durante análise das partículas para o teste 16, por exemplo.

Observa-se que, praticamente, não houve mudança na granulometria do material testado, o FCC de equilíbrio, levando a introdução no modelo da hipótese de atrito abrasivo desprezível.

Tabela 4.5 Distribuição granulométrica do leito denso - inicial e final - teste 16.

Teste 16			
Malvern - difração a laser (via úmida)			
Material:	FCC		
N	d _i (μm)	X _i (%)	
		Inicial	Final
1	5,80	0,2	0,0
2	21,40	0,5	0,1
3	23,10	0,6	0,1
4	24,80	0,7	0,2
5	26,70	0,9	0,5
6	28,70	1,3	0,8
7	30,80	1,7	1,1
8	33,20	2,3	1,5
9	35,70	3,0	2,0
10	38,40	3,7	2,6
11	41,20	4,6	3,4
12	44,40	5,7	4,6
13	47,70	7,2	6,4
14	51,30	9,5	9,0
15	55,20	12,7	12,6
16	59,30	17,0	17,1
17	63,80	22,6	22,5
18	68,60	29,6	28,8
19	73,80	37,5	35,8
20	79,30	46,0	43,4
21	85,30	54,3	51,4
22	91,70	62,1	59,6
23	98,60	69,2	67,5
24	106,00	75,5	74,9
25	114,00	80,8	81,2
26	123,00	85,2	86,3
27	132,00	88,7	90,2
28	142,00	91,5	93,1
29	153,00	93,7	95,3
30	164,00	95,4	96,9
31	176,00	96,7	98,1
32	190,00	97,7	98,9
33	204,00	98,5	99,4
34	219,00	99,0	99,7
35	236,00	99,3	99,9
36	254,00	99,6	99,9
37	273,00	99,7	99,9
38	293,00	99,9	99,9
39	315,00	99,9	99,9
40	339,00	100,0	100,0
Diâmetro médio (μm):		82,09 microns	84,24 microns

4.2.6 TDH - *Transport disengagement height*

Existem vários métodos na literatura que podem ser usados para determinar a TDH. A maioria deles são correlações baseadas em dados experimentais. Alguns poucos modelos tentam avaliar a TDH a partir da determinação da trajetória das partículas.

a. Correlações empíricas

Zens e Othmer (1960) correlacionaram dados para a TDH como uma função da velocidade superficial de fluidização e do diâmetro do leito em um diagrama. De acordo com os autores, leitos com diâmetros maiores requerem TDH mais altas, supostamente devido ao transporte turbulento de partículas finas para a parede do leito, as quais retornam ao leito denso através de um filme descendente aderido a parede. Em 1983, Zens propôs um novo diagrama, substituindo o diâmetro do leito pelo diâmetro médio das bolhas em erupção na superfície do leito.

Amitin, Matyushin e Gurevitch (1968) e Fournol, Bergougnou e Baker (1973) propuseram correlações dependentes apenas da velocidade superficial de fluidização. Na expressão proposta por Frantz e Juhl (1972), a TDH passou a ser função também do diâmetro do leito, das propriedades físicas do gás e do diâmetro médio das partículas.

b. TDH determinada a partir da trajetória das partículas

A primeira abordagem teórica para cálculo da TDH foi desenvolvida analiticamente por Zens e Weil (1958), através do cálculo da trajetória de uma partícula grosseira isolada ou de um aglomerado, empregando um coeficiente de arraste válido apenas no regime laminar e supondo que a velocidade de ejeção das partículas fosse igual a velocidade média das bolhas na superfície do leito. Assim, eles determinaram uma expressão analítica para a altura máxima que uma determinada partícula grosseira poderia atingir, definida como a

TDH para este tamanho de partícula. Do, Grace e Clift (1972) propuseram uma expressão mais realística para a força de arraste empregada no modelo de Zens e Weil para prever a altura máxima que uma determinada partícula atinge, admitindo ainda que a velocidade de ejeção das partículas é cerca de duas vezes a velocidade da maior bolha na superfície do leito.

Baron, Briens e Bergougnou (1988) sugeriram que as partículas ejetadas a partir da superfície do leito denso se comportariam como um conjunto de partículas agrupadas - *cluster*, ao invés de se comportarem como partículas individuais. Esta observação também foi sustentada por Morooka, Kawazuishi e Kato (1980) e Hatano, Okuma e Ishida (1984). Segundo os autores, a formação destes *clusters* poderia explicar porque em alguns resultados experimentais partículas grosseiras foram encontradas em alturas elevadas na *freeboard*. De acordo com o modelo, o tamanho dos *clusters* ejetados seria de 10 vezes o diâmetro médio da partícula no leito denso a 0,464 vezes o diâmetro da bolha, sendo este último baseado na hipótese de que 40% do material contido na esteira das bolhas seria ejetado na superfície do leito (George e Grace, 1978). Aplicando um balanço de forças ao *cluster* e considerando a velocidade de ejeção duas vezes superior a velocidade da bolha na superfície do leito, os autores encontraram a máxima altura atingida pelo *cluster* (TDH) em função da velocidade de fluidização elevada a 2ª potência.

2. Cálculo da TDH a partir de modelos de difusão turbulenta

A difusão turbulenta resulta das irregularidades no perfil de velocidade do gás induzidas na *freeboard* pela erupção das bolhas, que podem ser consideradas como jatos de gás intermitentes. Admitindo que a TDH será atingida somente quando o perfil de velocidade do gás se uniformizar, vários autores tem derivado expressões para a TDH a partir de modelos de difusão turbulenta, considerando que o movimento das partículas é controlado pela difusão turbulenta radial a partir da região central do leito para a região da parede, aonde as partículas retornariam para o leito (George e Grace, 1978; Horio, Taki,

Hsieh e Muchi, 1980; Pemberton e Davidson, 1986; Hamdullahpur e Mackay, 1986; Sciasko, Raczek e Bandrowski, 1988; e Fung e Hamdullahpur, 1993a).

A Tabela 4.6 sumaria as expressões derivadas para a TDH.

Tabela 4.6 Expressões para a TDH encontradas na literatura.

Referência	Correlação	Descrição e faixa de aplicação
Zens e Weil (1958)	gráfica	modelo baseado na trajetória das partículas
Zens e Othmer (1960)	$TDH_i = \frac{\rho_p d_i^2}{28,1\mu} \left[U_{po} + U_m \ln \left(1 - \frac{U_{po}}{U_m} \right) \right]$ $U_m = U - 1,15\rho_p \frac{d_i^2}{\mu} \quad \text{e} \quad U_{po} = U_B$	diagrama empírico de TDH em função de U e D
Amitin, Matyushin e Gurevitch (1968)	$TDH = 0,85U^{1,2} (7,33 - 1,2 \log U)$	correlação empírica
Do, Grace e Clift (1972)	$TDH_i = \frac{\rho_p d_i^2 U_{po}}{28,1\mu} \left[1 - \frac{1}{V} \ln(1 + V) \right]$ $V = \frac{U_{po}}{U_{ti} - U} \quad \text{e} \quad U_{po} = 2,0U_B$	modelo baseado na trajetória das partículas
Frantz e Juhl (1972)	$TDH_i = 8,410^{-4} d_i \rho^{0,33} \mu^{0,29} D^{0,16} U^{D^{-0,13}}$ (sistema inglês de unidades)	correlação empírica
Fournol, Bergougnou e Baker (1973)	$TDH = 1000 \frac{U^2}{g}$	correlação empírica $0,002 \leq Fr_D \leq 0,008$
George e Grace (1978)	$TDH = 18,2d_B$	modelo de difusão turbulenta $0,011 \leq Fr_D \leq 0,46$
Horio, Taki, Hsieh e Muchi (1980)	$TDH = 4,47d_B^{0,5}$	modelo de difusão turbulenta $0,038 \leq Fr_D \leq 0,153$
Wen e Chen (1982)	$TDH = \frac{1}{4} \log_e \left(\frac{F_o - F_\infty}{0,01F_\infty} \right)$ $\frac{F_o}{A_L d_B} = 3,07 \times 10^{-9} \frac{\rho^{3,5} g^{0,5}}{\mu^{2,5}} (U - U_{mf})^{2,5}$ $\frac{F_\infty}{\rho U} = 23,7 \exp \left(-5,4 \frac{U_t}{U} \right)$	correlação empírica $4,94 \times 10^{-4} \leq Fr_D \leq 299,5$

Continua

Referência	Correlação	Descrição e faixa de aplicação
Zens (1983)	gráfica	diagrama empírico de TDH em função de d_B e D $0,015 \leq Fr_D \leq 0,087$
Pemberton e Davidson (1986)	$TDH(F) = \frac{4,605}{\beta}$ $\beta = 230d_B^{-0,45} \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$	modelo de difusão turbulenta $0,007 \leq Fr_D \leq 0,085$
Hamdullahpur e MacKay (1986)	$TDH(F) = 12d_B$	modelo de difusão turbulenta $0,005 \leq Fr_D \leq 0,137$
Baron, Briens e Bergougnou (1988)	$TDH(F) = 0,22U_B^2$	modelo baseado na trajetória das partículas $0,004 \leq Fr_D \leq 0,015$
Sciazko, Raczek e Bandrowski (1988)	$TDH(F) = 3,1d_B \ln\left(\frac{U_B - U}{U - 1,8U_{mf}}\right)$	modelo de difusão turbulenta
Fung e Hamdullahpur (1993a)	$TDH(F) = 13,8d_B$	modelo de difusão turbulenta $0,051 \leq Fr_D \leq 0,205$

d. Determinação experimental da TDH

Conforme Geldart, Xue e Xie (1995), o método comumente empregado para determinar a TDH tem sido medir o fluxo de arraste de partículas em um LFB operando em batelada, com ou sem recirculação de finos, em várias velocidades de fluidização, variando a altura do topo da coluna. Observação visual também tem sido usada. Sciazko et al. (1991) determinaram a TDH visualmente para partículas grosseiras como sendo a altura acima da qual nenhuma partícula em movimento descendente é observada.

Fournol et al. (1973) desenvolveram um método *on-line* para medir a TDH, empregando uma técnica de amostragem local de partículas através do uso de uma sonda de sucção isocinética, adotando a velocidade de sucção igual a velocidade superficial do gás.

Fung e Hamdullahpur (1993a), para comparar sua expressão teórica para TDH com valores experimentais obtidos em um LFB operando com partículas de areia, admitiram que a TDH seria atingida quando a variação do fluxo de arraste experimental com a altura da

freeboard se tornasse pequena, no caso menor do que um valor adotado de 0,1 g/(m²s) por metro.

Geldart et al. (1995) obtiveram a TDH em um LFB de 0,29 m de diâmetro operando com partículas de FCC a partir da curva do gradiente de pressão na coluna ao longo da altura, para velocidades superficiais de fluidização variando de 0,1 a 1,2 m/s. Os valores da TDH encontrados foram previstos satisfatoriamente pelas expressões de Zens (1983) e Baron et al. (1988), situando-se entre 0,15 e 1,5 m.

Neste trabalho, a TDH é avaliada experimentalmente a partir das curvas obtidas da derivação do fluxo de sólidos arrastados em função da altura, $dF(z)/dz$, aplicando um procedimento similar ao proposto por Fung e Hamdullahpur, i.e.,

$$\frac{dF(z)}{dz} \leq -a \quad [g/(m^2s)]/m \quad (4.2)$$

sendo a o valor obtido para a incerteza experimental média (Anexo A) em cada velocidade de fluidização. Desta forma, a TDH será atingida somente quando o gradiente do fluxo de arraste com a altura for igual ou menor a incerteza média obtida para cada velocidade de fluidização:

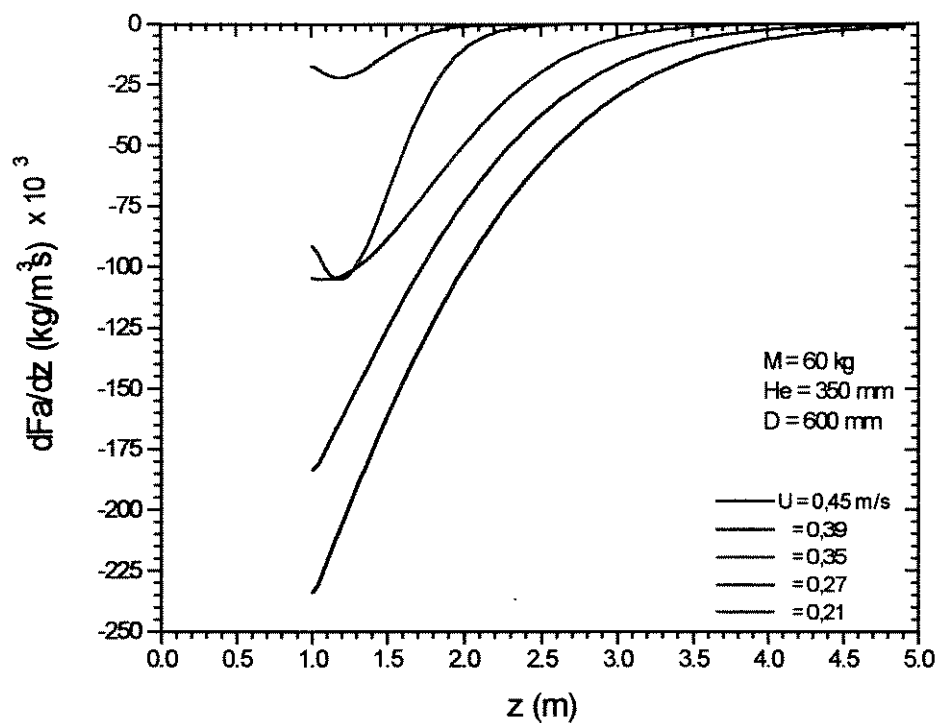


Figura 4.9 Gradiente do fluxo de arraste total *versus* altura da *freeboard*.

Assim, da Figura 4.9, o valor de TDH determinado para cada velocidade de fluidização é dado por:

Tabela 4.7 Valores experimentais da TDH.		
U (m/s)	α (g/m ³ s)	TDH (m)
0,21	0,43	2,08
0,27	1,45	2,32
0,35	6,31	2,94
0,39	13,23	3,13
0,45	32,27	2,97

Para comparar os valores encontrados com os obtidos através das principais expressões apresentadas na Tabela 4.6, aplicadas nas condições operacionais deste trabalho, foi construído o seguinte gráfico:

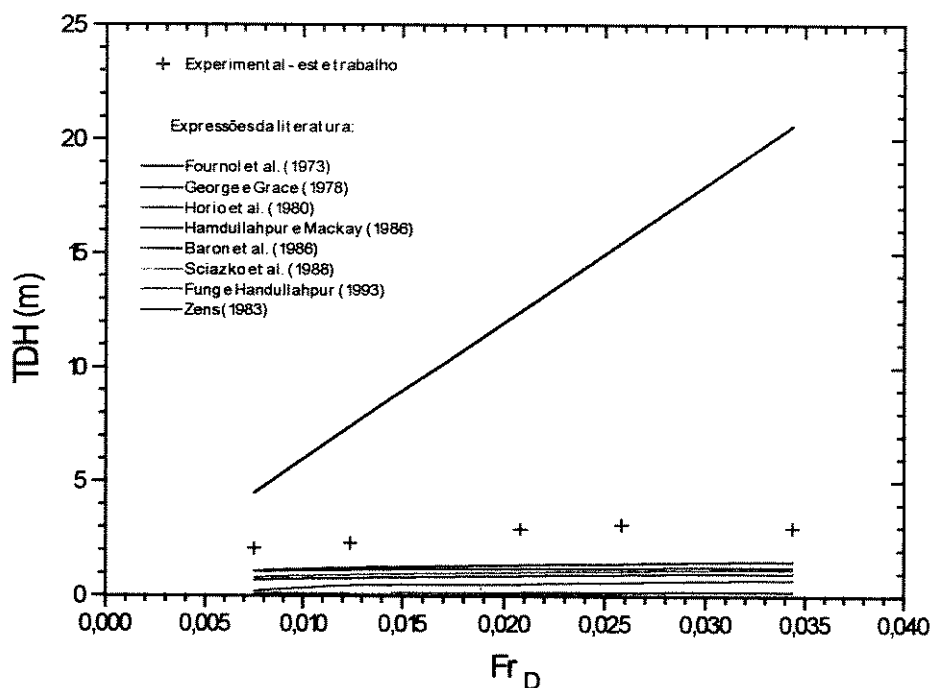


Figura 4.10 Comparação entre a TDH obtida experimentalmente e pelas expressões encontradas na literatura.

Observa-se que nenhuma correlação para a TDH previu razoavelmente os dados experimentais, obtidos a partir da Eq. (4.2). A expressão proposta por Fournol et al. (1973), única na literatura para leitos de grande porte fluidizando FCC, mostrou-se conservadora, característica observada também por Geldart (1986), não ajustando de forma satisfatória os dados experimentais deste trabalho. Desta forma, uma nova correlação é proposta baseada no número de Froude do leito, Fr_D , visto que este parâmetro é um dos grupos adimensionais necessários para garantir a semelhança fluidodinâmica entre dois leitos borbulhantes:

$$TDH = 1,925 + 37,834Fr_D \quad (4.3)$$

onde $Fr_D = \frac{U^2}{gD}$, com um coeficiente de correlação igual a 0,88.

4.2.7 Coalescência de bolhas

Conforme foi visto na seção 2.1.1, o ângulo limite no qual as bolhas coalescem na superfície do leito, α_c , é um parâmetro relevante na determinação do fluxo de ejeção de partículas devido à erupção das bolhas. Na literatura, existe divergência quanto ao seu valor, tendo sido observado experimentalmente que ele poderia variar de 2,5 a 53,1° e que seria diretamente proporcional à razão U/U_{mf} (Yates, Wu e Cheesman, 1997).

Neste trabalho, adotou-se o mesmo procedimento empregado por Briens, Bergougnou e Baron (1988) para a determinação do ângulo α_c , que consiste em admitir tentativamente valores para o ângulo de modo que os fluxos de ejeção de partículas calculados pela Eq. (2.28), tenham o mesmo valor que os obtidos pela extrapolação dos dados experimentais do arraste até a superfície do leito. Entretanto, de acordo com a função utilizada para ajustar os pontos experimentais, a extrapolação pode fornecer valores distintos. Assim, testou-se três funções de ajuste: exponencial e polinomiais de 2ª e 4ª ordens, todas com coeficiente de correlação superior a 0,80. Os valores determinados por extrapolação dos pontos experimentais para o fluxo de ejeção são apresentados na Tabela 4.8, para cada velocidade de fluidização:

Tabela 4.8 Fluxos de ejeção de partículas obtidos por extrapolação.

Funções de ajuste	U (m/s)				
	0,21	0,27	0,35	0,39	0,45
	F_o (kg/m ² s × 10 ³)				
Exponencial	28,68	157,85	185,41	454,97	836,52
Polinomial - 2º grau	17,39	97,90	229,18	382,86	621,48
Polinomial - 4º grau	40,94	207,00	273,14	470,87	814,49
Desvio máx., %	57,52	52,70	34,92	18,69	25,71

Impondo valores para α_c de modo que fluxo de ejeção teórico se iguale aos valores extrapolados pelas funções de ajuste, determinam-se três correlações para α_c em função de U/U_{mf} , de acordo com o gráfico:

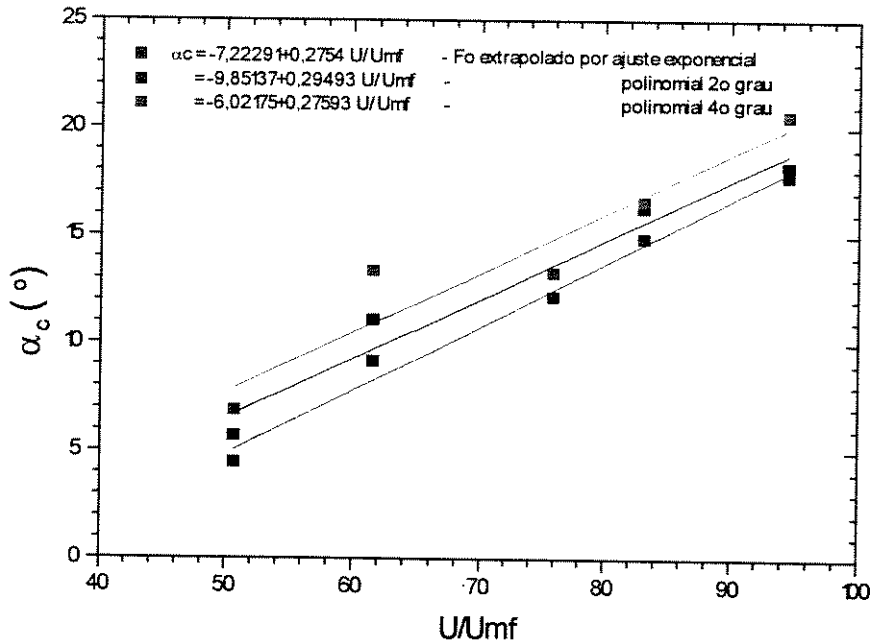


Figura 4.11 Ângulos limite para a coalescência de bolhas obtidos a partir do fluxo de ejeção de partículas na superfície do leito.

onde o ângulo α_c pode ser relacionado com a razão U/U_{mf} com valores situados entre 4 e 21°, dentro dos valores experimentais encontrados por Yates, Wu e Cheesman (1997).

As três correlações obtidas para o ângulo limite α_c foram testadas no modelo, permitindo o cálculo do fluxo de arraste com a altura.

4.2.8 Velocidade de ejeção das partículas

Devido à discordância entre as correlações disponíveis para a velocidade de ejeção das partículas, como foi visto no item 2.1.2.a, seu cálculo foi feito neste trabalho como sendo o da velocidade necessária para que a maior partícula presente no leito atinja a TDH. Como visto anteriormente nas seções 4.2.3 e 4.2.6, considerou-se que:

- Diâmetro máximo dos aglomerados de partículas no leito denso, d_{max} é igual ao maior tamanho de partícula alimentada no leito;

- TDH variando com a velocidade superficial de fluidização, conforme Eq. (4.3).

Empregando o balanço de forças descrito no modelo e resolvendo a equação através do método de Runge-Kutta de 4º ordem, obtém-se o valor para a velocidade máxima de ejeção das partículas na *freeboard* para cada velocidade de fluidização e, conseqüentemente, para cada velocidade média das bolhas na superfície do leito:

Tabela 4.9 Valores obtidos para a velocidade máxima de ejeção das partículas.

U_B (m/s)	U (m/s)	U_{pomax} (m/s)
0,66	0,21	30
0,75	0,27	36
0,85	0,35	48
0,91	0,39	55
0,98	0,45	55

Correlacionando os valores, obtém-se a expressão:

$$U_{pomax} = 54,59U_B \quad (4.4)$$

com um coeficiente de correlação igual a 0,99. Na literatura, o máximo valor foi proposto por Choi, Son e Kim (1989), variando de 20 a 100 m/s para U_B situada entre 0,5 e 2,5 m/s, conforme Tabela 2.1, seção 2.1.2.a.

A Eq. (4.4) permite determinar a distribuição de velocidades de ejeção para cada tamanho de partícula grosseira presente no leito denso, de acordo com a Eq. (2.25).

4.3 Apresentação e Discussão dos Resultados do Modelo

Neste capítulo, analisa-se os resultados obtidos pelo modelo, comparando-os a dados da literatura, aos resultados experimentais desta tese e aos resultados do modelo proposto por Fung e Hamdullahpur (1993, 1993a).

4.3.1 Verificação do modelo com dados da literatura

São apresentados alguns resultados obtidos através do método de cálculo proposto, aplicado ao sistema experimental a frio de Fournol, Bergougnou e Baker (1973), os quais utilizaram FCC em um leito fluidizado borbulhante de 0,60 m de diâmetro. Os autores obtiveram, através de medidas com uma sonda de sucção isocinética, o fluxo de arraste total, $F(z)$, e o diâmetro médio das partículas arrastadas ao longo da altura.

Convém ressaltar que não há na literatura, até o presente, dados experimentais referentes a distribuição granulométrica das partículas de FCC arrastadas ao longo da *freeboard* em leitos borbulhantes de grande porte que possam ser usados na comparação com os resultados do método de cálculo.

a. Especificação

Os dados do sistema experimental de Fournol et al., compreendendo a geometria do leito e as propriedades do ar de fluidização e das partículas de FCC são:

• Geometria do leito:

- .Diâmetro interno, D : 0,60 m
- .Altura total, H : 7,92 m
- .Tipo de placa distribuidora de ar: perfurada
- .Número de furos verticais na placa, n_f : 137

- **Características operacionais:**

- .Temperatura e pressão do leito, T e P : 42 °C e 1 atm
- .Velocidades superficiais de fluidização, U : 0.11 a 0.22 m/s
- .Inventário do leito, M : 100 kg
- .Regime de operação: batelada, com recirculação de finos.

- **Propriedades das partículas:**

- .Material particulado: FCC fresco
- .Diâmetro médio das partículas, $\bar{d}$: 58 μm
- .Desvio-padrão geométrico da distribuição granulométrica das partículas, σ_s : 1,35
- .Número de faixas granulométricas, N : 16

Alguns parâmetros de entrada não foram divulgados por Fournol et al. (1973), tais como:

- .Altura estática do leito;
- .Densidade aparente da partícula;
- .Densidade *bulk* dos sólidos;
- .Esfericidade da partícula, e
- .Distribuição granulométrica.

Para efeito da verificação, a altura estática do leito foi estimada através da área da seção transversal do leito, do inventário do leito e da densidade *bulk* dos sólidos, admitida como 860 kg/m³, típica para FCC, resultando 0,40 m. Para a densidade aparente e a esfericidade das partículas foram adotados valores usualmente empregados para FCC, a saber, 1340 kg/m³ e 0,90, respectivamente. Como o trabalho de Fournol et al. não forneceu a distribuição granulométrica, foram testadas quatro distribuições com diâmetro médio e desvio-padrão iguais aos de Fournol et al., para verificar sua influência no fluxo de arraste total, $F(z)$, ao longo da altura da *freeboard*, z . Tais distribuições são dadas na Tabela 4.10.

Tabela 4.10 Distribuições granulométricas propostas para o FCC alimentado
 $\bar{d} = 58 \mu\text{m}$ e $\sigma_s = 1,35$.

A1		A2		A3		A4	
$d_i (\mu\text{m})$	$X_{oi} (\%)$	$d_i (\mu\text{m})$	$X_{oi} (\%)$	$d_i (\mu\text{m})$	$X_{oi} (\%)$	$d_i (\mu\text{m})$	$X_{oi} (\%)$
10.00	0.44	6.30	0.20	15.00	0.50	16.00	0.03
20.00	1.30	10.60	0.69	19.00	1.00	20.00	0.10
25.00	3.10	12.40	1.54	23.00	1.50	22.00	0.50
30.00	7.00	14.80	3.56	28.00	2.50	33.00	1.10
35.00	14.00	20.50	5.50	33.00	4.00	36.90	2.50
45.00	16.00	26.80	5.92	35.00	5.00	38.00	4.00
50.00	39.90	31.00	7.67	38.00	6.50	41.00	5.30
60.00	50.00	39.63	15.90	40.00	15.90	48.40	10.00
76.00	69.70	53.50	50.00	49.00	25.00	53.20	12.30
90.00	78.90	68.50	61.80	54.00	50.00	68.15	15.90
98.00	86.40	89.00	81.11	60.00	55.00	80.60	30.00
110.00	92.60	127.00	97.42	140.00	60.00	88.00	43.40
125.00	96.10	200.00	99.13	170.00	70.00	92.00	50.00
150.00	98.30	520.00	99.48	190.00	80.00	190.00	65.00
180.00	99.60	630.00	99.99	220.00	98.00	230.00	78.00
220.00	100.00	825.00	100.00	320.00	100.00	270.00	100.00

Aplicando estas distribuições como parâmetro de entrada no modelo para verificar sua influência no perfil do fluxo de arraste total com a altura, observou-se que a sua variação, mesmo mantendo os parâmetros $\bar{d}$ e σ_s constantes, causou mudanças significativas no perfil do fluxo de arraste com a altura, conforme mostra a Figura 4.12.

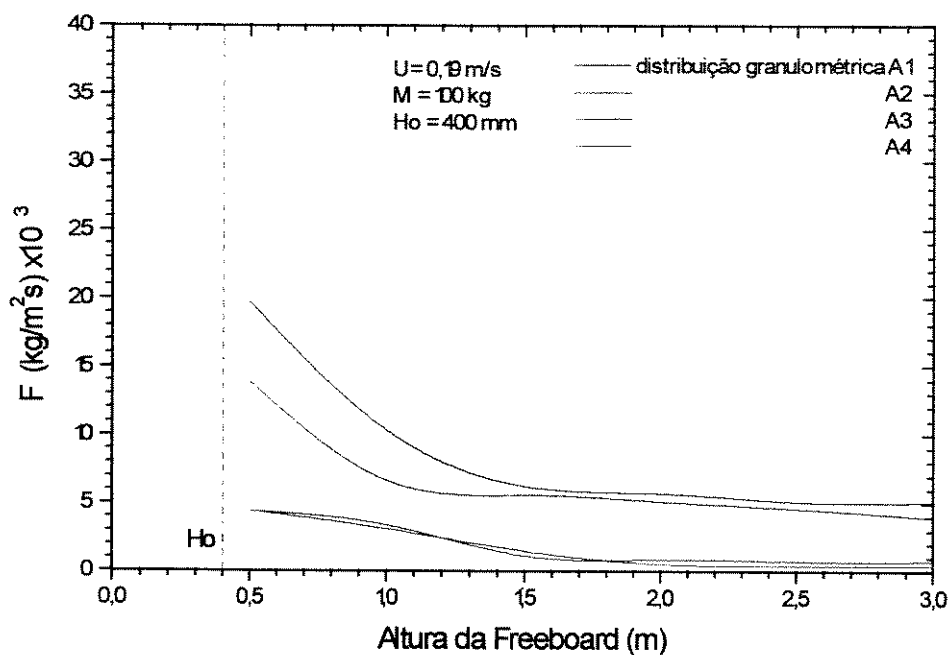


Figura 4.12 Variação do fluxo de arraste com a granulometria das partículas alimentadas.

Como não se tem a distribuição granulométrica do FCC alimentado, a aplicação do modelo aos dados de Fournol et al. é usada apenas como um teste preliminar da sensibilidade do modelo. Será utilizada para tanto a distribuição granulométrica A2, próxima à encontrada em regeneradores industriais.

b. Fluxo de arraste

Seguem os cálculos dos vários parâmetros que permitem estimar o fluxo de arraste pela aplicação do modelo proposto.

• Velocidade terminal das partículas de tamanho d_i , U_{t_i}

A velocidade terminal de cada tamanho de partícula foi calculada por meio da Eq. (2.32), considerando a partícula em queda livre e U igual a zero. Os resultados são apresentados na Tabela 4.11.

Tabela 4.11 Velocidade terminal para cada tamanho de partícula.

d_i (μm)	U_{ti} (m/s)
6.30	0.0012
10.60	0.0035
12.40	0.0047
14.80	0.0067
20.50	0.0127
26.80	0.0213
31.00	0.0282
39.63	0.0450
53.50	0.0782
68.50	0.1216
89.00	0.1904
127.00	0.2337
200.00	0.6548
520.00	1.9931
630.00	2.3487
825.00	2.8517

- **Distribuição granulométrica efetiva das partículas do leito denso levando em conta o efeito da aglomeração**

A distribuição granulométrica efetiva das partículas de FCC no leito denso, considerando o processo de aglomeração em regime permanente, foi determinada a partir das Eqs. (2.1) a (2.4), com $d_c = 130 \mu\text{m}$. Para a distribuição da massa dos aglomerados formados, foram testadas quatro tipos de distribuição: uniforme, normal, log-normal e exponencial. Estas distribuições foram acopladas ao método de cálculo e não influenciaram de modo significativo os resultados obtidos para $F(z)$ ao longo da *freeboard*. Assim, conforme mencionado, será adotada, por simplicidade, a distribuição uniforme de aglomerados.

A Tabela 4.12 fornece a distribuição granulométrica efetiva das partículas do leito.

Tabela 4.12 Distribuição granulométrica efetiva das partículas do leito.

d_i	X_i
(μm)	(%)
6.3	0.0
10.6	0.1
12.4	0.2
14.8	0.6
20.5	1.3
26.8	1.7
31.0	2.6
39.6	6.4
53.5	24.8
68.5	35.4
89.0	53.2
127.0	74.6
200.0	80.9
520.0	85.8
630.0	90.9
825.0	100.0

• Velocidade mínima de fluidização, U_{mf}

A velocidade de mínima fluidização foi calculada pelas Eqs. (2.4) e (2.5), resultando em U_{mf} igual a 0,0075 m/s, cerca de duas vezes menor do que o obtido experimentalmente por Fournol, Bergougnou e Baker (1973), de 0,0152 m/s. A Tabela 4.13 apresenta os valores calculados para cada tamanho de partícula, U_{mfi} .

Tabela 4.13 Velocidade mínima de fluidização para cada tamanho de partícula no leito.

d_i (μm)	U_{mfi} (m/s) $\times 10^5$
6,30	3,52
10,60	8,98
12,40	11,9
14,80	16,4
20,50	29,4
26,80	47,7
31,00	62,0
39,63	96,4
53,50	165
68,50	258
89,00	414
127,00	685
200,00	1690
520,00	10900
630,00	15400
825,00	24200

• **Diâmetro médio das bolhas na superfície do leito, $\bar{d}_B$**

O diâmetro médio das bolhas na superfície do leito denso foi calculado através das Eqs. (2.7), (2.9) e (2.10) para cada velocidade superficial de fluidização empregada, conforme Tabela 4.14.

Tabela 4.14 Diâmetro médio das bolhas na superfície do leito denso.

$U \text{ (m/s)}$	$\bar{d}_B \text{ (m)} \times 10^2$
0,11	3,60
0,14	4,00
0,16	4,24
0,17	4,36
0,19	4,58
0,22	4,89

Estes valores estão coerentes com os medidos por Geldart e Xie (1992) e Xie (1993) empregando sensores de pressão, os quais mostraram um tamanho estável de bolhas em torno de 0,04 m, para partículas de FCC de diâmetro médio variando de 26 a 60 μm . Hatano e Ishida (1983) mediram tamanho de bolhas da ordem de 0,06 m para partículas de FCC com diâmetro médio igual a 75 μm e velocidades de fluidização até 0,3 m/s.

• **Velocidade média de ascensão das bolhas, U_B**

A velocidade média de ascensão das bolhas foi calculada, para cada valor de U utilizado, pela Eq. (2.11). Os resultados são mostrados na Tabela 4.15.

Tabela 4.15 Velocidade média de ascensão das bolhas na superfície do leito denso.

$U \text{ (m/s)}$	$U_B \text{ (m/s)}$
0,11	0,53
0,14	0,58
0,16	0,61
0,17	0,63
0,19	0,66
0,22	0,71

Hatano e Ishida (1983) observaram experimentalmente uma velocidade média de ascensão das bolhas próxima às calculadas anteriormente, igual a 0,65 m/s, para testes em um LFB de 0,15 m de diâmetro e velocidades de fluidização variando de 0,10 a 0,50 m/s.

- **Altura do leito denso expandido, H_e**

A altura do leito denso expandido foi calculada para cada velocidade de fluidização empregada, através da Eq. (2.16). Os valores encontrados situam-se entre $1,25H_o$ e $1,43H_o$. Esses valores, apresentados na Tabela 4.16, estão na ordem de grandeza observada experimentalmente no regenerador da Unidade Multipropósito de FCC U-144 (1995), situada na SIX/PETROBRÁS - São Mateus do Sul - PR, onde o leito denso expandido correspondeu a $1,50H_o$, para uma velocidade superficial de fluidização de aproximadamente 0,50 m/s.

Tabela 4.16 Altura do leito denso expandido.

U (m/s)	H_e (m)
0,11	0,50
0,14	0,52
0,16	0,53
0,17	0,54
0,19	0,55
0,22	0,57

- **Frequência de borbulhamento, f_B**

Esse parâmetro foi determinado pela Eq. (2.17) para cada velocidade superficial de fluidização utilizada e é apresentado na Tabela 4.17.

Tabela 4.17 Frequência de borbulhamento.

U (m/s)	f_B (1/s)
0,11	1259
0,14	1176
0,16	1131
0,17	1111
0,19	1074
0,22	1026

- **Probabilidade de coalescência simultânea de N_B bolhas na superfície do leito, P_{NB}**

A probabilidade de N_B bolhas coalescerem simultaneamente na superfície do leito foi calculada por meio da Eq. (2.24), considerando o desvio-padrão da distância entre bolhas sucessivas, σ , igual a 0,76, e o ângulo crítico para a coalescência de duas bolhas, α_c ,

variando com a razão U/U_{mf} , calculado a partir do fluxo de arraste experimental extrapolado até a superfície do leito, empregando uma função de ajuste polinomial do 2º grau, conforme Figura 4.11. Com esse arranjo, foram obtidas as seguintes probabilidades:

Tabela 4.18 Probabilidade de N_B bolhas coalescerem simultaneamente na superfície do leito denso.

$U \text{ (m/s)}$					
0,11	0,14	0,16	0,17	0,19	0,22
$P_{NB} \text{ (\%)}$					
$0,55 \times 10^{-3}$	$1,35 \times 10^{-3}$	0,01	0,03	0,06	0,15

• **Distribuição de velocidades de ejeção, $U_{po\theta}$**

A distribuição de velocidades de ejeção é obtida a partir do cálculo da velocidade máxima de ejeção das partículas, conforme Eq. (4.4), considerando as partículas ejetadas uniformemente em vários ângulos de cone θ , de acordo com a Eq. (2.25).

Usando uma técnica de medição com sondas compostas por fibras ópticas, Hatano e Ishida (1981, 1983), com esferas de vidro (300 a 600 μm) e FCC (75 μm) em um LFB de 0,15 m de diâmetro com velocidade superficial de fluidização variando de 0,2 a 0,8 m/s, observaram velocidades de ejeção acima de 2,0 m/s. A técnica de medição utilizada limitava-se à faixa de velocidade entre 0,05 e 5,0 m/s e não havia garantia de que a sonda captava a passagem das partículas ejetadas imediatamente após a erupção das bolhas na superfície do leito denso.

• **Fluxo de ejeção total de partículas, F_o**

O fluxo de ejeção total foi calculado de acordo com a Eq. (2.27) e é apresentado na Tabela 4.19.

Tabela 4.19 Fluxo de ejeção total de partículas.

$U \text{ (m/s)}$	$F_o \text{ (kg/m}^2\text{s)} \times 10^3$
0,11	0,72
0,14	2,10
0,16	2,57
0,17	5,08
0,19	13,67
0,22	34,31

- **Fluxo de ejeção por tamanho de partícula, F_{oi}**

O fluxo de ejeção por tamanho de partícula foi calculado pela Eq. (2.29), para cada valor de U empregado.

- **Fluxo de ejeção por tamanho de partícula num dado ângulo de cone θ , $F_{oi\theta}$**

O fluxo $F_{oi\theta}$ foi calculado pela Eq. (2.30) para cada tamanho de partícula ejetada num dado ângulo de cone θ . Assim, para os vinte ângulos adotados, cada fluxo F_{oi} foi dividido em 20 fluxos $F_{oi\theta}$ iguais.

- **Fluxo de arraste total ao longo da altura, $F(z)$**

A Figura 4.13 compara os resultados do método de cálculo proposto com os dados experimentais de Fournol et al.. Vale ressaltar que, devido ao fato dos autores não terem fornecido a distribuição granulométrica do FCC alimentado em seus testes, a comparação dos resultados serviu apenas para observar a sensibilidade e a tendência das curvas obtidas pelo modelo.

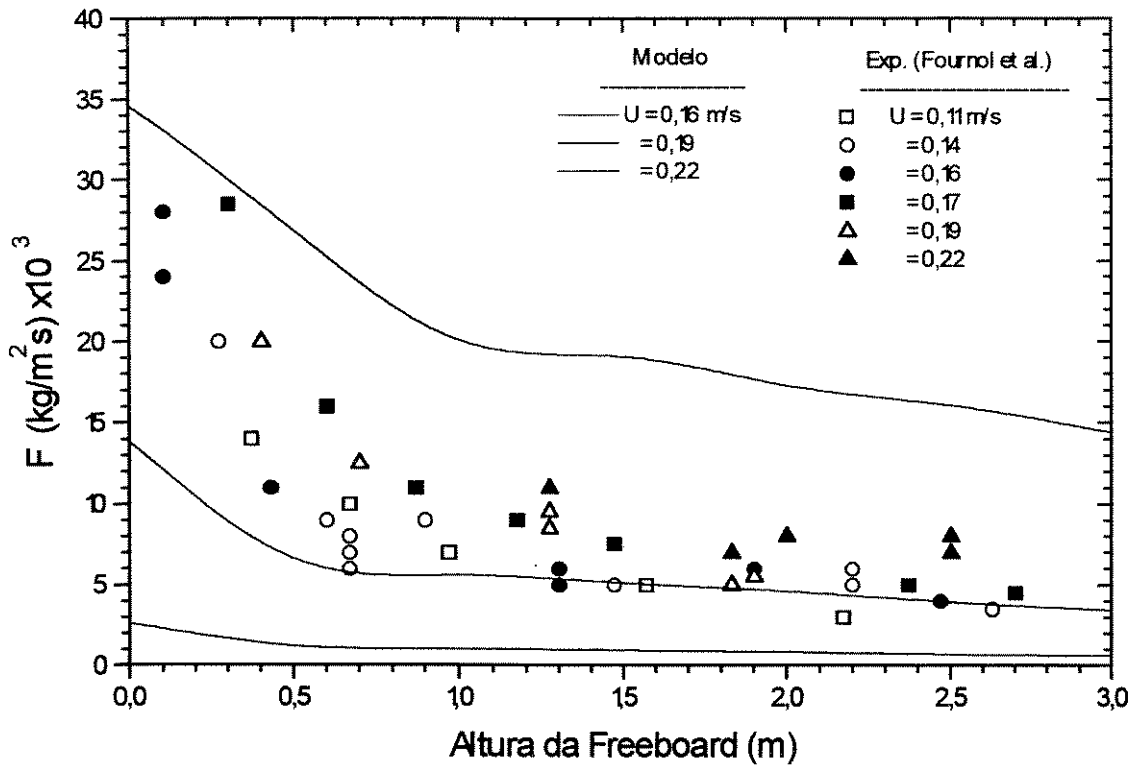


Figura 4.13 Comparação dos resultados obtidos para a variação do fluxo de arraste com a altura da coluna.

c. Distribuição granulométrica das partículas arrastadas

A distribuição granulométrica calculada para as partículas ao longo da altura, para a velocidade de fluidização de 0,16 m/s, por exemplo, resultou no diâmetro médio para as partículas arrastadas acima da TDH igual a 49,39 μm . Nos experimentos de Fournol et al., o valor encontrado correspondente foi de cerca de 30,00 μm .

O modelo subestima o fluxo de arraste em baixas velocidades de fluidização e superestima para altas velocidades. Os resultados se aproximam mais na região acima da TDH. O diâmetro médio das partículas elutriadas previsto é cerca de 39% maior do que o valor experimental.

4.3.2 Comparação com os resultados experimentais obtidos

O modelo proposto é aplicado a seguir com os resultados experimentais levantados neste trabalho.

a. Especificação

A Tabela 4.20 sumaria os dados de entrada do modelo, relativos à geometria do leito e as propriedades do gás fluidizante e das partículas de FCC alimentadas.

Tabela 4.20 Especificação do problema.

ESPECIFICAÇÃO		Distribuição granulométrica das partículas alimentadas		
		<i>i</i>	<i>d_i</i> (μm)	<i>X_i</i> (%)
GEOMETRIA DO LEITO		0	21.40	0.10
- Diâmetro do leito, m:	0.60	1	24.80	0.20
- Altura da coluna, m:	5.00	2	26.70	0.50
- Distribuidor de gás:		3	28.70	0.80
Placa de orifícios, com distribuidores tipo torre		4	30.80	1.10
ou grade tubular		5	33.20	2.00
- Número de furos no distribuidor de gás:	160	6	35.70	2.60
		7	38.40	3.40
GÁS DE FLUIDIZAÇÃO (AR)		8	41.20	4.60
- Temperatura do gás, °C:	47.0	9	44.40	6.40
- Velocidade do gás, m/s:	0.21 ; 0.27 ; 0.35 ;	10	47.70	9.00
	0.39 ; 0.45	11	51.30	12.60
PARTÍCULAS (FCC)		12	55.20	17.10
- Densidade aparente, kg/m ³ :	1350.0	13	59.30	22.50
- Densidade bulk, kg/m ³ :	890.0	14	63.80	28.80
- Inventário, kg:	60.0	15	68.60	35.80
- Esfericidade:	0.90	16	73.80	43.40
- Número de faixas granulométricas:	34	17	79.30	51.40
		18	85.30	59.60
		19	91.70	67.50
		20	98.60	74.90
		21	106.00	81.20
		22	114.00	86.30
		23	123.00	90.20
		24	132.00	93.10
		25	142.00	95.30
		26	153.00	96.90
		27	164.00	98.10
		28	176.00	98.90
		29	190.00	99.40
		30	204.00	99.70
		31	219.00	99.90
		32	236.00	99.99
		33	422.00	100.00

b. Fluxo de arraste ao longo da altura

Os parâmetros intermediários calculados pelo modelo estão na Tabela 4.21. Eles caracterizam a fluidodinâmica do leito denso e permitem o cálculo do fluxo de partículas ejetadas na *freeboard*.

Os valores determinados para o diâmetro médio das bolhas, variando de 0,042 a 0,059 m, estão de acordo com aqueles medidos por Geldart e Xie (1992) e Xie (1993) empregando sensores de pressão, os quais mostraram um tamanho estável de bolhas em torno de 0,040 m, fluidizando partículas de FCC. Hatano e Ishida (1983) mediram, através do emprego de sensores óticos, um tamanho de bolhas da ordem de 0,060 m para partículas de FCC com velocidades de fluidização até 0,3 m/s.

Tabela 4.21 Resultados relacionados ao leito denso.

		U_r (m/s)				
		0.21	0.27	0.35	0.39	0.45
CARACTERÍSTICAS DO LEITO						
- Velocidade de mínima fluidização, m/s:		0.0047	0.0047	0.0048	0.0048	0.0048
- Altura do leito estático, m:		0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
- Altura do leito expandido, m:		0.35	0.37	0.40	0.42	0.44
- Queda de pressão no leito, N/m ² :		2551.8	2733.0	2955.6	3062.2	3217.3
- Percentual em massa de partículas aglomeradas, %		31.61	31.61	31.61	31.61	31.61
ZONA DE EJEÇÃO						
- Velocidade máxima de ejeção, m/s:		30.00	36.00	48.00	55.00	55.00
CARACTERÍSTICAS DAS BOLHAS						
- Diâmetro médio, m:		0.042	0.047	0.052	0.055	0.059
- Velocidade média, m/s:		0.66	0.75	0.85	0.91	0.98
- Probabilidade de ocorrer coalescência na superfície do leito, %:		0.03	0.17	0.56	0.84	1.39
- Frequência de borbulhamento, 1/s:		1524	1415	1305	1260	1201
PARTÍCULAS NO LEITO DENSO LEVANDO-SE EM CONTA A FORMAÇÃO DE AGLOMERADOS						
i	d_i (μm)	X_i (%)	U_{ti} (m/s)	U_{mfi} (m/s)		
0	21,40	0,019	0,015	0,000311		
1	24,80	0,044	0,020	0,000406		
2	26,70	0,117	0,023	0,000464		
3	28,70	0,200	0,027	0,000528		
4	30,80	0,293	0,031	0,000600		
5	33,20	0,425	0,036	0,000687		
6	35,70	0,601	0,041	0,000783		
7	38,40	0,828	0,047	0,000892		
8	41,20	1,143	0,054	0,001013		
9	44,40	1,634	0,062	0,001159		
10	47,70	2,393	0,071	0,001318		
11	51,30	3,538	0,082	0,001503		
12	55,20	5,201	0,093	0,001715		
13	59,30	7,392	0,106	0,001951		
14	63,80	10,179	0,122	0,002225		
15	68,60	13,608	0,138	0,002536		
16	73,80	17,644	0,157	0,002892		
17	79,30	22,260	0,178	0,003292		
18	85,30	27,410	0,202	0,003753		
19	91,70	32,984	0,229	0,004275		
20	98,60	38,713	0,258	0,004872		
21	106,00	44,449	0,291	0,004637		
22	114,00	49,798	0,327	0,005357		
23	123,00	54,694	0,369	0,006230		
24	132,00	61,467	0,412	0,007169		
25	142,00	67,241	0,460	0,008290		
26	153,00	72,314	0,514	0,009617		
27	164,00	76,787	0,569	0,011043		
28	176,00	80,860	0,630	0,012710		
29	190,00	84,534	0,702	0,014802		
30	204,00	87,907	0,774	0,017051		
31	219,00	91,080	0,851	0,019635		
32	236,00	94,153	0,939	0,022778		
33	422,00	100,00	1,883	0,071335		

A altura do leito expandido, determinada pelo modelo, situou-se entre 0,35 e 0,44 m para as velocidades de fluidização variando de 0,21 a 0,45 m/s. Experimentalmente, verificou-se de um modo preliminar através do perfil de pressão na coluna que H_e estaria em torno de 0,35 m.

O modelo calculou um percentual de partículas aglomeradas de FCC igual a 31,61%. Bénoni, Briens, Baron, Duchesne e Knowlton (1994), que conduziram testes em um leito de 0,292 m de diâmetro, pressurizado, e outro de 0,61 m de diâmetro, em condições ambientes, empregando partículas de polietileno (700 μm) e areia (75 μm), respectivamente, determinaram experimentalmente a massa de aglomerados, admitindo que a análise granulométrica a seco mantinha os aglomerados formados durante o processo de fluidização e que a via úmida os desfazia completamente. Eles observaram que 25,00% das partículas de polietileno e 32,00% de areia do total de sólidos presentes no leito se aglomeravam.

A probabilidade de ocorrer coalescência de bolhas na superfície do leito calculada pelo modelo variou entre 0,03 e 1,39 %. Levy, Caram, Dille e Edelstein (1983), que observaram 306 bolhas em um leito semicircular de 0,144 m de diâmetro, com partículas catalíticas de 112 μm , concluíram que 6,90 % das bolhas coalesceriam na superfície do leito, para velocidades de fluidização de 1,08 a 3,44 U_{mf} .

Aplicando as correlações para α_c obtidas na seção anterior, Figura 4.11, na expressão para a determinação do fluxo de ejeção de partículas, Eq. (2.28), e admitindo o diâmetro crítico de partículas no leito denso sujeito a aglomeração, d_c , igual a 130 μm (seção 4.2.3.a), pode-se comparar os valores do fluxo de arraste total ao longo da altura obtidos pelo modelo e experimentalmente, conforme apresenta a Figura 4.14, onde os pontos experimentais estão representados por barras que levam em conta a margem de incerteza dos resultados.

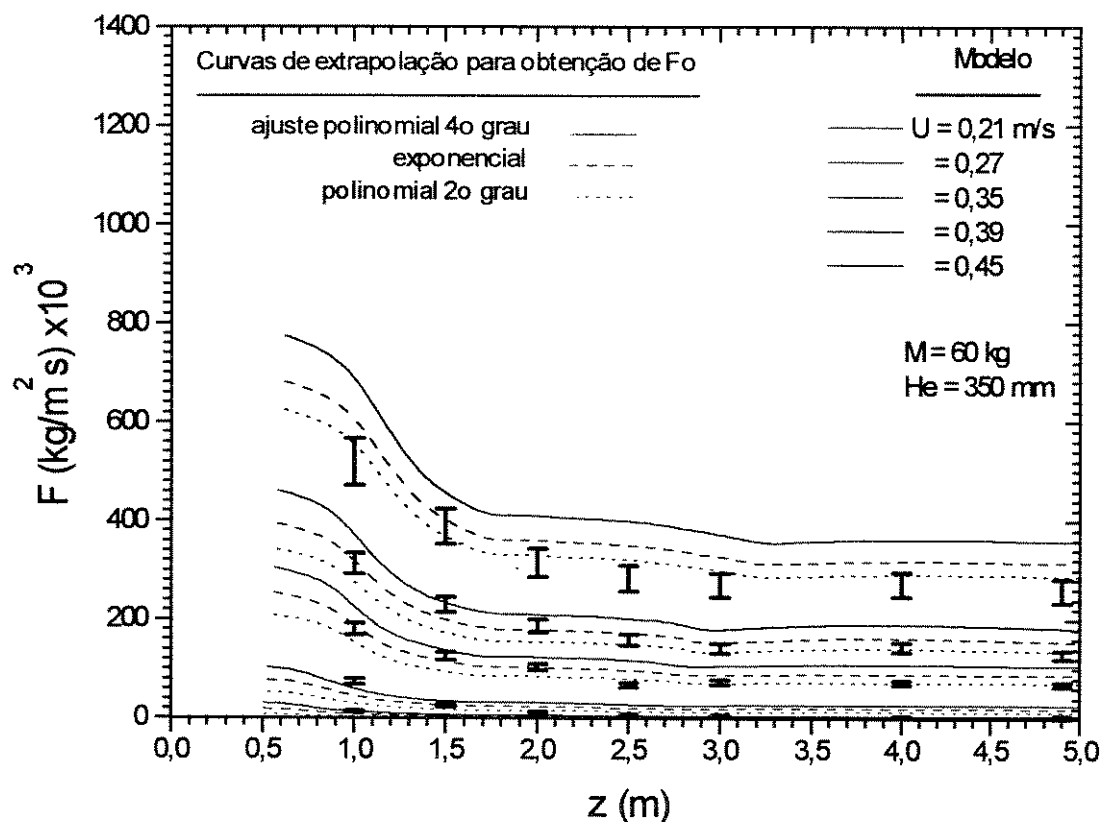


Figura 4.14 Comparação do fluxo de arraste total ao longo da altura.

Observa-se que as curvas do fluxo de arraste total ao longo da altura obtidas pelo modelo a partir do fluxo de ejeção extrapolado pela função polinomial de 2^o grau forneceram melhores resultados, quando comparadas aos dados experimentais, principalmente quanto mais se afasta da superfície do leito.

Por outro lado, conforme visto na seção 4.2.3.a, estimou-se que o diâmetro crítico de partículas no leito denso sujeito a aglomeração, d_c , teria um valor entre 50 a 190 μm . Aplicando no modelo estes valores, mais um valor intermediário de 130 μm , obtido quando as forças coesivas se igualam a força gravitacional, e comparando os resultados de $F(z)$ aos experimentais, pode-se testar o efeito deste parâmetro no ajuste do modelo, conforme Figura 4.15:

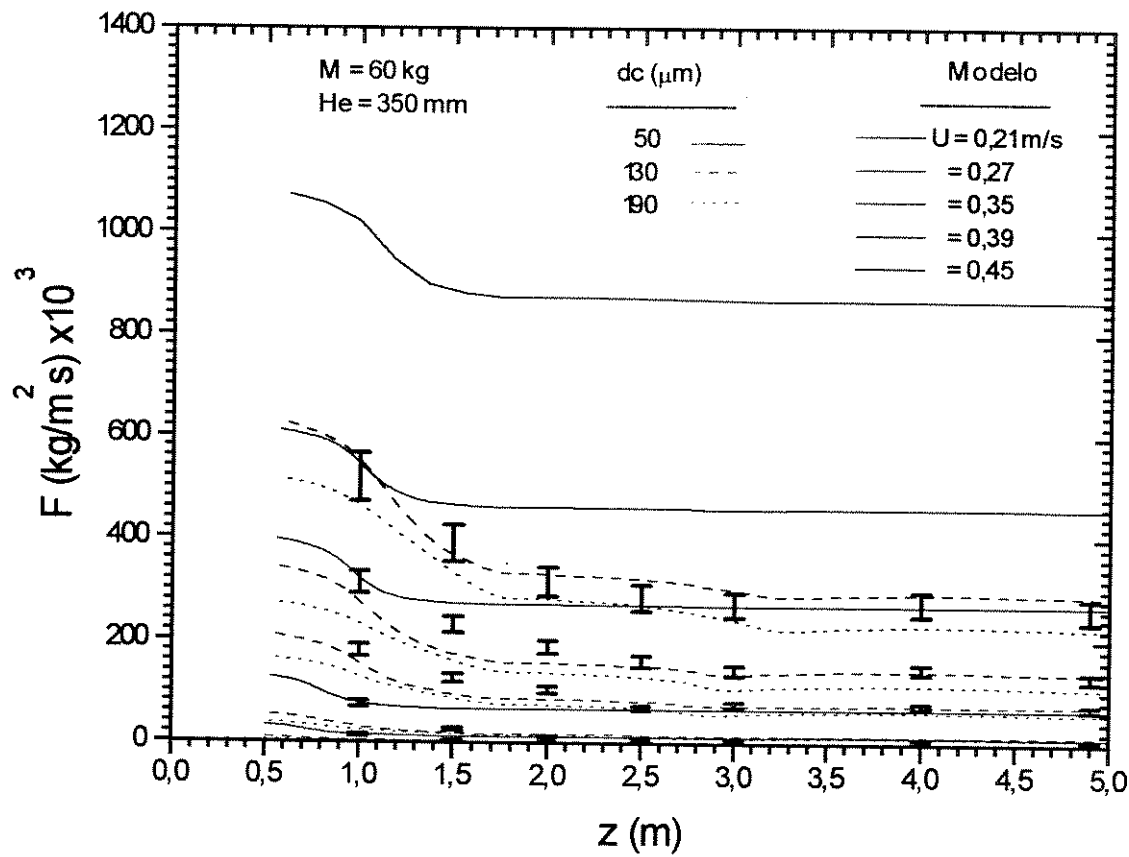


Figura 4.15 Influência do diâmetro crítico de partícula sujeito a aglomeração no fluxo de arraste.

Observa-se uma forte dependência de $F(z)$ em relação a d_c : os resultados obtidos mostram que o modelo mais se aproxima dos dados experimentais quando $d_c = 130 \mu\text{m}$.

Assim, verifica-se que o modelo fornece melhores resultados quando $d_c = 130 \mu\text{m}$ e $\alpha_c = -9,851 + 0,295U/U_{mf}$, obtido quando F_o é extrapolado por uma função polinomial do 2º grau.

A Tabela 4.22 traz os valores calculados para o fluxo de arraste total e para o diâmetro médio das partículas arrastadas ao longo da *freeboard*, levando em conta estas constatações.

Tabela 4.22 Fluxo e granulometria do material arrastado na *freeboard* - modelo.

z (m)	U (m/s)									
	0.21		0.27		0.35		0.39		0.45	
	$F \times 10^3$ (kg/m ² s)	$\bar{d}_a$ (µm)	$F \times 10^3$ (kg/m ² s)	$\bar{d}_a$ (µm)	$F \times 10^3$ (kg/m ² s)	$\bar{d}_a$ (µm)	$F \times 10^3$ (kg/m ² s)	$\bar{d}_a$ (µm)	$F \times 10^3$ (kg/m ² s)	$\bar{d}_a$ (µm)
0.5	7.812	119,041	52,446	120.686	212.240	121.861	346.329	121.882	630.607	121,557
1.0	2,843	105.303	25,955	108.058	142.313	112.973	264.670	114.885	550,001	116,928
1.5	1,822	81,886	16,553	85.530	89,913	92.168	168.456	95.713	366,560	100,451
2.0	1,680	76.732	15.877	82.740	84,057	87.988	154.866	90,679	330.353	94,487
2.5	1,396	65,840	13,456	72.333	79.581	84.231	148.700	87.800	319.894	92,119
3.0	1,396	65,840	13,456	72.333	72.680	78.269	134.350	80.903	298.932	87,282
3.5	1,396	65,840	13,456	72.333	72.680	78.269	134.350	80.903	287,416	84,508
4.0	1,396	65,840	13,456	72.333	72.680	78.269	134.350	80.903	287,416	84,508
4.5	1,396	65,840	13,456	72.333	72.680	78.269	134.350	80.903	287,416	84,508
5.0	1,396	65,840	13,456	72.333	72.680	78.269	134.350	80.903	287,416	84,508

Em acordo com a expressão para a TDH empregada no modelo, Eq. (4.3), observa-se na tabela que os valores de F e $\bar{d}_a$ mantiveram-se constantes a partir desta altura.

O modelo reproduziu a tendência exponencial de decaimento do fluxo de arraste encontrada experimentalmente, a partir de 1,0 de altura da *freeboard* e, com exceção dos testes feitos com velocidade de 0,27 m/s, os valores do fluxo de elutriação previstos foram compatíveis com os obtidos experimentalmente, com desvio máximo de 21,43 %, tomando como base os resultados do modelo, conforme mostra a Tabela 4.23. Os valores de F_∞ experimentais foram determinados através da média dos valores encontrados a partir de 2,5 m de altura da *freeboard*.

Tabela 4.23 Comparação entre os fluxos de elutriação experimentais e teóricos.

	U (m/s)				
	0,21	0,27	0,35	0,39	0,45
	Fluxo de elutriação das partículas, F_∞ (kg/m ² s × 10 ³)				
Experimental	1,70	7,57	72,06	144,34	271,21
Modelo	1,40	13,46	72,68	134,35	287,42
Desvio, %	21,43	43,76	0,85	7,44	5,64

Observando a Figura 4.11, pode-se notar que os três valores do ângulo limite de coalescência obtidos quando $U = 0,27$ m/s apresentam um desvio maior em relação a função linear de ajuste quando comparados aos outros pontos. Como esta correlação entre α_c e U/U_{mf} foi empregada no modelo para obtenção do fluxo de ejeção de partículas, este desvio apresentado pode ter causado uma superestimativa do fluxo de elutriação em $U = 0,27$ m/s, justificando o dado apresentado na tabela anterior.

c. Distribuição granulométrica das partículas arrastadas ao longo da altura

Na Tabela 4.24 são mostrados os valores e os desvios encontrados para os diâmetros médios das partículas elutriadas previstos pelo modelo.

Tabela 4.24 Valores dos diâmetros médios das partículas elutriadas experimentais e previstos pelo modelo.

	U (m/s)				
	0,21	0,27	0,35	0,39	0,45
	diâmetro médio das partículas elutriadas, $\bar{d}_a$ (µm)				
Experimental - via úmida	35,87	41,02	47,99	51,47	57,46
Experimental - a seco	52,13	48,63	55,94	58,84	64,13
Modelo	65,84	72,33	78,27	80,90	84,51
Desvio mínimo, %	20,82	32,77	28,53	27,27	24,12

A diferença percentual média encontrada entre os valores previstos pelo modelo, tomado como base, e os obtidos por peneiramento a seco, é igual a 26,70 %.

As Figuras 4.16 e 4.17 apresentam a comparação entre os diâmetros médios das partículas determinados experimentalmente ao longo da *freeboard* por difração a laser (via úmida) e por peneiramento (a seco), e os determinados pelo modelo, respectivamente.

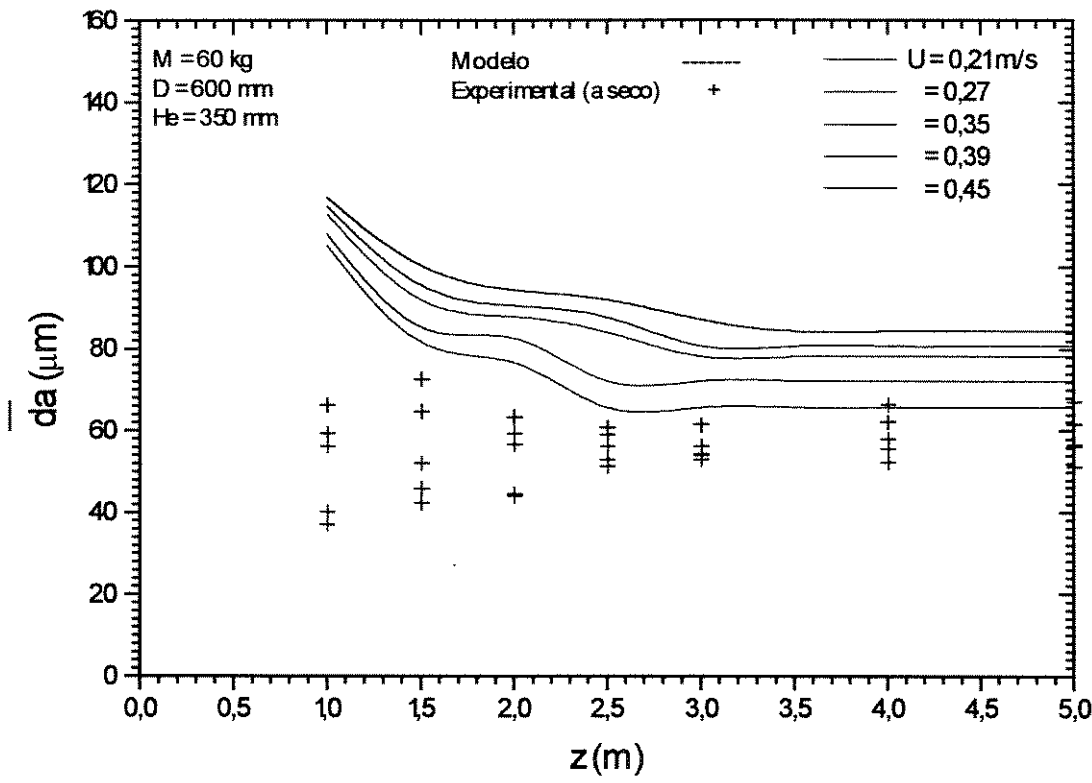


Figura 4.16 Comparação entre os diâmetros médios das partículas arrastadas obtidos ao longo da *freeboard* teórica e experimentalmente (a seco).

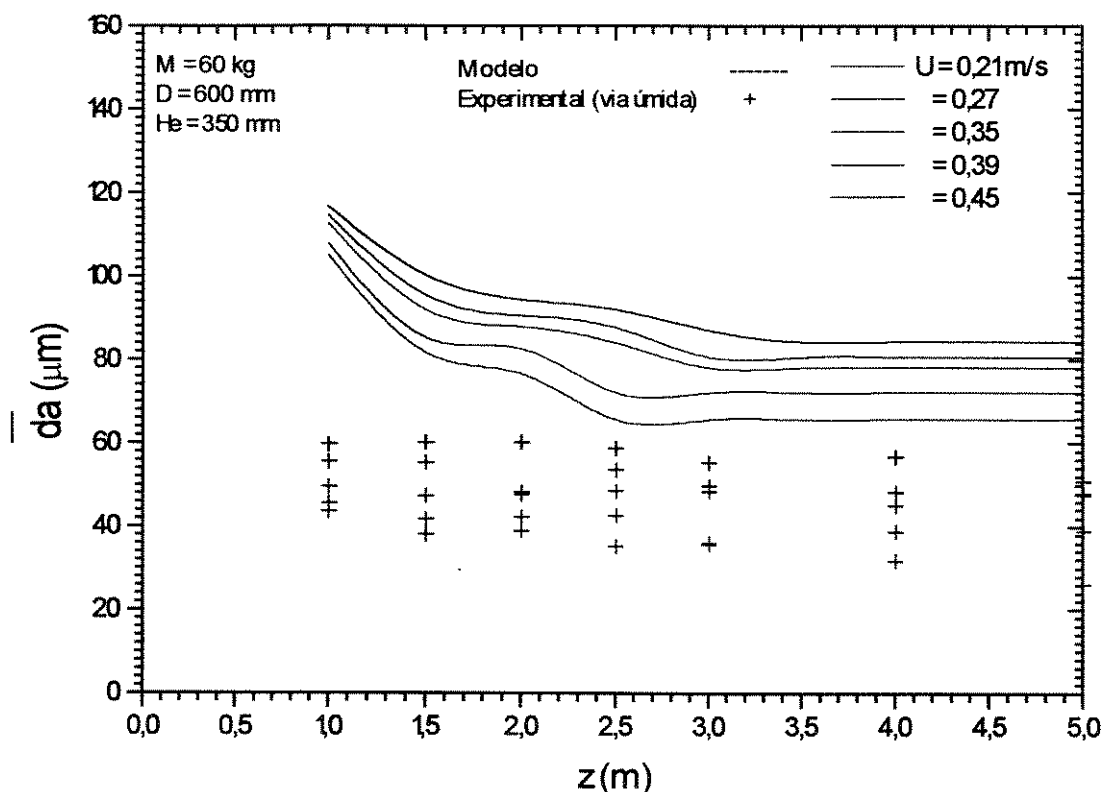


Figura 4.17 Comparação entre os diâmetros médios das partículas arrastadas obtidos ao longo da *freeboard* teórica e experimentalmente (via úmida).

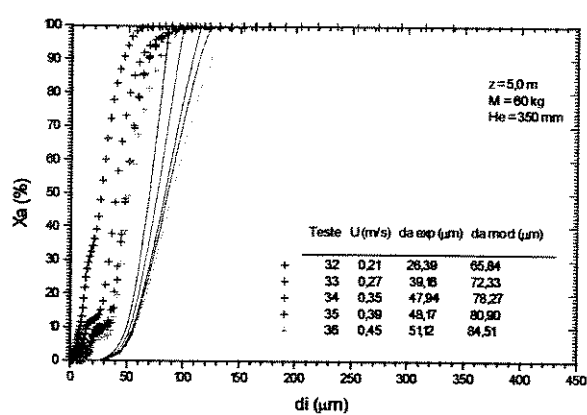
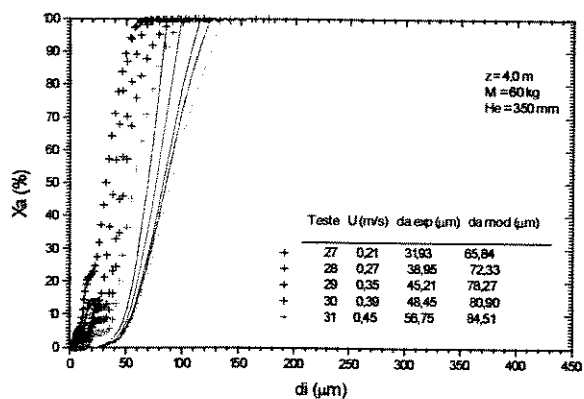
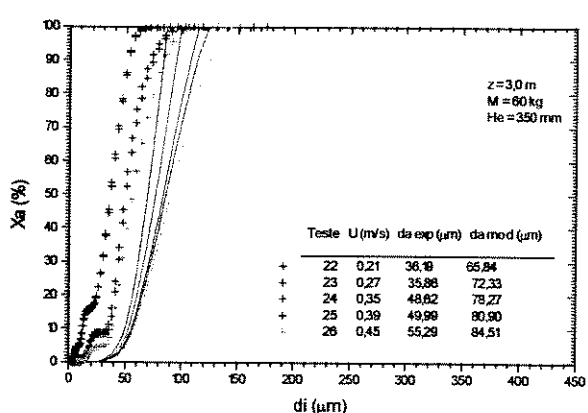
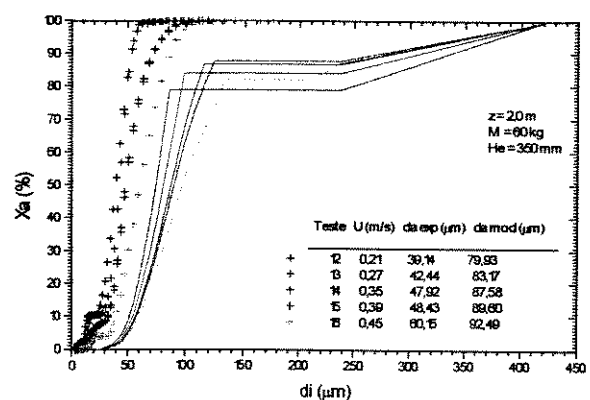
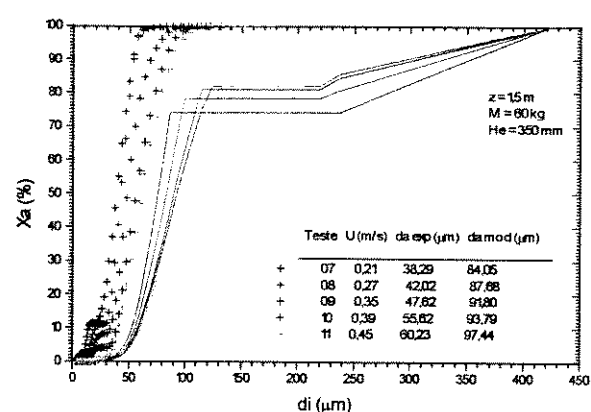
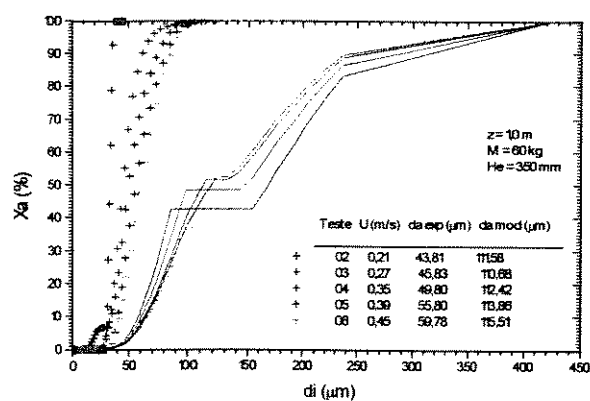
O modelo previu tamanhos de partículas arrastadas maiores que os encontrados experimentalmente em cada altura, tanto por peneiramento a seco como por via úmida, sendo que os resultados para o segundo procedimento se afastaram ainda mais dos resultados previstos. Na comparação com os diâmetros médios das d.g.'s obtidas a seco, Figura 4.16, deve-se observar que parte dos aglomerados em ascensão na *freeboard* são desintegrados na linha de recirculação do sistema e no processo de retirada através da válvula de amostragem, não sendo, portanto, detectados pelo peneiramento. Comparando o modelo com os resultados obtidos via úmida no Malvern, a diferença se acentuou, pois o procedimento desfaz os aglomerados formados durante a fluidização.

Acima da TDH o diâmetro médio elutriado praticamente não se altera mais, tanto para o modelo como para os resultados experimentais. Alguns aglomerados são elutriados, como se pode observar pela comparação dos resultados a seco e a úmido.

De um modo geral, à medida que a velocidade superficial de fluidização aumenta, aumenta o diâmetro do material elutriado e o desvio entre o valor previsto pelo modelo e aquele encontrado experimentalmente diminui. Nas Figuras 4.18 são comparadas as distribuições granulométricas teóricas e experimentais para cada altura da *freeboard*, considerando as diferentes velocidades de fluidização empregadas.

As distribuições granulométricas previstas pelo modelo são mais grosseiras do que visto experimentalmente, pelo fato do modelo considerar a formação de aglomerados, que existem mas não podem ser medidos experimentalmente, independente da altura da coluna ou da velocidade superficial de fluidização.

Acima da TDH, para o material elutriado, a previsão do modelo se aproxima mais dos dados experimentais.



Figuras 4.18 Comparação entre as d.g.'s ao longo da *freeboard* obtidas experimental (+) e teoricamente (—).

d. Efeito da variação do inventário

Variando o inventário do leito de 30 a 100 kg, pode-se avaliar os resultados do modelo, comparativamente aos obtidos experimentalmente, conforme apresentado na Tabela 4.25 e na Figura 4.19.

Tabela 4.25 Comparação entre os fluxos de arraste obtidos pelo modelo e experimentalmente, variando a altura do leito estático - $z = 1,0$ m e $U = 0,27$ m/s.

Teste	H_o (m)	Experimental	Modelo
		$F(z=1)$ kg/m ² s $\times 10^3$	
37	120	59,10	21,06
38	140	46,24	21,55
39	160	52,59	22,03
40	180	52,88	22,94
41	200	50,38	23,85
42	220	72,35	24,91
03	240	75,14	25,96
43	280	67,59	28,59
44	320	68,72	32,43
45	360	71,17	36,36
46	400	75,46	40,43

O modelo, como formulado atualmente, não leva em conta a fluidodinâmica do leito raso, no qual a intensidade do processo de coalescência e divisão sucessiva de bolhas é diferente de um leito borbulhante.

Para o leito operando em regime borbulhante, o nível dos resultados obtidos teoricamente são inferiores aos experimentais, pela dificuldade em considerar os seguintes fenômenos:

- Na zona de *splashing* o arraste de partículas grosseiras é intensificado devido à flutuação intermitente da velocidade local do gás, causada pela erupção das bolhas;
- A fluidodinâmica da partícula é influenciada pela proximidade de outras partículas, cuja concentração provoca uma redução proporcional da velocidade terminal da partícula grosseira e um aumento da altura máxima atingida (Geldart e Pope, 1983; e Massarani, 1997).

A possível consideração de ambos os fenômenos pelo modelo elevaria os fluxos de arraste calculados, aproximando seus valores dos experimentais.

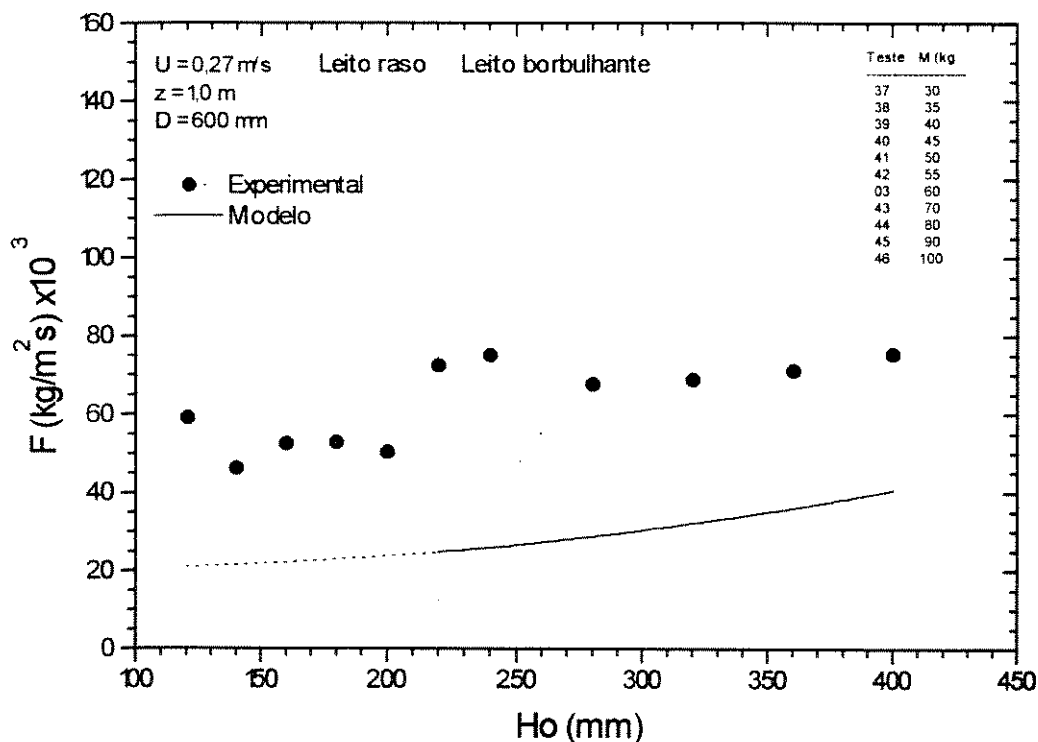


Figura 4.19 Efeito da altura estática do leito no fluxo de arraste - comparação entre os resultados obtidos experimentalmente e pelo modelo.

4.3.3 Comparação com modelagem da literatura

O modelo desenvolvido é comparado com o proposto por Fung e Hamdullahpur (1993, 1993a), o trabalho mais completo até então do ponto de vista fenomenológico, aplicando os dados experimentais desta tese para o cálculo dos parâmetros necessários. As principais diferenças encontradas no modelo de Fung e Hamdullahpur em relação ao proposto neste trabalho são:

- Não inclusão do fenômeno de aglomeração no leito denso - seção 2.1.1;

- Cálculo da probabilidade de coalescência de bolhas na superfície do leito somente para bolhas alinhadas verticalmente, empregando uma distribuição de Poisson, conforme proposta de Glicksman, Lord e Sakagami (1987) para partículas grosseiras - seção 2.1.1;
- Uso de um coeficiente de correção na expressão para o fluxo de ejeção de partículas, Eq. (2.28), dado pela razão entre o volume de partículas ejetadas e o volume da esteira das bolhas para bolhas coalescendo na superfície do leito - seção 2.1.2;
- Uso de uma expressão empírica para estimar o decaimento da velocidade do gás com a altura da *freeboard* - seção 2.2.1, e
- Emprego da expressão proposta por Caram, Edelstein e Levy (1984) para o cálculo da velocidade máxima de ejeção das partículas: $U_{pomax} = 4,91\sqrt{gd_B}$, para duas bolhas coalescendo na superfície do leito - seções 2.1.2 e 4.2.8.

A velocidade e a frequência das bolhas também foi avaliada pelos autores empregando o modelo de duas-fases (Davidson e Harrison, 1963). Eles empregaram as Eqs. (2.4) e (2.10) para a determinação da velocidade mínima de fluidização e do diâmetro das bolhas, respectivamente.

O balanço de forças proposto para calcular a trajetória das partículas ejetadas do leito é igual ao empregado neste trabalho. Os autores consideraram ainda uma expressão empírica para a determinação do decaimento axial da velocidade do gás com a altura da *freeboard*, fenômeno que não foi considerado no modelo desenvolvido neste trabalho devido às constatações experimentais de que as flutuações de velocidade do gás causadas pela erupção das bolhas são confinadas a região de *splashing* para leitos de grande porte, podendo ser admitido para alturas maiores um perfil de velocidade do gás uniforme ao longo da seção transversal, conforme seção 2.2.1.

Devido à não consideração da redução do tamanho por atrito e da aglomeração de partículas no leito denso, a distribuição empregada como parâmetro de entrada no modelo foi a do FCC alimentado.

A Figura 4.20 compara os fluxos de arraste com a altura obtidos pelos modelos com os dados experimentais deste trabalho.

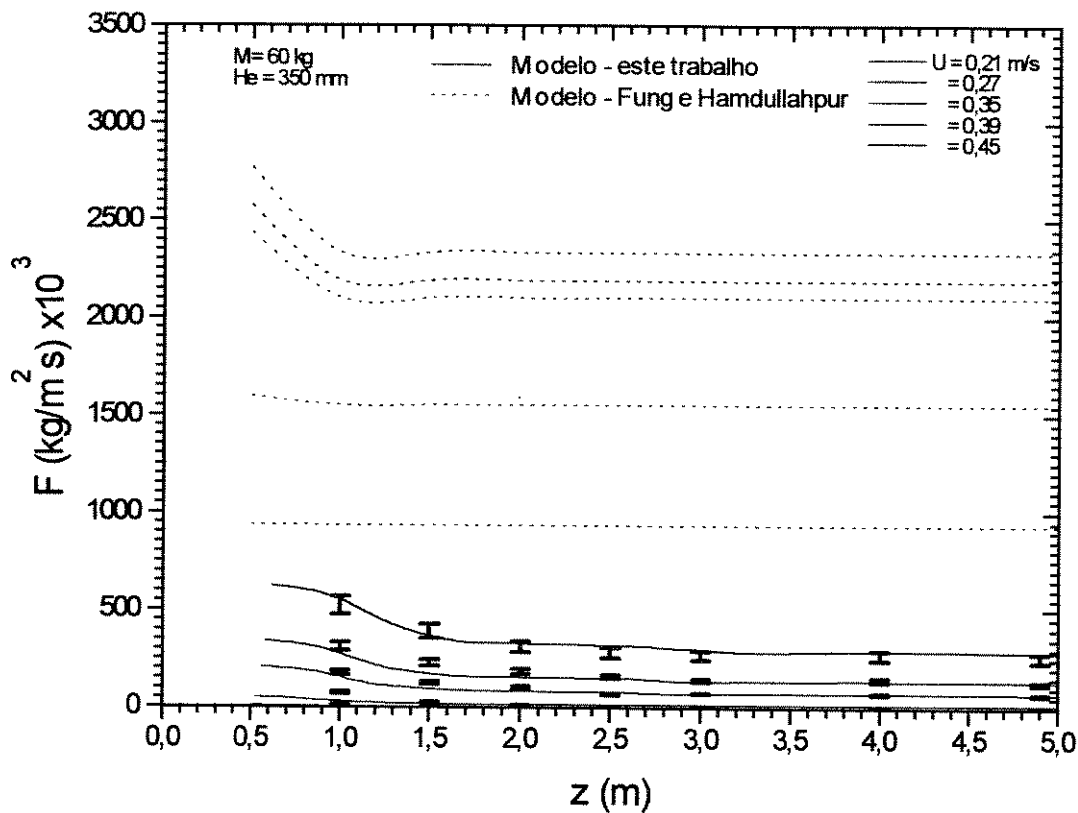


Figura 4.20 Comparação entre os fluxos de arraste obtidos pelos modelos e os dados experimentais deste trabalho.

O modelo proposto por Fung e Hamdullahpur superestima o fluxo de arraste em todas as velocidades de fluidização. Isto deve ter ocorrido devido à alta probabilidade de coalescência das bolhas calculada em decorrência das hipóteses adotadas, diretamente proporcional ao fluxo de ejeção de partículas, conforme tabela a seguir:

Tabela 4.26 Probabilidade de coalescência de bolhas obtida pelos modelos.

U (m/s)	P_{NBt} (%)	
	Este trabalho	Fung e Hamdullahpur
0,21	0.03	56,09
0,27	0.17	58.42
0.35	0.56	57,55
0,39	0.84	54,73
0,45	1.39	45,54

Adicionalmente, os valores do fluxo de arraste calculados pelos autores para $U = 0,45$ m/s foram menores do que os avaliados para $U = 0,39$ m/s, provavelmente devido à inflexão da relação P_{NBt} versus U para velocidades superiores a 0,27 m/s. Assim, a distribuição de probabilidade de Poisson adotada pelos autores para o cálculo da probabilidade de coalescência de bolhas na superfície do leito não parece ser fisicamente realística, considerando ainda o fato dela ter sido proposta originalmente apenas para partículas grosseiras. Observa-se ainda que, Levy, Caram, Dille e Edelstein (1983) estudaram experimentalmente as bolhas em um leito com partículas catalíticas e verificaram que apenas 6,9% das bolhas coalesceriam na superfície do leito.

Devido à expressão utilizada para o cálculo da velocidade máxima de ejeção das partículas do leito, que resultou em valores relativamente baixos, compreendidos entre 3,15 a 3,72 m/s, e da não consideração de aglomerados na solução, Fung e Hamdullahpur obtiveram um decaimento do fluxo de arraste mais abrupto, com as partículas grosseiras ejetadas atingindo a região da *freeboard* compreendida entre 1,0 e 1,5 m e retornando posteriormente ao leito, não reproduzindo a tendência experimental.

Quanto ao diâmetro médio das partículas ao longo da altura, a Figura 4.21 mostra os resultados obtidos para os dois modelos, comparativamente aos dados experimentais.

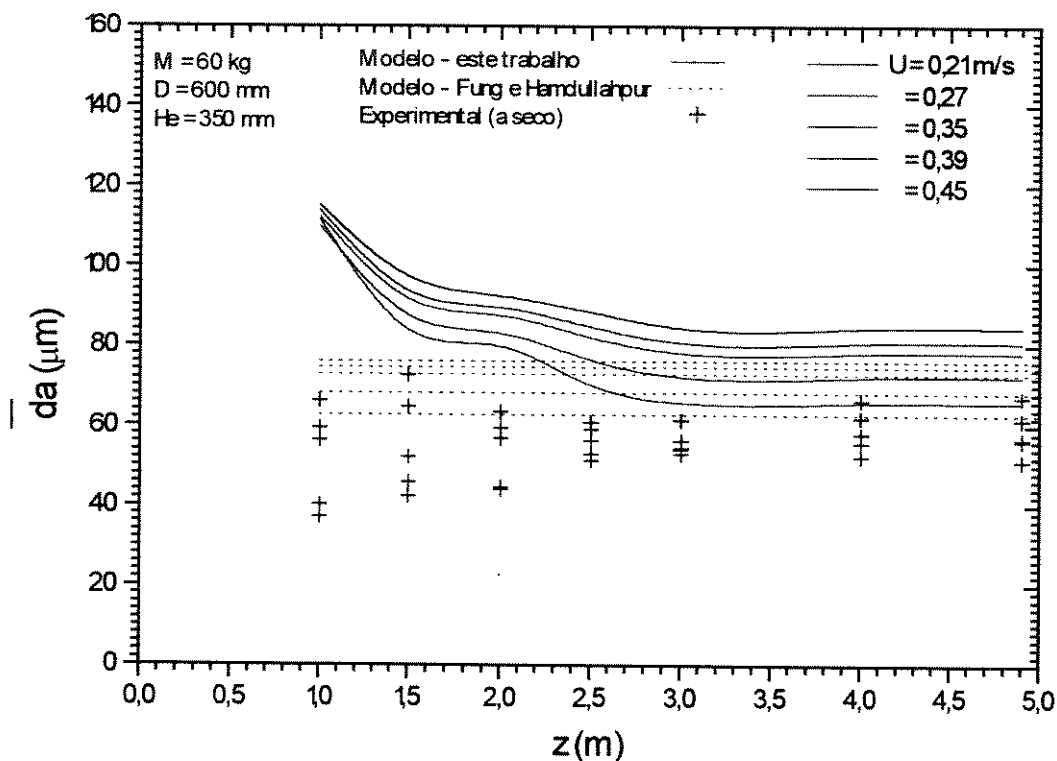


Figura 4.21 Comparação entre os diâmetros médios das partículas arrastadas obtidos pelos modelos e os dados experimentais deste trabalho.

O modelo de Fung e Hamdullahpur previu resultados mais próximos dos experimentais do que os obtidos pelo modelo proposto neste trabalho, provavelmente devido à não consideração da formação de aglomerados no leito denso, lembrando que a existência de aglomerados foi confirmada mas sua distribuição granulométrica não pode ser detectada experimentalmente.

Capítulo 5

Conclusões e Recomendações

Nesta tese, o fenômeno do arraste de partículas de FCC ao longo da altura de um leito fluidizado borbulhante - LFB - foi estudado experimentalmente, considerando a influência da velocidade superficial do gás e do inventário de sólidos. Foi proposto um método de cálculo para leitos de grande porte - $D \geq 0,60 \text{ m}$ -, levando em conta a informação técnica e as constatações experimentais. O modelo é pioneiro em considerar a distribuição granulométrica efetiva das partículas de FCC devido à ação das forças coesivas interparticulares no leito denso. Ele considera também a ejeção vertical de partículas sólidas através da erupção de bolhas na superfície do leito denso e calcula a sua trajetória baseado na dinâmica das partículas, possibilitando estimativas do fluxo de arraste e da granulometria dos sólidos em cada seção transversal ao longo da câmara de expansão. O programa de testes foi realizado para dar subsídios e confirmar a validade do modelo devido à não disponibilidade de dados experimentais detalhados na literatura relativos à granulometria e ao fluxo de partículas de FCC arrastadas em grandes leitos.

As seguintes conclusões podem ser inferidas a partir dos resultados apresentados:

a. Resultados experimentais

- Os dados obtidos mostram uma variação exponencial do fluxo de arraste total com a altura e com a velocidade superficial de fluidização, a partir de $z = 1,0 \text{ m}$, e foram correlacionados por uma função que obedece a uma distribuição normal;
- Nenhuma correlação da literatura previu razoavelmente os dados experimentais para a TDH. Uma nova correlação é proposta baseada no número de Froude do leito, Fr_D , com um coeficiente de correlação igual a 0,88;

- A concentração de sólidos tornou-se praticamente constante em alturas na *freeboard* compreendidas entre 2.08 e 3.13 m. para as velocidades de fluidização variando de 0,21 a 0,45 m/s. No entanto, já em alturas na *freeboard* iguais ou superiores a 1,0 m, não foi observada uma redução significativa do tamanho das partículas arrastadas;
- Quanto maior a velocidade de fluidização, mais a distribuição granulométrica do material arrastado se aproxima da distribuição do leito;
- O fluxo de arraste medido em $z = 1,0$ m sofreu uma elevação até uma altura do leito estático em torno de 220 mm. Para alturas maiores, o fluxo apresenta um ligeiro aumento, com valor médio igual a $72,00 \pm 5,04$ g/m²s;
- As distribuições granulométricas obtidas para os testes com inventário variando de 30 a 100 kg não apresentaram diferenças significativas, com um diâmetro médio igual a $42,70 \pm 1,86$ μ m. Assim, a razão H_o/D , variando de 0,33 a 0,67, não afetou a granulometria das partículas arrastadas;
- Observou-se a partir das análises granulométricas das partículas do leito denso obtidas por peneiramento vibratório (via seco) e por difração a laser (via úmida), antes e após os testes, que: ocorreu aglomeração de partículas no leito denso; o peneiramento vibratório não contribuiu para a formação de aglomerados e parte das partículas aglomeradas foram desagregadas após o processo de fluidização;
- Não ocorreu segregação de partículas no leito nem redução de tamanho das mesmas por atrito abrasivo ou fragmentação.

b. Resultados obtidos a partir do modelo

- O modelo reproduziu a tendência dos dados experimentais para fluxo de arraste em função da altura da *freeboard*, obtidos por Fournol, Bergougnou e Baker (1973) que utilizaram partículas de FCC em um LFB de 0,60 m de diâmetro, empregando velocidades de fluidização de 0,11 a 0,22 m/s. Quantitativamente, o modelo subestimou o fluxo de arraste em baixas velocidades de fluidização e superestimou para altas velocidades. Os resultados se aproximaram mais na região acima da TDH. O diâmetro médio das partículas elutriadas previsto foi cerca de 39% maior do que o valor experimental;
- Os valores determinados pelo modelo para o diâmetro médio das bolhas estão de acordo com aqueles medidos por Geldart e Xie (1992) e Xie (1993), fluidizando partículas de FCC, os quais mostraram um tamanho estável de bolhas de 0,04 a 0,06 m;
- A probabilidade de ocorrer coalescência de bolhas na superfície do leito foi calculada pelo modelo, com valores variando de 0,03 e 1,39 %. Levy, Caram, Dille e Edelstein (1983), fluidizando partículas catalíticas, observaram que 6,90 % das bolhas coalesciam na superfície do leito;
- Bénoni, Briens, Baron, Duchesne e Knowlton (1994) fluidizaram partículas de polietileno e areia, concluindo que 25% das partículas de polietileno e 32% das partículas de areia do total de sólidos presentes no leito se aglomeravam. O modelo calculou um percentual de partículas aglomeradas de FCC igual a 31,61%;
- De um modo geral, o modelo reproduziu a tendência exponencial de decaimento do fluxo de arraste encontrada experimentalmente, a partir de 1,0 de altura da *freeboard*, e os valores do fluxo de elutriação previstos foram compatíveis com os obtidos experimentalmente, com um desvio médio de 15,82% e um máximo de 43,76%;

- O modelo previu tamanhos de partículas arrastadas maiores que os encontrados experimentalmente por peneiramento a seco, com desvios variando de 20,82 a 32,77 %, devido ao fato de que parte dos aglomerados em ascensão na *freeboard* são desintegrados quando adentram a linha de recirculação do sistema e são coletados pela válvula de amostragem;
- As distribuições granulométricas das partículas arrastadas encontradas pelo modelo reproduziram a tendência de se tornarem mais grosseiras para maiores velocidades de fluidização, conforme visto experimentalmente;
- O modelo, como formulado atualmente, não reproduz a queda do fluxo de arraste para leitos com altura estática inferior a 220 mm. Nestes casos, deve-se introduzir as formulações que levem em conta a fluidodinâmica do leito raso, no qual o padrão de coalescência das bolhas é diferente de um leito borbulhante;
- Para o leito operando em regime borbulhante, o nível dos resultados obtidos teoricamente para o fluxo de arraste na zona de ejeção são inferiores aos experimentais, pela dificuldade em considerar os seguintes fenômenos:
 1. Na zona de *splashing* o arraste de partículas grosseiras é intensificado devido à flutuação intermitente da velocidade local do gás, causada pela erupção das bolhas;
 2. A fluidodinâmica da partícula é influenciada pela proximidade de outras partículas, cuja concentração provoca uma redução proporcional da velocidade terminal da partícula grosseira e um aumento da altura máxima atingida.
- O modelo proposto por Fung e Hamdullahpur (1993), quando comparado aos resultados do modelo e aos dados experimentais desta tese, superestimou o fluxo de arraste em todas as velocidades de fluidização;
- O modelo proposto por Fung e Hamdullahpur calculou um decaimento do fluxo de arraste mais abrupto do que o encontrado experimentalmente, com as partículas

grosseiras ejetas atingindo a região da *freeboard* compreendida entre 1.0 e 1.5 m e retornando posteriormente ao leito, não reproduzindo a tendência experimental;

- O modelo de Fung e Hamdullahpur previu resultados para o diâmetro médio das partículas elutriadas mais próximos dos experimentais do que os obtidos pelo modelo proposto neste trabalho, devido à não consideração da formação de aglomerados no leito denso. A existência de aglomerados foi confirmada mas sua distribuição granulométrica não pode ser detectada experimentalmente.

c. Sugestões para trabalhos futuros

Com base nos resultados obtidos, são dadas as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

- Verificar o efeito de parede no arraste, construindo leitos menores em escala;
- Medir localmente, através do uso de fibras óticas ou sondas de capacitância, o tamanho das partículas aglomeradas em ascensão na *freeboard*;
- Medir, com o emprego de uma sonda de sucção isocinética, o fluxo descendente de partículas aderido a parede da *freeboard*;
- Avaliar o perfil de velocidade do gás na região de *splashing*, empregando anemometria de fio quente ou LDV;
- Verificar, empregando técnicas de filmagem com câmaras de vídeo digitais de alta velocidade, os mecanismos de coalescência de bolhas e a velocidade na qual as partículas são ejetadas do leito;

- Introduzir no modelo formulações que considerem as flutuações intermitentes de velocidade do gás na zona de *splashing*, causada pela erupção sucessiva das bolhas na superfície do leito, e a redução proporcional da velocidade terminal de uma partícula isolada causada pela presença de outras partículas, para avaliar com mais precisão o fluxo de arraste nesta região.

Referências

- AMITIN, A.V., MATYUSHIN, I.G., AND GUREVITCH, D.A., *Khim. Tekhnol Topliv i Masel*, Vol. 3, pp. 20, 1968.
- ANDERSSON, B.A., AND LECKNER, B., Particle Mass Flux in the Freeboard of a Fluidized Bed Boiler, *Powder Technology*, Vol. 58, pp. 25-37, 1989.
- BACHOVCHIN, D.M., BEER, J.M., AND SAROFIM, A.F., An Investigation Into the Steady-State Elutriation of Fines from a Fluidized Bed, *AIChE Symposium Series - Recent Advances in Fluidization*, No. 205, Vol. 77, pp. 76-85, 1981.
- BAEYENS, J., GELDART, D., AND WU, S.Y., Elutriation of Fines from Gas Fluidized Beds of Geldart A-Type Powders - Effect of Adding Superfines, *Powder Technology*, Vol. 71, pp. 71-80, 1992.
- BARON, T., BRIENS, C.L., AND BERGOUGNOU, M.A., Study of the Transport Disengaging Height, *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, Vol. 66, pp. 749-760, 1988.
- BARON, T., BRIENS, C.L., GALTIER, P., AND BERGOUGNOU, M.A., Verification of Models and Correlations for Bubble Properties in Fluidized Beds, *Chemical Engineering Science*, No. 8, Vol. 45, pp. 2227-2233, 1990.
- BARON, T., BRIENS, C.L., HAZLETT, J.D, BERGOUGNOU, M.A, AND GALTIER, P., Size Distribution of the Particles Entrained from Fluidized Beds : Gas Humidity Effects, *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, Vol. 70, pp. 631-635, 1992.

- BARTHOLOMEW, C.H., Catalyst Deactivation, *Chemical Engineering*, No. 12, pp. 96-112, 1984.
- BASKAKOV, A.P., SHUVALOV, V.Y., AND BERG, B.V., Investigating the Eruptions of Fine-Grain Material from a Nonuniform Fluidized Bed, *Chemical Engineering Science*, Vol. 39, No. 3, pp. 407-412, 1984.
- BASU, P., Fluidized Bed Boilers: Design and Application, *Pergamon Press*, 1984.
- BÉNONI, D., BRIENS, C.L., BARON, T., DUCHESNE, E., AND KNOWLTON, T.M., A Procedure to Determine Particle Agglomeration in a Fluidized Bed and Its Effect on Entrainment, *Powder Technology*, Vol. 78, pp. 33-42, 1994.
- BERKELMANN, K.G., AND RENZ, U., Gas and Solid Flow in the Freeboard of a Fluidized Bed Combustor, *Powder Technology*, Vol. 68, pp. 271-280, 1991.
- BRIENS, C.L., AND BERGOUGNOU, M.A., New Model for Entrainment from Fluidized Beds, *AIChE Journal*, No. 2, Vol. 32, pp. 233-238, 1986.
- BRIENS, C.L., BERGOUGNOU, M.A., AND BARON, T., Prediction of Entrainment from Gas-Solid Fluidized Beds, *Powder Technology*, Vol. 54, pp. 183-196, 1988.
- BRIENS, C.L., BERGOUGNOU, M.A., INCULET, I.I., BARON, T., AND HAZLETT, J.D., Size Distribution of Particles Entrained from Fluidized Beds: Electrostatic Effects, *Powder Technology*, Vol. 70, pp. 57-62, 1992.
- CARAM, H.S., EDELSTEIN, S., AND LEVY, E.K., Particle Ejection Due to Bubble Coalescence Near the Surface of Gas Fluidized Beds, *Proceedings of Fluidization IV*, pp. 265-273, 1984.

- CARAM, H.S., EFES, Z., AND LEVY, E.K., Gas and Particle Motion Induced by a Bubble Eruption at the Surface of a Gas Fluidized Bed, *AIChE Symposium Series - Fluidization and Fluid Particle Systems*, No. 234, Vol. 80, pp. 106-113, 1984.
- CHEREMISINOFF, N.P., Encyclopedia of Fluid Mechanics - Solids and Gas-Solids Flows, Vol. 4, *Gulf Publishing Company*, 1986.
- CHOI, J.H., CHOI, K.B., KIM, P., SHUN, D.W., AND KIM, S.D., The Effect of Temperature on Particle Entrainment Rate in a Gas Fluidized Bed, *Powder Technology*, Vol. 92, pp. 127-133, 1997.
- CHOI, J.H., KIM, K.J., AND KIM, S.D., Effect of Secondary Gas Injection on the Particle Entrainment Rate in a Gas Fluidized Bed, *Powder Technology*, Vol. 90, pp. 227-233, 1997.
- CHOI, J.H., SON, J.E., AND KIM, S.D., Solid Entrainment in Fluidized Bed Combustors, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, No. 6, Vol. 22, pp. 597-606, 1989.
- CLIFT, R., AND GRACE, J.R., Coalescence of Bubbles in Fluidized Beds, *AIChE Symposium Series - Fluidization*, No. 116, Vol. 67, pp. 23-33, 1971.
- CLIFT, R., GRACE, J.R., AND WEBER, M.E., Bubbles, Drops and Particles, *Academic Press*, New York, 1978.
- COELHO, R.M.L., E MASSARANI, G., Fluidodinâmica de Partículas: Ainda Sobre Correlações em Base aos Dados Experimentais de Pettyjohn e Christiansen, *Relatório LSP/COPPE 1/96*, 1996.

- COHEN, R.D., Development of the Cluster-Size Distribution in Flowing Suspensions, *AIChE Journal*, No. 7, Vol. 38, pp. 1129-1134, 1992.
- COLAKYAN, M., AND LEVENSPIEL, O., Elutriation from Fluidized Beds, *Powder Technology*, Vol. 38, pp. 223-232, 1984.
- CONCHA, F., AND BARRIENTOS, A., Settling Velocities of Particulate Systems. 4. Settling of Nonspherical Isometric Particles, *International Journal of Mineral Processing*, Vol. 18, pp. 297-308, 1986.
- DARTON, R.C., LANAUZE, R.D., DAVIDSON, J.F., AND HARRISON, D., Bubble Growth Due to Coalescence in Fluidised Beds. *Transactions Institute Chemical Engineers*, Vol. 55, pp. 274-280, 1977.
- DAVIDSON, J.F., AND HARRISON, D., Fluidised Particles, *Cambridge University Press*, 1963.
- DEMMICH, J., AND BOHNET, M., *Verfahrenstechnik*, Vol. 12, pp. 430, 1978.
- DI FELICE, R., A Relationship for the Wall Effect on the Settling Velocity of a Sphere at Any Flow Regime, *International Journal of Multiphase Flow*, No. 3, Vol. 22, pp. 527-533, 1996.
- DO, H.T., GRACE, J.R., AND CLIFT, R., Particle Ejection and Entrainment from Fluidized Beds, *Powder Technology*, Vol. 6, pp. 195-220, 1972.
- FORSYTHE JR., W.L., AND HERTWIG, W.R., *Industrial and Engineering Chemistry*, No. 6, Vol. 41, pp.1200-1206, 1949.

- FOUDA, A.E., AND CAPES, C.E., *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, Vol. 55, pp. 386, 1977.
- FOURNOL, A.B., BERGOUGNOU, M.A., AND BAKER, C.G.J., Solids Entrainment in a Large Gas Fluidized Bed, *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, Vol. 51, pp. 401-404, 1973.
- FRANCIS, A.W., Wall Effect in Falling Ball Method for Viscosity, *Physics*, Vol. 4, pp. 403-406, 1933.
- FRANTZ, J.F., AND JUHL, W.G., Transport Disengaging Heights in Fluidized Beds, *Proceedings of the AIChE 71st National Meeting*, Dallas, 1972.
- FUNG, A.S., AND HAMDULLAHPUR, F., A Gas and Particle Flow Model in the Freeboard of a Fluidized Bed Based on Bubble Coalescence, *Powder Technology*, Vol. 74, pp. 121-133, 1993.
- FUNG, A.S., AND HAMDULLAHPUR, F., Effect of Bubble Coalescence on Entrainment in Gas Fluidized Beds, *Powder Technology*, Vol. 77, pp. 251-265, 1993a.
- GELDART, D., *Powder Technology*, Vol. 1, pp. 285, 1973.
- GELDART, D., Gas Fluidization Technology, *John Wiley & Sons*, 1986.
- GELDART, D., AND ABRAHAMSEN, A.R., The Effect of Fines on the Behavior of Gas Fluidized Beds of Small Particles, *Proceedings of the 1980 International Fluidization Conference*, pp. 453-460, New Hampshire, Aug. 3-8, 1980.

- GELDART, D., CULLINAN, J., GEORGHIADES, S., GILVRAY, D., AND POPE, D.J., The Effect of Fines on Entrainment from Gas Fluidised Beds, *Transactions Institute Chemical Engineers*, Vol. 57, pp. 269-275, 1979.
- GELDART, D., AND POPE, D.J., Interaction of Fine and Coarse Particles in the Freeboard of a Fluidized Bed, *Powder Technology*, Vol. 34, pp. 95-97, 1983.
- GELDART, D., AND XIE, H.-Y., *Fluidization VII*, p. 749, Potter, O., and Nicklin, D.J., (Eds.), Engineering Foundation, New York, 1992.
- GELDART, D., XUE, Y., AND XIE, H.-Y., Measurement of Bottom Bed and Transport Disengaging Heights in Beds of Fresh FCC Catalyst, *AIChE Symposium Series - Developments in Fluidization and Fluid-Particle Systems*, No. 308, Vol. 91, pp. 93-102, 1995.
- GELDART, D., AND WONG, A.C.Y., Entrainment of Particles from Fluidized Beds of Fine Powders, *AIChE Symposium Series*, No. 255, Vol. 83, pp. 1-4, 1987.
- GEORGE, S.E., AND GRACE, J.R., Entrainment of Particles from Aggregative Fluidized Bed, *AIChE Symposium Series*, No. 176, Vol. 74, pp. 67-74, Jan., 1978.
- GEORGE, S.E., AND GRACE, J.R., Entrainment of Particles from a Pilot Scale Fluidized Bed, *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, Vol. 59, pp. 279-284, 1981.
- GLICKSMAN, L.R., AND YULE, T., Prediction of the Particle Flow Conditions in the Freeboard of a Freely Bubbling Fluidized Bed, *Chemical Engineering Science*, No. 1, Vol. 50, pp. 69-79, 1995.

- GLICKSMAN, L.R., LORD, W.K., AND SAKAGAMI, M., *Chemical Engineering Science*, Vol. 42, pp. 479, 1987.
- GUGNONI, R.J., AND ZENS, F.A., *Proceedings of Fluidization*, Plenum Press, pp. 501, 1980.
- HAIDER, A, AND LEVENSPIEL, O., Drag Coefficient and Terminal Velocity of Spherical and Nonspherical Particles, *Powder Technology*, Vol. 58, pp. 63-70, 1989.
- HAMDULLAHPUR, F. AND MACKAY, G.D.M., Two-Phase Flow Behavior in the Freeboard of a Gas-Fluidized Bed, *AIChE Journal*, No. 12, Vol. 32, pp. 2047-2055, 1986.
- HATANO, H., AND ISHIDA, M., The Entrainment of Solid Particles from a Gas-Solid Fluidized Bed, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, No. 4, Vol. 14, pp. 306-311, 1981.
- HATANO, H., AND ISHIDA, M., Study on the Entrainment of FCC Particles from a Fluidized Bed, *Powder Technology*, Vol. 35, pp. 201-209, 1983.
- HATANO, H., OKUMA, T., AND ISHIDA, M., Bubble Eruption Model for Entrainment Phenomena Below the TDH for Gas-Solids Fluidized Beds, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, Vol. 17, pp. 491-497, 1984.
- HAZLETT, J.D., AND BERGOUGNOU, M.A., Influence of Bubble Size Distribution of the Bed Surface on Entrainment Profile, *Powder Technology*, Vol. 70, pp. 99-107, 1992.
- HOGGEN, B., *PhD Dissertation*, University of Trondheim, Noruega, 1984.

- HORIO, M., AND NONAKA, A., A Generalized Bubble Diameter Correlation for Gas-Solid Fluidized Beds, *AIChE Journal*, Vol. 33, No. 11, pp. 1865-1872, 1987.
- HORIO, M., SHIBATA, T., KADOGUCHI, K., AND MUCHI, I., Behavior of Entrained Particles in the Freeboard, *Proceedings of Fluidization 85*, pp. 124-135, 1985.
- HORIO, M., TAKI, A., HSIEH, V.S., AND MUCHI, I., Elutriation and Particle Transport Through the Freeboard of a Gas-Solid Fluidized Bed, in *Fluidization*, Ed. por Grace, J.R. e Matsen, J.M., Plenum Press, pp. 509-518, 1980.
- HYRE, M. R., comunicação pessoal, *Assistant Professor at LeTourneau University*, Longview, Texas, 1997.
- ISHIDA, M., NISHIWAKI, A., AND SHIRAI, T., *Powder Technology*, Vol. 27, pp. 1, 1980.
- ISMAIL, S., AND CHEN, J.C., Volume Fraction of Solids in the Freeboard Region of Fluidized Beds, *AIChE Symposium Series - Fluidization and Fluid Particle Systems*, No. 234, Vol. 80, pp. 114-118, 1984.
- KATO, K. TAJIMA, T., MAA, M., AND IWAMOTO, H., The Elutriation of Particles from the Fluidized Bed with Vertical Multi-Tubes Internals, *Conference Papers of the Second China-Japan Symposium on Fluidization*, Kunming, China, pp.136-147, 1985.
- KIM, J.H., AND SIMON, T.W., Journal of Heat Transfer Policy on Reporting Uncertainties in Experimental Measurements and Results, *Journal of Heat Transfer*, Vol. 115, pp. 5-6, 1993.

- KLINE, S.J., AND McCLINTOCK, F.A., Describing Uncertainties in Single-Sample Experiments, *Mechanical Engineering*, Vol. 75, pp. 161-164, 1953.
- KOCH, W.H., AND LICHT, W., New Design Approach Boosts Cyclone Efficiency, *Chemical Engineering*, Vol. 7, pp. 80-88, 1977.
- KUNII, D., AND LEVENSPIEL, O., Fluidization Engineering, *Wiley*, New York, 1969.
- KUNII, D., AND LEVENSPIEL, O., Entrainment of Solids from Fluidized Beds - I. Hold Up of Solids in the Freeboard; II. Operation of Fast Fluidized Beds, *Powder Technology*, Vol. 61, pp. 193-206, 1990.
- LAPPLE, C.E., AND SHEPHERD, C.B., Calculation of Particle Trajectories, *IEC*, No. 5, Vol. 32, pp. 605-617, 1940.
- LARGE, J.F., MARTINI, Y., BERGOUGNOU, M.A., *International Powder and Bulk Handling Conference*, Chicago, 1976.
- LENNARD-JONES, J.E., The Equation of State of Gases and Critical Phenomena, *Physica*, Vol. 4, p. 941, 1937.
- LEUNG, L.S., Design of Gas Distributors and Prediction of Bubble Size in Large Gas-Solid Fluidized Beds, *Powder Technology*, Vol. 6, pp. 189, 1972.
- LEUNG, L.S., NGUYEN, X., AND MAK, F.K., Throughflow in Bubbles in a Fluidized Bed, *AIChE Symposium Series - Fluidization*, No. 116, Vol. 67, pp. 34-37, 1971.

- LEVY, E.K., CARAM, H.S., DILLE, J.C., AND EDELSTEIN, S., Mechanisms for Solids Ejection from Gas-Fluidized Beds, *AIChE Journal*, No. 3, Vol. 29, pp. 383-388, 1983.
- LEVY, Y., AND LOCKWOOD, F.C., Laser Doppler Measurements of Flow in Freeboard of a Fluidized Bed, *AIChE Journal*, No. 6, Vol. 29, pp. 889-895, 1983.
- LEWIS, W.K., GILLILAND, E.R., AND LANG, P.M., *Chemical Engineering Progress Symposium Series*, No. 38, Vol. 58, pp. 65, 1962.
- LIPPENS, B.C., AND MULDER, J., Prediction of the Minimum Fluidization Velocity, *Powder Technology*, Vol. 75, pp. 67-78, 1993.
- LIU, Y.D., AND KIMURA, S., Fluidization and Entrainment of Difficult-to-Fluidize Fine Powder Mixed with Easy-to-Fluidize Large Particles, *Powder Technology*, Vol. 75, pp. 189-196, 1993.
- MASSARANI, G., Problemas em Sistemas Particulados, *Ed. Edgar Blucher LTDA.*, 1985.
- MASSARANI, G., Fluidodinâmica em Sistemas Particulados, *Ed. UFRJ*, Rio de Janeiro, 1997.
- MASSIMILLA, L. AND DONSI, G., Cohesive Forces in Fluidization of Fines Particles, *Powder Technology*, Vol. 15, p. 253, 1976.
- MAXWORTHY, T., The Structure and Stability of Vortex Rings, *Journal Fluid Mechanics*, part 1, Vol. 51, pp. 15-32, 1972.

- MERRICK, D., AND HIGHLEY, J., Particle Size Reduction and Elutriation in a Fluidized Bed Process, *AIChE Symposium Series - Recent Advances in Air Pollution Control*, No. 137, Vol. 70, pp. 366-378, 1974.
- MILIOLI, F.E., AND FOSTER, P.J., A Model for Particle Size Distribution and Elutriation in Fluidized Beds, *Powder Technology*, Vol. 83, pp. 265-280, 1995.
- MIWA, K., MORI, S., KATO, T., AND MUCHI, I., Behavior of Bubbles in Gaseous Fluidized Bed, *Chemical Engineering*, Vol. 35, pp. 770, 1971.
- MORI, S., AND WEN, C.Y., Estimation of Bubble Diameter in Gaseous Fluidized Beds, *AIChE Journal*, No. 1, Vol. 21, pp. 109-115, 1975.
- MOROOKA, S., KAGO, T., AND KATO, Y., Flow Pattern of Solids Particles in Freeboard of Fluidized Bed, *Proceedings of Fluidization IV*, pp. 291-298, 1983.
- MOROOKA, S., KAWAZUISHI, S.K., AND KATO, Y., Holdup and Flow Pattern of Solid Particles in Freeboard of Gas-Solid Fluidized Bed Fine Particles, *Powder Technology*, Vol. 26, pp. 75-82, 1980.
- MORSI, S.A., AND ALEXANDER, A.J., *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 55, pp. 193, 1972.
- MUNROE, H.S., The English versus the Continental System of Jigging - Is Close Sizing Advantageous?, *Transactions of American Institute of Mineral Engineers*, Vol. 17, pp/ 637-659, 1988.

- NGUYEN, T., NGUYEN, A., AND NIEH, S., An Improved Isokinetic Sampling Probe for Measuring Local Gas Velocity and Particle Mass Flux of Gas-Solid Suspension Flows, *Powder Technology*, Vol. 59, pp. 183-189, 1989.
- OSBERG, G.L., AND CHARLESWORTH, D.H., Elutriation in a Fluidized Bed, *Chemical Engineering Progress*, pp. 566-570, Nov., 1951.
- PEMBERTON, S.T., AND DAVIDSON, J.F., Turbulence in the Freeboard of a Gas-Fluidised Bed - The Significance of Ghost Bubbles, *Chemical Engineering Science*, No. 5, Vol. 39, pp. 829-840, 1984.
- PEMBERTON, S.T., AND DAVIDSON, J.F., Elutriation from Fluidized Beds-I. Particle Ejection from the Dense Phase into the Freeboard, *Chemical Engineering Science*, No. 2, Vol. 41, pp.243-262, 1986a.
- PEMBERTON, S.T., AND DAVIDSON, J.F., Elutriation from Fluidized Beds-II. Disengagement of Particles from Gas in the Freeboard, *Chemical Engineering Science*, No. 2, Vol. 41, pp.243-262, 1986b.
- PERRY, R.H., AND CHILTON, C.H., Chemical Engineers' Handbook, *McGraw-Hill Book Company*, Fifth Ed., 1973.
- PETTYJOHN, E.S., CHRISTIANSEN, E.B., Effect of Particle Shapes on Free-Settling Rates of Isometric Particles, *Chemical Engineering Progress*, Vol. 44, pp. 157-172, 1948.
- QI, Z., ZHONGYING, L., YOUNGSHEN, L., AND ZUNXIAO, W., Entrainment Rates from Baffled Fluidized Beds, *Conference Papers of the Second China-Japan Symposium on Fluidization*, Kunming, China, pp. 95-104, 1985.

- RIETEMA, K., COTTAAR, E.J.E., AND PIEPERS, H.W., The Effect of Interparticle Forces on the Stability of Gas-Fluidised Beds - II. Theoretical Derivation of Bed Elasticity on the Basis of van der Waals Forces Between Powder Particles, *Chemical Engineering Science*, Vol. 48, No. 9, pp. 1687-1697, 1993.
- ROWE, P.N., Prediction of Bubble Size in a Gas Fluidised Bed, *Chemical Engineering Science*, Vol. 31, pp. 285-288, 1976.
- ROWE, P.N., AND PARTRIDGE, B.A., An X-ray Study of Bubbles in Fluidised Bed, *Chemical Engineering Science*, Vol. 43, pp. 157, 1965.
- SCIAZKO, M., RACZEK, J., AND BANDROWSKI, J., Model of Gas Flow above a Bubbling Fluidized Bed: Prediction of Splash Zone Height, *Chemical Engineering Progress*, Vol. 24, pp. 49-55, 1988.
- SCIAZKO, M., BANDROWSKI, J., AND RACZEK, J., On the Entrainment of Solid Particles from a Fluidized Bed, *Powder Technology*, Vol. 66, pp. 33-39, 1991.
- SCHUURMANS, H.J.A., Solids Entrainment from Turbulent Fluidized Beds, *Institute of Chemical Engineering Symposium Series*, No. 87, pp. 495-507, 1985.
- SMOLDERS, K., AND BAEYENS, J., Elutriation of Fines from Gas Fluidized Beds: Mechanisms of Elutriation and Effect of Freeboard Geometry, *Powder Technology*, Vol. 92, pp. 35-46, 1997.
- SON, J.E., CHOI, J.H., AND LEE, C.K., Hydrodynamics in a Large Circulating Fluidized Bed, *Proceedings of Second International Conference on Circulating Fluidized Beds*, pp. 113-120, 1988.

- SON, J.E., CHOI, J.H., AND KIM, S.D., Particle Elutriation in Fluidized Bed Combustors. *Proceedings of Fluidization IV*, pp. 113-120, 1989.
- TANAKA, I., SHINOHARA, H., HIROSUE, H. AND TANAKA, Y., Elutriation of Fines from Fluidized Bed, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, No. 1, Vol. 5, pp. 51-56, 1972.
- TANAKA, I., AND SHINOHARA, H., Elutriation of Fines from Fluidized Bed - Study of Transport Disengaging Height, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, No. 1, Vol. 5, pp. 57-61, 1972.
- TARDIN JR., P.R., Cominuição de Partículas de Xisto Calcinado em um Leito Fluidizado Circulante a Frio, *Dissertação de Mestrado*, UNICAMP, 1993.
- TOOMEY, R.D., AND JOHNSTONE, H.F., *Chemical Engineering Progress*, Vol. 48, pp. 220, 1952.
- VISSER, J., An Invited Review - Van der Waals and Other Cohesive Forces Affecting Powder Fluidization, *Powder Technology*, Vol. 58, pp. 1-10, 1989.
- VISSER, J., On Hamaker Constants - a Comparison Between Hamaker Constants and Lifshitz-van der Waal Constants, *Advanced Colloid Interface Science*, Vol. 3, p. 331, 1972.
- XIE, H.Y., *Ph.D. Dissertation*, University of Bradford, 1993.

- XIE, H.Y., AND GELDART, D., Fluidization of FCC Powders in the Bubble-Free Regime: Effect of Types of Gases and Temperature, *Powder Technology*, Vol. 82, pp. 269-277, 1995.
- XU, B.H., AND YU, A.B., Numerical Simulation of the Gas-Solid Flow in a Fluidized Bed by Combining Discrete Particle Method with Computational Fluid Dynamics, *Chemical Engineering Science*, Vol. 52, No. 16, pp. 2785-2809, 1997.
- WALSH, P.M., CHAUNG, T.Z., DUTTA, J.M., BEER, J.M., AND SAROFIM, A.F., *American Chemical Society - Division Fuel Chemistry*, Vol. 27, pp. 243, 1982.
- WALSH, P.M., MAYO, J.E., AND BEER, J.M., Refluxing Particles in the Freeboard of a Fluidized Bed, *AIChE Symposium Series - Fluidization and Fluid Particle Systems*, No. 234, Vol. 80, pp. 119-128, 1984.
- WEN, C.Y., AND HASHINGER, R.F., Elutriation of Solids Particles from a Dense-Phase Fluidized Bed, *AIChE Journal*, pp. 220-226, jun., 1960.
- WEN, C.Y., AND CHEN, L.H., Fluidized Bed Freeboard Phenomena: Entrainment and Elutriation, *AIChE Journal*, No. 1, Vol. 28, pp. 117-128, 1982.
- WEN, C.Y., AND YU, Y.H., Mechanics of Fluidization, *Chemical Engineering Progress Symposium Series - Fluid Particle Technology*, No. 62, Vol. 62, pp. 100-111, 1966.
- YAGI, S., AND AOCHI, T., Elutriation of Particles from a Batch Fluidized Bed, *Proceedings of Society of Chemical Engineers (Japan)*, Spring Meeting, 1955, cited in Cheremisinoff, 1986.

- YATES, J.G., WU, K-T., AND CHEESMAN, D.J., Bubble Coalescence from Multiple Entry Nozzles. *Proceedings of VIII Conference on Fluidization*, pp. 10-19, 1997.
- ZENZ, F.A., AND WEIL, N.A., A Theoretical-Empirical Approach to the Mechanism of Particle Entrainment from Fluidized Beds. *AIChE Journal*, pp. 472-479, Dec., 1958.
- ZENZ, F.A., Particulate Solids - The Third Fluid Phase in Chemical Engineering, *Chemical Engineering*, Vol. 28, pp. 61-67, Nov., 1983.
- ZENZ, F.A., State-of-Art Review and Report on Critical Aspects and Scale-Up Considerations in the Design of Fluidized Bed Reactors, *Final Report on Phase I of Contract Number DE-AC-21-80 MC 14141*, 1984.
- ZENS, F.A., AND OTHMER, D.F., *Fluidization and Fluid Particle Systems*, Capítulo 12, Reinhold, New York, 1960.
- ZENS, F.A., AND SMITH, R., *Hydrocarbon Processing*, pp. 104-106, Feb., 1972.
- ZHANG, X., CAO, Y., REN, Y., CHEN, J., AND HONG, Y., *Proceedings of the 8th International Conference on Fluidized Bed Combustion*, Vol. 1, pp. 75, 1985.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

Estudo do Arraste de Partículas de FCC em Leito Fluidizado Borbulhante

Volume II

Autor: Paulo Roberto Tardin Jr.

Orientador: Leonardo Goldstein Jr.

12/97

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR Paulo Roberto Tardin
jr. E APROVADA PELA
COMISSÃO JULGADORA EM 15/12/97.

Leonardo Goldstein Jr.

ORIENTADOR

T173e
v.2
34454/BC

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA TÉRMICA E DE FLUIDOS**

Estudo do Arraste de Partículas de FCC em Leito Fluidizado Borbulhante

Autor: Paulo Roberto Tardin Jr.

Orientador: Leonardo Goldstein Jr.

Curso: Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Térmica e Fluidos

Tese de Doutorado apresentada à comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica.

Campinas, 1997

SP - Brasil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA TÉRMICA E DE FLUIDOS**

Tese de Doutorado

Estudo do Arraste de Partículas de FCC em Leito Fluidizado Borbulhante

Autor: Paulo Roberto Tardin Jr.

Orientador: Leonardo Goldstein Jr.

**Prof. Dr. Leonardo Goldstein Jr.
Universidade Estadual de Campinas**

**Prof. Dr. Theo Guenter Kieckbusch
Universidade Estadual de Campinas**

**Prof. Dr. Fernando Eduardo Millioli
Universidade de São Paulo**

**Prof. Dr. Fernando de Almeida França
Universidade Estadual de Campinas**

**Prof. Dr. Kamal Abdel Radi Ismail
Universidade Estadual de Campinas**

Campinas, 15 de dezembro de 1997

Índice

VOLUME II

Anexo A	Análise de Incertezas	1
Anexo B	Projeto Conceitual do Sistema de Testes	6
Anexo C	Listagem do Programa de Cálculo	30
Anexo D	Dados dos Testes Experimentais	49

Anexo A

Análise de Incertezas

Os experimentos foram realizados criteriosamente, os instrumentos montados de forma normalizada e a montagem inspecionada periodicamente. Testes preliminares foram conduzidos para avaliar o desempenho do sistema e para identificar e eliminar fontes de incertezas sistemáticas. Assim, espera-se que as incertezas sistemáticas, se não eliminados, tenham sido minimizados.

Uma estimativa das incertezas randômicas esperadas na medida do fluxo de arraste de partículas e da velocidade superficial do gás é apresentada neste anexo.

Para avaliar as incertezas de um resultado obtido a partir da composição de medidas primárias, foi utilizado o procedimento descrito por Kline e McClintock (1953) e referendado por Kim e Simon (1993). Supondo que um resultado R seja função das variáveis independentes $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$:

$$R = R(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (\text{a.1})$$

e que $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$, sejam as incertezas nas variáveis independentes, a incerteza w_R no resultado é dada como:

$$w_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_3} w_3 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{a.2})$$

As incertezas dos resultados apresentados no presente trabalho foram avaliadas utilizando a expressão anterior.

a. Fluxo de arraste de partículas

O fluxo de arraste é definido por:

$$F = \frac{1}{A} \frac{m_a}{t} \quad (\text{a.3})$$

onde m_a é a massa de partículas arrastada e coletada pela válvula de amostragem na linha de recirculação e pelo filtro de manga e t é o tempo total do teste.

As incertezas nas medidas foram admitidas como:

$$w_A = \pm 4,69 \times 10^{-3} \quad [\text{m}^2]$$

$$w_{ma} = \pm 5,00 \times 10^{-3} \quad [\text{kg}]$$

$$w_t = \pm 0,5 \quad [\text{s}]$$

A incerteza na determinação de F foi avaliada, aplicando a Eq. (a.2), por:

$$w_F = \left[\left(\frac{m_a}{tA^2} w_A \right)^2 + \left(\frac{1}{At} w_{ma} \right)^2 + \left(\frac{m_a}{At^2} w_t \right)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{a.4})$$

Aplicando a Eq. (a.4) para todos os testes realizados, tem-se a seguinte tabela:

Tabela a.1 Incertezas na determinação do fluxo de arraste de partículas.

n	t	$F \times 10^3$	m_s	dF/dA	dF/dm_s	dF/dt	$w_F \times 10^3$	
	(s)	(kg/m ² s)	(kg)	(kg/s)	(l/m ² s)	(kg/m ²)	<i>absoluto</i>	<i>relativo</i>
							(kg/m ² s)	(%)
1	240.00	1.24	0.084	0.00439	0.01474	0.00001	0.00015	12.00
2	30.08	13.87	0.118	0.04906	0.11758	0.00046	0.00122	8.80
3	10.22	75.14	0.217	0.26575	0.34606	0.00735	0.00520	6.92
4	9.77	180.64	0.499	0.63888	0.36200	0.01849	0.01037	5.74
5	5.55	313.96	0.493	1.11041	0.63726	0.05657	0.02946	9.38
6	4.48	519.45	0.658	1.83718	0.78946	0.11595	0.05914	11.39
7	120.00	4.33	0.147	0.01531	0.02947	0.00004	0.00030	7.02
8	60.00	26.72	0.453	0.09450	0.05895	0.00045	0.00077	2.88
9	10.41	126.58	0.373	0.44769	0.33975	0.01216	0.00727	5.75
10	9.91	231.02	0.647	0.81707	0.35689	0.02331	0.01278	5.53
11	6.13	388.89	0.674	1.37542	0.57696	0.06344	0.03288	8.45
12	90.10	2.49	0.063	0.00881	0.03925	0.00003	0.00039	15.86
13	20.25	13.00	0.074	0.04598	0.17466	0.00064	0.00179	13.76
14	10.45	104.02	0.307	0.36790	0.33845	0.00995	0.00626	6.02
15	10.20	187.65	0.541	0.66368	0.34674	0.01840	0.01031	5.50
16	5.29	315.18	0.471	1.11472	0.66858	0.05958	0.03098	9.83
17	120.00	2.09	0.071	0.00739	0.02947	0.00002	0.00030	14.21
18	60.00	9.05	0.154	0.03201	0.05895	0.00015	0.00061	6.77
19	10.30	68.78	0.200	0.24326	0.34338	0.00668	0.00492	7.16
20	5.44	159.88	0.246	0.56546	0.65014	0.02939	0.01629	10.19
21	5.49	284.02	0.441	1.00452	0.64422	0.05173	0.02707	9.53
22	120.00	1.80	0.061	0.00637	0.02947	0.00002	0.00030	16.46
23	60.00	7.07	0.120	0.02501	0.05895	0.00012	0.00060	8.54
24	10.22	74.83	0.216	0.26466	0.34606	0.00732	0.00519	6.93
25	10.33	142.42	0.416	0.50371	0.34238	0.01379	0.00805	5.65
26	5.34	270.02	0.408	0.95500	0.66232	0.05057	0.02652	9.82
27	120.00	1.49	0.051	0.00527	0.02947	0.00001	0.00030	19.85
28	60.00	7.07	0.120	0.02501	0.05895	0.00012	0.00060	8.54
29	10.16	74.13	0.213	0.26218	0.34811	0.00730	0.00519	7.00
30	10.22	145.41	0.420	0.51428	0.34606	0.01423	0.00827	5.69
31	5.27	271.85	0.405	0.96147	0.67112	0.05158	0.02703	9.94
32	151.00	1.41	0.060	0.00499	0.02342	0.00001	0.00024	16.70
33	60.00	7.08	0.120	0.02504	0.05895	0.00012	0.00060	8.53
34	10.31	70.48	0.205	0.24927	0.34304	0.00684	0.00498	7.07
35	10.33	129.63	0.379	0.45847	0.34238	0.01255	0.00746	5.76
36	6.13	258.93	0.449	0.91578	0.57696	0.04224	0.02231	8.62
37	10.15	59.01	0.169	0.20871	0.34845	0.00581	0.00464	7.87
38	10.28	46.24	0.134	0.16354	0.34404	0.00450	0.00418	9.04
39	15.24	52.59	0.227	0.18600	0.23207	0.00345	0.00302	5.74
40	10.32	52.88	0.154	0.18702	0.34271	0.00512	0.00437	8.26
41	10.43	50.38	0.149	0.17818	0.33910	0.00483	0.00425	8.43
42	10.37	72.35	0.212	0.25589	0.34106	0.00698	0.00502	6.94
43	10.40	67.59	0.199	0.23905	0.34007	0.00650	0.00484	7.15
44	10.18	72.08	0.207	0.25493	0.34742	0.00708	0.00510	7.08
45	10.39	71.17	0.209	0.25171	0.34040	0.00685	0.00497	6.98
46	10.49	75.46	0.224	0.26689	0.33716	0.00719	0.00509	6.74
						Média	0.01277	11.82

As maiores incertezas encontradas foram para os menores fluxos de arraste, devido à pouca massa coletada, em comparação aos outros testes.

b. Velocidade superficial de fluidização

De acordo com o Capítulo 3, seção 3.6, utilizou-se a norma ISO 5167 (1980) para a medida da descarga de ar no leito e, posteriormente, da velocidade superficial, de acordo com a seguinte expressão:

$$\dot{m}_{ar} = C_D A_d \left[\frac{2\gamma p_A \rho_A (Y^{2/\gamma} - Y^{(\gamma+1)/\gamma})}{(\gamma - 1)(1 - Y^{2/\gamma} \beta^4)} \right]^{1/2} \quad (a.5)$$

onde A_d = área do orifício da placa;

p_A = pressão à montante da placa;

p_B = pressão à jusante da placa;

γ = razão entre os calores específicos a pressão constante e a volume constante;

r = razão entre p_B e p_A ;

β = diâmetro do orifício dividido pelo diâmetro da tubulação, e

C_D = coeficiente de descarga, calculado por:

$$C_D = (1 - \beta^4)^{1/2} k \quad (a.6)$$

A determinação de k envolve a avaliação de alguns parâmetros, como segue:

$$A = d_o \left(905 - 5000\beta + 9000\beta^2 - 4200\beta^3 + \frac{875}{d_t} \right) \quad (a.7)$$

$$k_c = 0.5925 + \frac{0.0182}{d_t} + \left(0.44 - \frac{0.06}{d_t}\right)\beta^2$$

$$+ \left(0.935 + \frac{0.225}{d_t}\right)\beta^5 + 1.35\beta^{14} - \left(\frac{1.43}{d_t^{1/2}}\right)(0.25 - \beta)^{5/2}$$
(a.8)

$$k_o = \frac{10^6 k_c d_o}{10^6 d_o + 15A}$$
(a.9)

$$k = k_o \left(1 + \frac{\beta A}{R_{dt}}\right)$$
(a.10)

onde R_{dt} é o número de Reynolds baseado no diâmetro da tubulação.

O cálculo é iterativo, pois a determinação de k depende da descarga de ar. A velocidade superficial pode então ser determinada por:

$$U = \frac{\dot{m}_{ar}}{\rho A_L}$$
(a.11)

onde A_L é a área da seção transversal reta do leito denso. Os resultados do cálculo das incertezas para as velocidades de fluidização empregadas nos testes são apresentados na Tabela a.2:

Tabela a.2 Incertezas no cálculo da velocidade superficial de fluidização.

Incertezas das variáveis independentes	
• coeficiente de descarga da placa de orifício	0,8%
• densidade do ar, baseada na temperatura	1° C
• diferença de pressão na placa	1 mmCA
Velocidades de fluidização, m/s	Incertezas, %
0,10	7,32
0,21	1,56
0,27	0,91
0,35	0,53
0,39	0,43
0,45	0,32

Anexo B

Projeto Conceitual da Unidade

b.1 Descrição geral do processo

O estudo do processo de arraste será desenvolvido em uma unidade de testes com 0,60 m de diâmetro interno e 5,0 m de altura, conforme descrito no Capítulo 3. O processo compreende as seguintes etapas:

- a. Alimentação do leito;
- b. Arraste de sólidos, e
- c. Descarga de sólidos e ar:
 - Separação no ciclone CI01 com coleta do material arrastado nos silos SI01, e
 - Separação e coleta dos finos elutriados no filtro de mangas FM01, com descarga do ar para o ambiente.

Diagrama de Blocos

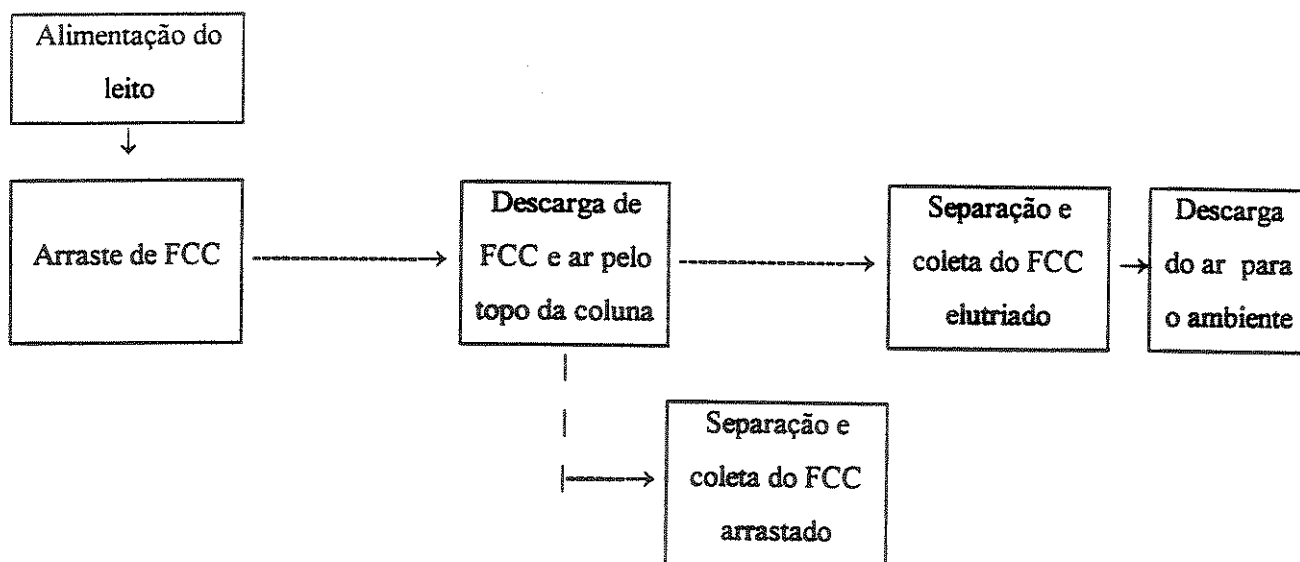


Figura b.1 Diagrama de blocos da unidade de testes.

A descrição a seguir deve ser acompanhada no fluxograma básico de processo, mostrado a seguir.

a. Alimentação do leito

A alimentação é feita por batelada e o inventário de sólidos é inserido no leito modelo através do bocal de alimentação BA01.

b. Arraste de sólidos

O ar de fluidização é suprido pelo soprador SO01. Com o processo em regime, parte das partículas sólidas do leito denso são arrastadas ao longo da coluna, pela erupção das bolhas no leito denso.

c. Descarga de sólidos e ar

Os sólidos arrastados que atingem o topo do leito entram no ciclone CI01, são parcialmente separados e coletados no silo SI01.

O ar mais os finos elutriados, ou seja, não coletados pelo ciclone CI01, escoam através do filtro de mangas FM01, onde os finos são coletados. O ar então atravessa os poros do filtro e é descartado para a atmosfera.

b.2 Dimensionamento Básico dos Equipamentos

b.2.1 Câmara plena CP01

A câmara plena tem o mesmo diâmetro interno da coluna de fluidização e entrada de ar tangencial, com duto de entrada de diâmetro interno igual a 0.15 m e altura total de 0.40 m.

- Área do duto de insuflamento de ar na câmara:

$$\begin{aligned}
 A_{dc} &= \frac{\pi d_{dc}^2}{4} \\
 &= \frac{\pi 0,15^2}{4} \\
 &= 1,767 \times 10^{-2} \text{ m}^2
 \end{aligned} \tag{b.1}$$

onde d_{dc} é o diâmetro interno do duto, em m.

- Velocidade superficial do ar no duto de entrada:

$$\begin{aligned}
 U_{dc} &= \frac{m_{ar}}{\rho A_{dc}} \\
 &= \frac{0,183}{1,079 \times 1,767 \times 10^{-2}} \\
 &= 9,598 \text{ m/s}
 \end{aligned} \tag{b.2}$$

onde m_{ar} é a descarga de ar insuflado, em kg/s.

- Queda de pressão na câmara (Zens, 1984):

$$\Delta P_c = \frac{\rho U_{dc}^2}{2g} \left(1 - \frac{\pi d_{dc}^2}{4} \frac{1}{h_c D} \right)^2 \tag{b.3}$$

$$= \frac{1.079 \times 9.598^2}{2 \times 9.81} \left(1 - \frac{\pi 0.15^2}{4 \times 0.40 \times 0.60} \right)^2$$

$$= 4,4 \text{ mmCA}$$

onde h_c = altura total da câmara. m. e

D = diâmetro da seção transversal reta da câmara. m.

- **Altura da placa distribuidora de ar à linha de centro do duto de entrada na câmara (Zens, 1984):**

Para $d_{dc} > D/100$,

$$h_d = 0.20D + 0.50d_{dc} \quad (\text{b.4})$$

$$= 0,20 \times 0,60 + 0,50 \times 0,15$$

$$= 0,195 \text{ m}$$

b.2.2 Distribuidor de Ar PD01

O distribuidor de ar é composto por bicos tipo torre e uma placa circular de 0,60 m de diâmetro interno e 0,015 m de espessura.

Ele é dimensionado geometricamente e a verificação dos requisitos de operação é feita posteriormente.

• Características geométricas:

Espessura da placa distribuidora: $e_p = 15 \text{ mm}$

Número de bicos: $n_v = 58$

Arranjo dos bicos: *triangular*

Altura total dos bicos: $h_b = 60 \text{ mm}$

Altura dos orifícios verticais: $h_v = 38 \text{ mm}$

Diâmetro interno dos orifícios verticais: $d_v = 20 \text{ mm}$

Topo dos bicos:	<i>cônico com 45° de inclinação</i>
Número de orifícios radiais:	<i>169 5 bicos com 2 furos cada</i>
	<i>32 bicos com 3 furos cada</i>
	<i>21 bicos com 3 furos cada</i>
Diâmetro interno dos orifícios radiais:	$d_r = 4 \text{ mm}$
Comprimento dos orifícios radiais:	$h_r = 10 \text{ mm}$

• **Queda de pressão no distribuidor:**

. Área da seção transversal reta de cada orifício vertical:

$$\begin{aligned}
 A_v &= \frac{\pi d_v^2}{4} \\
 &= \frac{\pi (20 \times 10^{-3})^2}{4} \\
 &= 3,142 \times 10^{-4} \text{ m}^2
 \end{aligned} \tag{b.5}$$

. Velocidade superficial do ar nos orifícios verticais:

$$\begin{aligned}
 U_v &= \frac{m_{ar}}{n_v \rho A_v} \\
 &= \frac{0,183}{58 \times 1,079 \times 3,142 \times 10^{-4}} \\
 &= 9,307 \text{ m/s}
 \end{aligned} \tag{b.6}$$

. Queda de pressão nos orifícios verticais:

$$\Delta P_{ov} = \rho \left(\frac{3}{4} U_v^2 - \frac{1}{2} U^2 \right) \tag{b.7}$$

$$\begin{aligned}
&= 1,079 \left(\frac{3}{4} \times 9,307^2 - \frac{1}{2} \times 0,60^2 \right) \\
&= 69,90 \text{ Pa} \\
&= 7,13 \text{ mmCA}
\end{aligned}$$

onde U é a velocidade superficial do ar no leito denso, em m/s.

Área da seção transversal reta de cada orifício radial:

$$\begin{aligned}
A_r &= \frac{\pi d_r^2}{4} \\
&= \frac{\pi (4 \times 10^{-3})^2}{4} \\
&= 1,257 \times 10^{-5} \text{ m}^2
\end{aligned} \tag{b.8}$$

Velocidade superficial do ar nos orifícios radiais:

$$\begin{aligned}
U_r &= \frac{m_{ar}}{n_r \rho A_r} \\
&= \frac{0,183}{169 \times 1,079 \times 1,257 \times 10^{-5}} \\
&= 79,84 \text{ m/s}
\end{aligned} \tag{b.9}$$

Queda de pressão nos orifícios radiais:

$$\begin{aligned}
\Delta P_{or} &= \rho \left(\frac{3}{4} U_r^2 - \frac{1}{2} U_v^2 \right) \\
&= 1,079 \left(\frac{3}{4} \times 79,84^2 - \frac{1}{2} \times 9,307^2 \right) \\
&= 5111,77 \text{ Pa} \\
&= 521,40 \text{ mmCA}
\end{aligned} \tag{b.10}$$

. Queda de pressão total no distribuidor:

$$\begin{aligned}\Delta P_d &= \Delta P_{ov} + \Delta P_{or} \\ &= 7,13 + 521,40 \\ &= 528,5 \text{ mmCA}\end{aligned}\tag{b.11}$$

b.2.3 Verificação das condições de operação

a. Queda de pressão mínima requerida no distribuidor (Basu, 1984)

. Altura de mínima fluidização do leito denso:

$$\begin{aligned}H_{mf} &= \frac{M}{\rho_b A} \\ &= \frac{452}{900 \times 0,2827} \\ &= 1,78 \text{ m}\end{aligned}\tag{b.12}$$

onde M = inventário do leito, kg;

ρ_b = densidade da massa de partículas sólidas, kg/m^3 , e

A = área da seção transversal reta do leito, m^2 .

. Queda de pressão no leito denso expandido:

$$\begin{aligned}\Delta P_l &= \frac{M}{A} \\ &= \frac{452}{0,2827} \\ &= 1598,9 \text{ mmCA}\end{aligned}\tag{b.13}$$

.Queda de pressão mínima requerida no distribuidor:

$$\begin{aligned}
 \Delta P_{dr} &= \left[0,01 + 0,02 \left(1 - e^{\frac{-10}{2H_{mf}}} \right) \right] \Delta P_l \\
 &= \left[0,01 + 0,02 \left(1 - e^{\frac{-0,60}{2 \times 1,78}} \right) \right] 1598,87 \\
 &= 20,95 \text{ mmCA}
 \end{aligned} \tag{b.14}$$

Como $\Delta P_d \gg \Delta P_{dr}$, a condição de mínima queda de pressão é atendida.

b. Estabilidade de operação (Basu, 1984)

Para que a operação do distribuidor seja estável, o coeficiente de estabilidade C_e tem que ser maior que 800.

.Coeficiente de estabilidade:

$$\begin{aligned}
 C_e &= \frac{16\rho U}{\left(\pi \frac{n_r}{A} 0,82 \left(\frac{h_r}{d_r} \right)^{0,13} d_r^2 \right)^2} \\
 &= \frac{16 \times 1,079 \times 0,60}{\left(\pi \frac{169}{0,2827} 0,82 \left(\frac{10}{4} \right)^{0,13} (4 \times 10^{-3})^2 \right)^2} \\
 &= 13444,33
 \end{aligned} \tag{b.15}$$

Como $C_e \gg 800$, o distribuidor operará de maneira estável.

c. Formação de canais preferenciais (Basu, 1984)

Para que não haja formação de canais preferenciais (*channelling*) do ar através do leito denso, o coeficiente C_c a seguir deve ser menor que 1, isto é:

$$\begin{aligned}
 C_c &= \frac{U_r}{\sqrt{2g \frac{\Delta \rho_l}{\rho}}} \\
 &= \frac{79.84}{\sqrt{2 \times 9.81 \frac{1598.87}{1.079}}} \\
 &= 0,468
 \end{aligned} \tag{b.16}$$

Logo, como $C_c < 1$, não haverá formação de canais preferenciais.

d. Operação plena dos orifícios do distribuidor (Basu, 1984)

. Distância centro a centro entre os bicos do distribuidor - arranjo triangular:

$$\begin{aligned}
 p &= \frac{1}{\sqrt{\frac{n_v}{A} \text{sen } 60^\circ}} \\
 &= \frac{1}{\sqrt{\frac{58}{0,2827} \text{sen } 60^\circ}} \\
 &= 7,50 \text{ cm}
 \end{aligned} \tag{b.17}$$

. Número de Arquimedes baseado no diâmetro médio das partículas do leito:

$$Ar = \frac{d_p^3 \rho (\rho_p - \rho) g}{\mu^2} \tag{b.18}$$

$$= \frac{(85 \times 10^{-6})^3 1.079(1350 - 1.079)9.81}{(1.993 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 22.08$$

onde d_p = diâmetro médio real das partículas no leito denso. m. considerando o fenômeno de aglomeração, calculado conforme o modelo de arraste proposto, e

ρ_p = densidade aparente das partículas. kg/m³.

.Número de Reynolds da partícula na condição de mínima fluidização (Geldart , 1986):

$$\text{Re}_{mf} = (33,7^2 + 0,0408 Ar)^{0,5} - 33,7 \quad (\text{b.19})$$

$$= (33,7^2 + 0,0408 \times 22,08)^{0,5} - 33,7$$

$$= 0,0134$$

.Velocidade de mínima fluidização no leito denso:

$$U_{mf} = \frac{\mu \text{Re}_{mf}}{\rho d_p} \quad (\text{b.20})$$

$$= \frac{1,993 \times 10^{-5} \times 0,0134}{1,079 \times 85 \times 10^{-6}}$$

$$= 2,912 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

. Requerimento para operação plena dos bicos injetores de ar:

$$\left(1 - \frac{2}{\pi}\right) 2p\rho_p \frac{(1 - \varepsilon_{mf})g}{1 - \left(\frac{U_{mf}}{U}\right)^2} 0,1020 < \Delta P_i \quad (\text{b.21})$$

$$\left(1 - \frac{2}{\pi}\right) 2 \times 7,50 \times 10^{-2} \times 1350 \frac{(1 - 0,40)9,81}{1 - \left(\frac{2,912 \times 10^{-3}}{0,60}\right)^2} 0,1020 < 1598,87$$

$$44,18 < 1598,87$$

Assim, os bicos operarão de forma plena.

e. Formação de zonas mortas no leito (Basu, 1984)

. Comprimento de penetração radial do jato de ar no leito denso:

$$L_j = 5,25d_r \left\{ \frac{\rho d_p}{\rho_p d_r} \left[\frac{\rho U_r^2}{\rho_p d_p g(1 - \varepsilon_{mf})} \right]^2 \right\}^{0,2} - 4,5d_r \quad (b.22)$$

$$= 5,25 \times 4 \times 10^{-3} \left\{ \frac{1,079 \times 85 \times 10^{-6}}{1350 \times 4 \times 10^{-3}} \left[\frac{1,079 \times 79,84^2}{1350 \times 85 \times 10^{-6} \times 9,81(1 - 0,40)} \right]^2 \right\}^{0,2} - 4,5 \times 4 \times 10^{-3}$$

$$= 7,56 \text{ cm}$$

.Requerimento para a eliminação de zonas mortas no leito:

$$L_j > p \quad (b.23)$$

Como $7,56 > 7,50$ cm, não haverá formação de zonas mortas no leito.

f. Área percentual do leito ocupada pelos orifícios radiais (Basu, 1984)

Recomenda-se que a soma das áreas dos orifícios radiais do distribuidor esteja entre 0,50 e 3,0% da área da seção transversal do leito, ou seja:

$$0,50\% < \frac{n_r A_r}{A} 100 < 3,0\% \quad (b.24)$$

$$0.50\% < \frac{169 \times 1.257 \times 10^{-5}}{0.2827} 100 < 3.0\%$$

$$0.50\% < 0.75\% < 3.0\%$$

Assim, o requerimento solicitado foi atendido.

b3 Coluna de Fluidização V01

A coluna de fluidização é composta por uma seção com 0.60 m de diâmetro interno e 5.00 m de altura .

O topo da coluna é dimensionado de forma cônica para minimizar o impacto das partículas arrastadas na *freeboard* contra a sua parede interna. Ele é móvel e desce a coluna por ação do próprio peso, subindo a mesma com o auxílio de um sistema manual de polia-catraca. O travamento do topo da coluna na posição determinada é feito através do insuflamento de uma câmara de ar acoplada em sua parede lateral, o que evita também a passagem de ar pelo espaço anular entre a parede lateral do cone e a parede interna da coluna de fluidização. O duto de saída da corrente de ar e partículas arrastadas, acoplado ao topo da coluna, é flexível e sanfonado, dimensionado de tal forma que a velocidade terminal da maior partícula aglomerada arrastada seja menor que a velocidade superficial do ar no interior do duto. O cálculo usado para seu dimensionamento é apresentado a seguir:

a. Número de Arquimedes para a maior partícula aglomerada arrastada

De acordo com cálculos preliminares realizados pelo modelo de arraste para grandes vasos, o maior diâmetro de partículas aglomeradas encontrado, d_{ma} , é da ordem de 40 mm. Assim,

$$Ar_a = \frac{d_{ma}^3 \rho (\rho_p - \rho) g}{\mu^2} \quad (b.25)$$

$$= \frac{(4 \times 10^{-2})^3 1.079(1350 - 1.079)9.81}{(1.993 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 2300 \times 10^6$$

. Número de Reynolds terminal (Massarani, 1985):

$$Re_t = \frac{\frac{k_1}{24} \frac{4}{3} Ar_a}{\left[1 + \left(\frac{k_1 k_2^{0.5}}{24} \left(\frac{4}{3} Ar_a \right)^{0.5} \right)^n \right]^{\frac{1}{n}}}, \quad (b.26)$$

onde

$$k_1 = 0.843 \log \left(\frac{\phi}{0.065} \right) \quad (b.27)$$

$$= 0.843 \log \left(\frac{0.90}{0.065} \right)$$

$$= 0.962$$

sendo ϕ a esfericidade da partícula, e

$$k_2 = 5.31 - 4.88\phi \quad (b.28)$$

$$= 5.31 - 4.88 \times 0.90$$

$$= 0.918$$

O valor de n pode ser calculado por:

para $\phi > 0.80$,

$$\begin{aligned}
 n &= 2.70 - 1.75\phi \\
 &= 2.70 - 1.75 \times 0.90 \\
 &= 1.125
 \end{aligned} \tag{b.29}$$

Assim, aplicando os resultados de (b.28) a (b.30) em (b.27), fica:

$$\begin{aligned}
 Re_t &= \frac{\frac{0.962}{24} \frac{4}{3} 2300 \times 10^6}{\left[1 + \left(\frac{0.962 \times 0.918^{0.5}}{24} \left(\frac{4}{3} 2300 \times 10^6 \right)^{0.5} \right)^{1.125} \right]^{\frac{1}{1.125}}} \\
 &= 57788.62
 \end{aligned}$$

b. Velocidade terminal da maior partícula aglomerada

$$\begin{aligned}
 U_t &= \frac{Re_t \mu}{d_{ma} \rho} \\
 &= \frac{57788.62 \times 1.993 \times 10^{-5}}{4.0 \times 10^{-2} \times 1.079} \\
 &= 26.685 \text{ m/s}
 \end{aligned} \tag{b.30}$$

c. Diâmetro máximo do duto flexível para arraste pleno das partículas

Admitindo o diâmetro do duto $d_d = 0,08 \text{ m}$, vem:

$$\begin{aligned}
 A_d &= \frac{\pi}{4} d_d^2 \\
 &= \frac{\pi}{4} 0,08^2 \\
 &= 5,027 \times 10^{-3} \text{ m}^2,
 \end{aligned} \tag{b.30}$$

onde A_d é a área de seção transversal reta do duto flexível.

d. Velocidade superficial do ar no duto

$$\begin{aligned}
 U_d &= \frac{m_{ar}}{\rho A_d} & (b.32) \\
 &= \frac{0.183}{1,079 \times 5,027 \times 10^{-3}} \\
 &= 33,738 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Como $U_d > U_b$, pode-se concluir que o maior diâmetro de partícula que atingir o topo do leito será arrastada através do duto flexível. Logo, o duto flexível terá um diâmetro interno de 0,08 m.

b.4 Ciclone CI01

O ciclone foi dimensionado seguindo a configuração de Stairmand para ciclones de alta eficiência. Estimou-se a concentração e a granulometria de sólidos que atingem a entrada do ciclone através do modelo de arraste proposto. Os cálculos são apresentados a seguir:

b.4.1 Particulado sólido na entrada do ciclone

a. Distribuição granulométrica das partículas arrastadas na entrada do ciclone

Diâmetro, d_{pa} (μm)	Percentual em Massa Acumulativo (%)
19	0,00
32	0,02
41	0,40
59	15,45
69	32,40
97	46,91
151	49,58
427	49,58
651	51,70
39222	100,00
Diâmetro médio: 146 μm	

- Concentração total de sólidos na entrada do ciclone:

$$C_T = 205 \text{ g/m}^3$$

b.4.2 Geometria do ciclone Stairmand

- Diâmetro do barril (Cheremisinoff, 1986):

$$D_b = \frac{\sqrt{Q}}{80} \quad , \quad (b.33)$$

onde Q é a vazão do ar de fluidização, em m^3/h , dada por:

$$\begin{aligned} Q &= 3600UA \\ &= 3600 \times 0,60 \times 0,2827 \\ &= 610,6 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned} \quad (b.34)$$

Assim,

$$\begin{aligned} D_b &= \frac{\sqrt{610,6}}{80} \\ &= 0,31 \text{ m} \end{aligned}$$

- Dimensões características geradas a partir do diâmetro do barril:

Dimensão Característica	Fator de Multiplicação	Valor, m
Altura total, a	4,000	1,24
Altura do barril, b	1,500	0,47
Diâmetro da perna, c	0,375	0,12
Altura da seção de saída do gás, e	0,500	0,16
Altura da seção de entrada, f	0,500	0,16
Largura da seção de entrada, g	0,200	0,06
Diâmetro da seção de saída do gás, h	0,500	0,16
Fator geométrico adimensional, s	-	55,1

b.4.3 Perda de pressão no ciclone

A perda de pressão entre a entrada e saída do ciclone foi calculada a partir das expressões de Koch e Licht (1977):

- Velocidade do ar na entrada do ciclone:

$$\begin{aligned}
 U_{ec} &= \frac{m_{ar}}{\rho(fg)} & (b.35) \\
 &= \frac{0,183}{1,079(0,16 \times 0,06)} \\
 &= 17,67 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

- Coeficiente de perda de pressão:

$$\begin{aligned}
 NH &= 11,3 \left[\frac{gh}{(0,5D_b)^2} \right]^2 + 3,33 & (b.36) \\
 &= 11,3 \left(\frac{0,06 \times 0,16}{0,5^2 \times 0,31^2} \right)^2 + 3,33 \\
 &= 5,13
 \end{aligned}$$

- Perda de pressão no escoamento sem sólidos:

$$\begin{aligned}
 \Delta P_{o_{cic}} &= NH \frac{\rho}{2} U_{ec}^2 & (b.37) \\
 &= 5,13 \frac{1,079}{2} 17,67^2 \\
 &= 864,1 \text{ mmCA}
 \end{aligned}$$

- Perda de pressão considerando o escoamento gás-sólidos:

$$\begin{aligned}
 \Delta P_{cic} &= \frac{\Delta P_{0cic}}{1 + 0.023 C_p^{0.69}} \\
 &= \frac{864.1}{1 + 0.023 \times 205^{0.69}} \\
 &= 453,5 \text{ kgf/cm}^2 \\
 &= 46,3 \text{ mmCA}
 \end{aligned} \tag{b.38}$$

- Rendimento fracional de coleta:

$$\eta_{ci} = 1 - \exp \left[-2(\psi_i) \left(\frac{1}{2n+2} \right) \right] \tag{b.39}$$

onde n é o número de vórtices, calculado por:

$$\begin{aligned}
 n &= 1 - \left[\left(1 - 0,67 D_b^{0,14} \right) \left(\frac{T}{283} \right)^{0,3} \right] \\
 &= 1 - \left[\left(1 - 0,67 \times 0,31^{0,14} \right) \left(\frac{50 + 273}{283} \right)^{0,3} \right] \\
 &= 0,55
 \end{aligned} \tag{b.40}$$

e ψ_i é o coeficiente de inércia modificado, calculado para cada diâmetro de partícula arrastada:

$$\psi_i = \frac{\rho_p d_i^2 U_{ec}(n+1)}{18 \mu D_b} \tag{b.41}$$

Substituindo os valores do coeficiente anterior calculados para cada tamanho de partícula arrastada e substituindo na Eq. (b.40), determina-se o rendimento de coleta do ciclone para cada tamanho de partícula.

- **Rendimento global de coleta:**

$$\eta_c = \sum_{i=1}^{nfg} \eta_{ci} x_i \quad (b.42)$$

Substituindo os valores dos rendimentos de coleta para cada tamanho de partícula, junto com as suas respectivas frações em massa, na Eq. (b.43), tem-se:

$$\eta_c = 99,988 \%$$

Na perna do ciclone CI01 será conectado o silo SI01, para uniformizar a descarga de sólidos até o reservatório no ponto 2 do fluxograma de processo, apresentado anteriormente.

b.5 Placa de Orifício PO01

A placa de orifício foi dimensionada considerando-se o diâmetro da tubulação de entrada na câmara plena, igual a 0,15 m. As equações usadas para o cálculo foram propostas de acordo com a norma ISO para medidas de fluxo e são dadas a seguir:

a. Geometria da placa

Tomadas de pressão: tipo *flange taps*;

Diâmetro do orifício: 0,12 m

Diâmetro interno da tubulação: 0,15 m

Fator de expansão adotado, Y : 0,70

b. Número de Reynolds do ar no interior da tubulação

$$Re = \frac{\rho U_{dc} d_{dc}}{\mu} \quad (b.43)$$

$$= \frac{1,079 \times 9,598 \times 0,15}{1,993 \times 10^{-5}}$$

$$= 77944,6$$

c. Coeficiente de arraste na placa

$$C_D = 0,5959 + 0,0312 \left(\frac{d_o}{d_{dc}} \right)^{2,1} - 0,184 \left(\frac{d_o}{d_{dc}} \right)^8 + 91,71 \frac{\left(\frac{d_o}{d_{dc}} \right)^{2,5}}{\text{Re}^{0,75}} \quad (\text{b.44})$$

$$= 0,5959 + 0,0312 \left(\frac{0,12}{0,15} \right)^{2,1} - 0,184 \left(\frac{0,12}{0,15} \right)^8 + 91,71 \frac{\left(\frac{0,12}{0,15} \right)^{2,5}}{77944,6^{0,75}}$$

$$= 0,596$$

d. Fator de compressibilidade

$$k = \frac{C_D}{\sqrt{1 - \left(\frac{d_o}{d_{dc}} \right)^4}} \quad (\text{b.45})$$

$$= \frac{0,596}{\sqrt{1 - \left(\frac{0,12}{0,15} \right)^4}}$$

$$= 0,776$$

e. Perda de pressão na placa

$$\Delta P_{po} = \left(\frac{m_{ar}}{\rho k \frac{\pi d_o^2}{4}} \right)^2 \frac{\rho}{2Y} \left[1 - \left(\frac{d_o^2}{d_{dc}^2} \right)^2 \right] \quad (\text{b.46})$$

$$\begin{aligned}
&= \left(\frac{0.183}{1.079 \times 0.776 \frac{\pi 0.12^2}{4}} \right)^2 \frac{1.079}{2 \times 0.70} \left[1 - \left(\frac{0.12^2}{0.15^2} \right)^2 \right] \\
&= 928,6 \text{ kgf/cm}^2 \\
&= 94,7 \text{ mmCA}
\end{aligned}$$

b.6 Filtros de Manga FM01

Os filtros foram dimensionados considerando-se duas mangas com 2.5 m² cada. A rotina de cálculo a seguir fornece a perda de pressão nos filtros para as condições de projeto especificadas, de acordo com as expressões propostas por Perry e Chilton (1973):

a. Concentração de sólidos na entrada dos filtros

$$\begin{aligned}
C_F &= C_T \left(1 - \frac{\eta_c}{100} \right) \\
&= 205 \left(1 - \frac{99,988}{100} \right) \\
&= 0,025 \text{ g/m}^3
\end{aligned} \tag{b.47}$$

b. Velocidade média normal do ar na superfície das mangas

$$\begin{aligned}
U_m &= \frac{Q/3600}{A_F} \\
&= \frac{610,6/3600}{5,0} \\
&= 0,034 \text{ m/s}
\end{aligned} \tag{b.48}$$

c. Perda de pressão nas mangas

$$\Delta P_{FM} = k_o U_m + k_m U_m C_F \tag{b.49}$$

onde k_{m} = coeficiente de resistência da manga, admitido igual a 2900 mmCA/(m/s), e
 k_{m} = coeficiente de resistência da torta, admitido igual a 600 mmCA/[kg/(m.s)].

Assim,

$$\begin{aligned}\Delta P_{FM} &= 2900 \times 0,034 + 600 \times 0,034 \times (0,025 \times 10^{-3}) \\ &= 98,6 \text{ mmCA}\end{aligned}$$

b.7 Soprador SO01

O soprador foi dimensionado a partir do cálculo da perda de pressão no sistema como um todo. Adotando uma perda de pressão nas tubulações e nos acidentes na linha igual a 200 mmCA, a perda de pressão total no sistema pode ser sumariada de acordo com a tabela a seguir:

Perdas de Pressão no Sistema (mmCA)	
.Tubulações e acidentes na linha	200,0
.Placa de orifício	94,7
.Câmara plena	4,4
.Distribuidor de ar	528,5
.Leito denso	1598,9
.Ciclone	46,3
.Filtro de mangas	98,6
.Total	2571,4

a. Potência necessária ao soprador

Admitindo um rendimento mecânico para o soprador igual a 0,60, tem-se:

$$\begin{aligned}
 W &= \frac{Q \left(\frac{\Delta p_T}{0,1020} \right)}{735 \eta_s} & (b.50) \\
 &= \frac{0,170 \left(\frac{2571,4}{0,1020} \right)}{735 \times 0,60} \\
 &= 9,72 \text{ cv}
 \end{aligned}$$

Anexo C

Listagem do Programa de Cálculo

```
# include <math.h>
# include <conio.h>
# include <stdio.h>
# include <time.h>

# define N 50
# define Nang 20

int i1,i2,nf,pp,nfg1;
int nb = 2;
int NB = 6;

double D,Ht,Ho,T,visc,dens,denspa,denspb,M,fi,dpi,U,dpM,dpgm,sigmas,He,
      dB,UB,emf,TDH,beta,Ug,nt,Umb,Umf;
double pi = 3.1416;
double g = 9.81;
double cont = 3.0;

/***** INICIO DO PROGRAMA PRINCIPAL *****/

main()
{
int i,nfg,nfg2;
double An,Ai,dp[N],X[N],x[N],xo[N],Upt[N],PnBt,PnB[10],fPnBt(),
      z[N][Nang+1],dpm,fdpm(),Umfi[N],fUmfi(),fDB(),fB,Fo,fFo(),
      Foi[N],zmax,fzmax(),fsigmas(),fdpM(),aglomere(),xag,errog,Upo,seg;

/* DADOS DE ENTRADA: ESPECIFICAO DO PROBLEMA */

especificacao(dp,X);

/* ASPECTOS GEOMETRICOS DO LEITO */

Ai = pi*D*D/4;
An = Ai/nf;

/* PROPRIEDADES DO AR: VISCOSIDADE E DENSIDADE */

fprop();

/* INCLUSAO DE AGLOMERADOS NA SOLUCAO */

nfg2 = 35;
for(i = nfg1; i <= nfg2-1; i++)
  X[i] = 100.00E-2;
```

```

* CONVERSAO DA DISTRIBUICAO ACUMULATIVA PARA DISTRIBUICAO COMUM */
conv(X,x,xo,nfg2);

* DESVIO PADRAO GEOMETRICO DA DISTRIBUICAO GRANULOMETRICA DOS
  SOLIDOS ALIMENTADOS */

sigmas = fsigmas(dp,X);

* DIAMETRO MEDIO GEOMETRICO DOS SOLIDOS ALIMENTADOS */

fdpgm(dp,nfg1);

* VELOCIDADES TERMINAIS DAS PARTICULAS ALIMENTADAS NO LEITO
  DETERMINACAO DAS PARTICULAS FINAS PELOS CRITERIOS DE VELOCIDADE
  TERMINAL E AGLOMERACAO */

finos(dp,Upt);

/* FRACAO EM MASSA DOS FINOS QUE SE AGLOMERAM NO LEITO EM REGIME
  PERMANENTE */

xag = aglomere(x,X,dp,Upt);

/* INICIO DO CALCULO ITERATIVO:

  - DISTRIBUICAO GRANULOMETRICA EFETIVA DO LEITO DENSO: AGLOMERADOS;
  - DIAMETRO MEDIO DE SAUTER;
  - VELOCIDADE MINIMA DE FLUIDIZACAO;
  - DIAMETRO E VELOCIDADE DAS BOLHAS;
  - ALTURA DO LEITO EXPANDIDO;
  - TAMANHO MAXIMO E DISTRIBUICAO GRANULOMETRICA DOS AGLOMERADOS, E
  - VELOCIDADE TERMINAL DOS AGLOMERADOS. */

nfg = nfg1;
dpM = dp[nfg-1]+1.0E-6;
errog = 1.0;
while(errog >= 1.0E-3)
{
  /* DIAMETRO MEDIO DE SAUTER DA DISTRIBUICAO GRANULOMETRICA EFETIVA
    DO LEITO DENSO */

  dpm = fdpm(dp,x,nfg);

  /* VELOCIDADE MINIMA DE FLUIDIZACAO MEDIA E PARA CADA TAMANHO DE
    PARTICULA PRESENTE NO LEITO DENSO */

  Umf = fUmf(dpm,dp,Umf1,nfg);

  /* VELOCIDADE DE MINIMO BORBULHAMENTO E POROSIDADE EM MINIMA FLUIDIZACAO*/

  Umb = 0.3*dpm*exp(0.716*X[10])*exp(0.13*log(dens))/sqrt(visc);
  cmf = 0.4*exp(0.22*log(Umb/Umf));

```

* VELOCIDADE E DIAMETRO MEDIOS DAS BOLHAS NAS SUPERFICIE DO LEITO
DENSO E ALTURA DO LEITO EXPANDIDO *

dB = fdB(An,Umf);

* DIAMETRO MAXIMO DOS AGLOMERADOS;
ERRO RELATIVO VERIFICADO NESTA ITERACAO *

```
Upo = 45.0;
errog = fdpM(dp,x,xo,X,Upt,xag,nfg2,nfg,Upo);
nfg = nfg2;
}
```

/* FIM DO CALCULO ITERATIVO */

/* FREQUENCIA DE BORBULHAMENTO */

fB = (U-Umf)*A/(pi/6*dB*dB*dB);

/* PROBABILIDADE DE COALESCENCIA SIMULTANEA DE BOLHAS NA SUPERFICIE
DO LEITO DENSO */

PnBt = fPnBt(PnB);

/* FLUXO DE EJECAO TOTAL DAS PARTICULAS NA FREEBOARD */

Fo = fFo(Foi,PnB,x,Upt,Umf,nfg2);

/* ALTURA MAXIMA ATINGIDA PELAS PARTICULAS GROSSEIRAS PARA CADA
ANGULO DE EJECAO */

zmax = fzmax(z,Upt,dp,nfg2,dpm,Upo);

/* FLUXOS DE ARRASTE E CONCENTRACOES FRACIONAIS AO LONGO DA ALTURA;
ARQUIVOS ARRASTE3.TXT E ARRASTE4.TXT */

fluxos(Upt,Foi,dp,z,zmax,nfg2);

/* ARQUIVOS ARRASTE1.TXT E ARRASTE2.TXT
IMPRESSAO DE RESULTADOS NA TELA */

imprime(dp,X,xo,Upt,Umf,Umf,Fo,Upo,dB,PnBt,fB,nfg2);

/* DETERMINACAO DO TEMPO DE CALCULO */

```
seg = clock()/CLK_TCK;
tempo(seg);
}
```

/****** FIM DO PROGRAMA PRINCIPAL *****/

/****** SUBROTINAS DO PROBLEMA *****/

/* (F1) DADOS DE ENTRADA: ESPECIFICACAO DO PROBLEMA */

```

especificacao(dp,X)
double *dp,*X;
/
int i;

*clrscr();
printf("\n\n");
printf("(1) GEOMETRIA DO LEITO: \n\n");
printf("Diâmetro do leito (m): ");
scanf("%le",&D);
printf("Altura da coluna (m): ");
scanf("%le",&Ht);
while(pp != 1 && pp != 2)
{
    printf("Tipo de distribuidor de gas:\n");
    printf(" (1) Placa de orifícios, com distribuidores tipo torre ");
    printf("ou grade tubular:\n");
    printf(" (2) Placa porosa.\n");
    printf("Opcao: ");
    scanf("%d",&pp);
}
if(pp == 1)
{
    printf("Número de furos no distribuidor de gas: ");
    scanf("%d",&nf);
}

clrscr();
printf("\n\n");
printf("(2) DADOS DO GAS (AR):\n");
printf("Temperatura do gas (Graus Celsius): ");
scanf("%le",&T);
printf("Velocidade do gas (m/s): ");
scanf("%le",&U);

clrscr();
printf("\n\n");
printf("(3) DADOS DAS PARTICULAS (FCC):\n");
printf("Densidade aparente (kg/m3): ");
scanf("%le",&denspa);
printf("Densidade bulk (kg/m3): ");
scanf("%le",&denspb);
printf("Inventario (kg): ");
scanf("%le",&M);
printf("Esfericidade: ");
scanf("%le",&fi);
printf("Número de faixas granulométricas: ");
scanf("%d",&nfgl);*/

Ho = 4*M/(denspb*pi*D*D);

clrscr();
printf("\n\n");

```

```

printf("DIAMETRO DAS PARTICULAS ALIMENTADAS NO TUBO COM MICRONS: n");
printf("      (do menor para o maior diametro) n n");
for(i = 0; i <= nfg1-1; i++)
{
    printf("dp[%d] = ",i);
    scanf("%6le",&dp[i]);
    dp[i] = 1.0E-6*dp[i];
}

```

```

clrscr();
printf("n\n");
printf("FRACAO EM MASSA DAS PARTICULAS EM MASSA (PORCENTAGEM):n");
printf("      (do menor para o maior diametro)n n");
for(i = 0; i <= nfg1-1; i++)
{
    printf("X[%2d] = ",i);
    scanf("%6le",&X[i]);
    X[i] = 1.0E-2*X[i];
}

```

```

clrscr();
printf("n\n");
printf("Aguarde Solucao do Problema ...n");
}

```

/* (F2) PROPRIEDADES DO AR: DENSIDADE E VISCOSIDADE */

```

fprop()
{
    T = T+273;
    dens = 346.314*exp(-0.997291*log(T));
    visc = (0.286217+0.00613621*T-3.23135E-6*T*T+9.73235E-10*T*T*T)*1.0E-5;
}

```

/* (F3) CONVERSAO DA DISTRIBUICAO ACUMULATIVA PARA A COMUM */

```

conv(X,x,xo,nfg2)
int  nfg2;
double *X,*x,*xo;
{
    int  i;

    x[0] = X[0];
    xo[0] = x[0];
    for(i = 1; i <= nfg2-1; i++)
    {
        x[i] = X[i]-X[i-1];
        xo[i] = x[i];
    }
}

```

/* (F4) DESVIO PADRAO GEOMETRICO DA DISTRIBUICAO GRANULOMETRICA DOS
SOLIDOS ALIMENTADOS */

```

double tsigma5(dp,X)
double *dp,*X;
{
    int i;
    double sigmas,dp1,dp2,aux;

    i = 0;
    while(X[i] < 0.159)
        i = i+1;
    if(i > 0)
    {
        aux = (0.159-X[i-1])/(X[i]-X[i-1]);
        dp1 = aux*(dp[i]-dp[i-1])+dp[i-1];
    }
    else
        dp1 = dp[i];
    while(X[i] < 0.50)
        i = i+1;
    aux = (0.50-X[i-1])/(X[i]-X[i-1]);
    dp2 = aux*(dp[i]-dp[i-1])+dp[i-1];
    sigmas = dp2/dp1;
    return(sigmas);
}

```

/* (F5) DIAMETRO MEDIO GEOMETRICO DOS SOLIDOS ALIMENTADOS */

```

fdpgm(dp,nfg)
int nfg;
double *dp;
{
    int i;
    double aux;

    aux = 1.0;
    for( i = 0; i <= nfg-1; i++)
        aux = aux*exp(1.0/nfg*log(dp[i]));
    dpgm = aux;
}

```

/* (F6) VELOCIDADES TERMINAIS DAS PARTICULAS ALIMENTADAS NO LEITO;
DETERMINACAO DAS PARTICULAS FINAS PELO CRITERIO DE
VELOCIDADE TERMINAL */

```

finos(dp,Upt)
double *dp,*Upt;
{
    int i;
    double dc,fUpt();

    for(i = 0; i <= nfg1-1; i++)
    {
        dpi = dp[i];
        Upt[i] = fUpt();
    }
}

```

```

    i1 = n1g1-1;
    while(Upt[i1] > 1)
        i1 = i1-1;

    dc = 10325*exp(0.725*log(denspa));
    dc = 130*1.01^-6;
    i2 = n1g1-1;
    while(dp[i2] > dc)
        i2 = i2-1;

}

/* (F7) VELOCIDADE TERMINAL PARA CADA TAMANHO DE PARTICULA */

double fUpt()
{
    double Upt,Cd,fCd(),Re,erro,aux;

    Cd = 0.90;
    Upt = sqrt(4.0/3*(denspa-dens)/dens*g*fi*dpi/Cd);
    erro = 1.0;
    while(erro >= 0.00001)
    {
        aux = Upt;
        Re = dens*dpi*Upt/visc;
        Cd = fCd(Re);
        Upt = sqrt(4.0/3*(denspa-dens)/dens*g*fi*dpi/Cd);
        erro = fabs((Upt-aux)/Upt);
    }
    return(Upt);
}

/* (F7.1) COEFICIENTE DE ARRASTE */

double fCd(Re)
double Re;
{
    double Cd,C1,C2,C3,C4;

    C1 = exp(2.3288-6.4581*fi+2.4486*fi*fi);
    C2 = 0.0964+0.5565*fi;
    C3 = exp(4.905-13.8944*fi+18.4222*fi*fi-10.2599*fi*fi*fi);
    C4 = exp(1.4681+12.2584*fi-20.7322*fi*fi+15.8855*fi*fi*fi);
    Cd = 24.0/Re*(1.0+C1*exp(C2*log(Re)))+C3/(1.0+C4/Re);
    return(Cd);
}

/* (F8) FRACAO EM MASSA DOS FINOS QUE SE AGLOMERAM NO LEITO EM REGIME
    PERMANENTE */

double aglomere(x,X,dp,Upt)
double *x,*X,*dp,*Upt;
{

```

```

int i,ng;
int n = 100;
double dio,ddi,soma,soma1,soma2,ffag(),xag,Xe[N],xe[N],dc;

dio = 0.001*dp[0];
ddi = (dp[0]-dio)/n;
soma = 0.0;
for(j = 1; j <= n; j++)
{
    soma1 = ffag(dio+ddi/3)+ffag(dio+2*ddi/3);
    soma2 = ffag(dio)+ffag(dio+ddi);
    soma = soma+(3*soma1+soma2)*ddi/8;
    dio = dio+ddi;
}
Xe[0] = soma*X[0];
for(i = 1; i <= i2; i++)
{
    dio = dp[i-1];
    ddi = (dp[i]-dp[i-1])/n;
    for(j = 1; j <= n; j++)
    {
        soma1 = ffag(dp[i-1]+ddi/3)+ffag(dp[i-1]+2*ddi/3);
        soma2 = ffag(dp[i-1])+ffag(dp[i]);
        soma = soma+(3*soma1+soma2)*ddi/8;
        dio = dio+ddi;
    }
    Xe[i] = soma*X[i];
}
xe[0] = Xe[0];
for(i = 1; i <= i2; i++)
    xe[i] = Xe[i]-Xe[i-1];
xag = 0.0;
for(i = 0; i <= i2; i++)
    xag = xag+x[i]-xe[i];
for(i = 0; i <= i2; i++)
    x[i] = xe[i];
ng = nfg1-i2-1;
for(i = i2+1; i <= nfg1-1; i++)
    x[i] = x[i] + xag/ng;
X[0] = x[0];
for(i = 1; i <= nfg1-1; i++)
    X[i] = X[i-1]+x[i];
return(xag);
}

/* (F8.1) FUNCAO UTILIZADA NO CALCULO DA FRACAO EM MASSA DOS FINOS
    QUE SE AGLOMERAM */

double ffag(dpp)
double dpp;
{
    double pi = 3.1415927;
    double fag,aux;

```

```

aux = log(dpp)-log(dpgm);
aux = exp(-aux*aux*(2*log(cont*sigmas)*log(cont*sigmas)));
flag = aux*(sqrt(2*pi)*log(cont*sigmas)*dpp);
return(flag);
}

```

**(F9) DIAMETRO MEDIO DE SAUTER **

```

double fdpm(dp,x,nfg)
int nfg;
double *dp,*x;
{
int i;
double dpm,aux;

```

```

aux = 0.0;
for(i = 0; i <= nfg-1; i++)
    aux = aux+x[i]/dp[i];
dpm = 1/aux;
return(dpm);
}

```

**(F10) VELOCIDADE DE MINIMA FLUDIZACAO MEDIA E PARA CADA TAMANHO DE PARTICULA */*

```

double fUmf(dpm,dp,Umf,nfg)
int nfg;
double dpm,*dp,*Umf;
{
int i;
double Ar,aux;

```

```

Ar = dens*(denspa-dens)*g*dpm*dpm*dpm/(visc*visc);
if(dpm > 100E-6)
    Umf = (sqrt(1135.7+0.0408*Ar)-33.7)*visc/(dens*dpm);
else
{
    aux = exp(0.934*log(g*(denspa-dens)))*exp(1.8*log(dpm));
    Umf = aux/(1111*exp(0.87*log(visc))*exp(0.066*log(dens)));
}
for(i = 0; i <= nfg-1; i++)
{
    Ar = dens*(denspa-dens)*g*dp[i]*dp[i]*dp[i]/(visc*visc);
    if(dp[i] > 100E-6)
        Umf[i] = (sqrt(1135.7+0.0408*Ar)-33.7)*visc/(dens*dp[i]);
    else
    {
        aux = exp(0.934*log(g*(denspa-dens)))*exp(1.8*log(dp[i]));
        Umf[i] = aux/(1111*exp(0.87*log(visc))*exp(0.066*log(dens)));
    }
}
return(Umf);
}

```

/* (F11) VELOCIDADE E DIAMETRO MÉDIOS DAS BOILAS NA SUPERFÍCIE DO LEITO
DENSO E ALTURA DO LEITO EXPANDIDO */

```
double fdB(An,Umf)
double An,Umf;
{
double dBo,dBm,fHmf,aux,erro;

if(pp == 1)
    dBo = 0.872*exp(0.4*log(An*(U-Umf)));
else
    dBo = 0.376*(U-Umf)*(U-Umf);
dBm = 1.87*dBo;
fHmf = fHo;
dB = 0.8*dBm;
erro = 1.0;
while(erro >= 1.0E-5)
{
    UB = 0.71*sqrt(g*dB)+(U-Umf);
    fHe = (U-Umf)*fHmf/(0.71*sqrt(g*dB))+fHmf;
    aux = dB;
    dB = dBm-exp(-0.3*fHe/D)*(dBm-dBo);
    erro = fabs((dB-aux)/dB);
}
return(dB);
}
```

/* (F12) DIAMETRO MÁXIMO DOS AGLOMERADOS */

```
double fdpM(dp,x,xo,X,Upt,xag,nfg2,nfg,Upo)
int nfg2,nfg;
double *dp,*x,*xo,*X,*Upt,xag,Upo;
{
int i,j,ng;
double errog,erro,dpMo,Ddp,dfHM,fHM(),fUpt(),aux,sig1,soma1;
double ddpM = 1.0E-8;

erro = 1.0;
dpM = dp[nfg-1]+1.0E-6;
while(erro >= 0.001)
{
    dpMo = dpM;
    dfHM = (fHM(dpM+ddpM,Upo)-fHM(dpM-ddpM,Upo))/(2*ddpM);
    dpM = dpM-fHM(dpM,Upo)/dfHM;
    erro = fabs(dpM-dpMo)/dpM;
}
errog = fabs(dpM-dp[nfg-1])/dpM;
```

/* DISTRIBUICAO DE TAMANHO DOS AGLOMERADOS */

```
dp[nfg2-1] = dpM;
Ddp = (dpM-dp[nfg1-1])/(nfg2-nfg1);
for(i = nfg1; i <= nfg2-2; i++)
    dp[i] = dp[i-1]+Ddp;
```

* DIAMETRO MEDIO GEOMETRICO DAS PARTICULAS NO LEITO DENSO *

```
ldpgm(dp.nfg2);
```

* DISTRIBUICAO DOS FINOS AGLOMERADOS EM PARTICULAS GROSSEIRAS;
DISTRIBUICAO UNIFORME *

```
ng = nfg2-i2-1;
```

```
for(j = i2+1; j <= nfg2-1; j++)
```

```
  x[j] = x0[j]+xag/ng;
```

* CONVERSAO DA DISTRIBUICAO COMUM PARA A ACUMULATIVA *

```
X[0] = x[0];
```

```
for(j = 1; j <= nfg2-1; j++)
```

```
  X[j] = X[j-1]+x[j];
```

/* VELOCIDADE TERMINAL DOS AGLOMERADOS */

```
for(i = nfg1; i <= nfg-1; i++)
```

```
{
```

```
  dpi = dp[i];
```

```
  Upt[i] = fUpt();
```

```
}
```

```
return(errog);
```

```
}
```

/* (F12.1) DIFERENCA ENTRE A ALTURA MAXIMA Atingida PELO AGLOMERADO DE
MAIOR DIAMETRO E A TDH */

```
double fHM(dpM.Upo,zmax)
```

```
double dpM.Upo,zmax;
```

```
{
```

```
double HM.fz();
```

```
dpi = dpM;
```

```
TDH = 2.50;
```

```
HM = fz(Upo)-TDH;
```

```
return(HM);
```

```
}
```

/* (F13) PROBABILIDADE DE COALESCENCIA SIMULTANEA DE BOLHAS NA
SUPERFICIE DO LEITO DENSO */

```
double fPnBt(PnB)
```

```
double *PnB;
```

```
{
```

```
int i,nB;
```

```
double PnBt,Dlm,sigma,a,b,c,Pd,fPd(),tetac,Pc,raz;
```

```
Dlm = dB*exp(-1.0/3*log(6.0/pi*(U-Umf)/UB));
```

```
sigma = 0.76;
```

```

a = 1.0/sqrt(2*pi*sigma);
b = -1.0/(sigma*sigma);
c = Dlm/dB;
Pd = fPd(a,b,c);
tetac = -7.22291+0.2754*(1/Umf);
tetac = tetac*pi/180;
Pc = Pd*(1-cos(tetac));
for(i = 0; i <= NB-nb; i++)
{
    nB = i+nb;
    PnB[i] = (1-Pc)*exp((nB-1)*log(Pc));
}
PnBt = 0.0;
for(i = 0; i <= NB-nb; i++)
    PnBt = PnBt+PnB[i];
return(PnBt);
}

```

/* (F13.1) PROBABILIDADE DE COALESCENCIA SIMULTANEA DE Nb BOLHAS NA
SUPERFICIE DO LEITO DENSO */

```

double fPd(a,b,c)
double a,b,c;
{
    int i,n;
    double y1,y2,y,dy,Pd,soma1,soma2,ffPd();

    y1 = -4.0;
    y2 = 1.0;
    n = 10000;
    dy = (y2-y1)/n;
    Pd = 0.0;
    y = y1;
    for(i = 1; i <= n; i++)
    {
        soma1 = ffPd(y+dy/3,a,b,c)+ffPd(y+2*dy/3,a,b,c);
        soma2 = ffPd(y,a,b,c)+ffPd(y+dy,a,b,c);
        Pd = Pd+dy*(3*soma1+soma2)/8;
        y = y+dy;
    }
    return(Pd);
}

```

/* (F13.1.1) FUNCAO EMPREGADA NO CALCULO DE fPd() */

```

double ffPd(y,a,b,c)
double y,a,b,c;
{
    float fPd;

    fPd = a*exp(b*(y-c)*(y-c));
    return(fPd);
}

```

/* (F14) FLUXO DE EJECAO TOTAL DAS PARTICULAS NA FRELBOARD */

```
double fFoi(Foi,PnB,x,Upt,Umt,nfg2)
int nfg2;
double *Foi,*PnB,*x,*Upt,Umt;
;
int i,nB;
double Fo,aux;

cmf = 0.4*exp(0.22*log(Umb/Umt));
aux = 0.0;
for(nB = nb; nB <= NB; nB++)
    aux = aux+(nB-1)*PnB[nB-nb];
Fo = 0.1*denspa*(1-cmf)*(U-Umt)*aux;
for(i = 0; i <= nfg2-1; i++)
    Foi[i] = Fo*x[i];
for (i = 0; i<= nfg2-1; i++)
    if(Upt[i]>U)
        Fo = Fo+Foi[i];
return(Fo);
;
```

/* (F15) ALTURA MAXIMA ATINGIDA PELAS PARTICULAS GROSSEIRAS PARA CADA ANGULO EJECAO */

```
double fZmax(z,Upt,dp,nfg2,dpm,Upo)
int nfg2;
double z[i][Nang+1],*Upt,*dp,dpm,Upo;
{
int i,j;
double zmax,Upj[Nang+1],fz();

zmax = 0.0;
for(i = i1+1; i <= nfg2-1; i++)
{
    dpi = dp[i];
    for(j = 0; j <= Nang; j++)
    {
        Upj[j] = Upo*cos(j*pi/(2*Nang));
        z[i][j] = fz(Upj[j]);
        if(z[i][j] > zmax)
            zmax = z[i][j];
    }
}
return(zmax);
}
```

/* (F15.1) ALTURA MAXIMA ATINGIDA PELAS PARTICULAS GROSSEIRAS : METODO RUNGE-KUTTA DE QUARTA ORDEM */

```
double fz(Upoj)
double Upoj;
{
double t,dt,Upj,z,k11,k12,k21,k22,k31,k32,k41,k42,f10,f20;
```

```

dt = 0.001;
t = 0.0;
Upj = Upo;
z = fLe;
while(Upj > 0.001)
{
    k11 = dt*f1(t,Upj,z);
    k12 = dt*f2(t,Upj,z);
    k21 = dt*f1(t+dt/2,Upj+k11/2,z+k12/2);
    k22 = dt*f2(t+dt/2,Upj+k11/2,z+k12/2);
    k31 = dt*f1(t+dt/2,Upj+k21/2,z+k22/2);
    k32 = dt*f2(t+dt/2,Upj+k21/2,z+k22/2);
    k41 = dt*f1(t+dt,Upj+k31,z+k32);
    k42 = dt*f2(t+dt,Upj+k31,z+k32);
    t = t+dt;
    Upj = Upj+(k11+2*k21+2*k31+k41)/6;
    z = z+(k12+2*k22+2*k32+k42)/6;
}
return(z);
}

```

/* (F15.1.1) FUNCAO UTILIZADA NO METODO RUNGE-KUTTA DE QUARTA ORDEM */

```

double f1(t,Upi,z)
double t,Upi,z;
{
    double ffl,Re,Cd,fCd(),aux;

    Re = dens*fabs(Upi-U)*dpi/visc;
    Cd = fCd(Re);
    ffl = -3.0/4*dens*Cd*fabs(Upi-U)*(Upi-U)/(ff*dpi*denspa)-(denspa-dens)*
        g/denspa;
    return(ffl);
}

```

/* (F15.1.2) FUNCAO UTILIZADA NO METODO RUNGE-KUTTA DE QUARTA ORDEM */

```

double f2(t,Upi,z)
double t,Upi,z;
{
    double ff2;

    ff2 = Upi;
    return(ff2);
}

```

/* (F16) ARQUIVOS ARRASTE1.TXT E ARRASTE2.TXT */

```

imprime(dp,X,xo,Upt,Umfi,Umf,Fo,Upo,dB,PnBt,fB,nfg2)
int nfg2;
double *dp,*X,*xo,*Upt,*Umfi,Umf,Fo,Upo,dB,PnBt,fB;
{
    FILE *f1,*f2;

```

```

double Xo[N],cmf,DP;
int i;

Xo[0] = xo[0];
for(i = 1; i <= nfg1-1; i++)
    Xo[i] = xo[i]-Xo[i-1];

* DETERMINACAO DA PERDA DE CARGA NO LEITO *

cmf = 0.4*exp(0.22*log(Umb/Umf));
DP = He*(denspa-dens)*(1-cmf)*g;

* ARQUIVO ARRASTE1.TXT *

fl = fopen("ARRASTE1.TXT","w");
fprintf(fl,"ARQUIVO ARRASTE1.TXT\n\n");
fprintf(fl,"DADOS DE ENTRADA: ESPECIFICACAO DO PROBLEMA\n\n");
fprintf(fl,"(1) GEOMETRIA DO LEITO\n");
fprintf(fl," - Diametro do leito: %.3f m\n",D);
fprintf(fl," - Altura da coluna: %.1f m\n",H);
fprintf(fl," - Distribuidor de gas:\n");
if(pp == 1)
{
    fprintf(fl," Placa de orificios, com distribuidores tipo torre ");
    fprintf(fl,"ou grade tubular\n");
}
if(pp == 2)
    fprintf(fl," Placa porosa\n");
if(pp == 1)
    fprintf(fl," - Numero de furos no distribuidor de gas: %d\n",nf);
fprintf(fl,"n");
fprintf(fl,"(2) DADOS DO GAS DE FLUIDIZACAO (AR)\n");
fprintf(fl," - Temperatura do gas: %.1f C\n",T-273);
fprintf(fl," - Velocidade do gas: %.3f m/s\n",U);
fprintf(fl,"(3) DADOS DAS PARTICULAS (FCC)\n");
fprintf(fl," - Densidade aparente: %.1f kg/m3\n",denspa);
fprintf(fl," - Densidade bulk: %.1f kg/m3\n",denspb);
fprintf(fl," - Inventario: %.1f kg\n",M);
fprintf(fl," - Esfericidade: %.2f\n",fi);
fprintf(fl," - Numero de faixas granulometricas: %d\n",nfg1);
fprintf(fl," - Diametro das particulas alimentadas: dp[i]\n");
fprintf(fl," - Fracao em massa acumulativa: X[i]\n");
fprintf(fl," -----\n");
fprintf(fl," i    dp[i]    X[i]\n");
fprintf(fl,"      microns    (%)\n");
fprintf(fl," -----\n");
for(i = 0; i <= nfg1-1; i++)
    fprintf(fl," %2d %11.2f %11.2f\n",i,dp[i]*1E6,Xo[i]*1E2);
fprintf(fl," -----\n");
fclose(fl);

/* FIM DO ARQUIVO ARRASTE1.TXT */

/* ARQUIVO ARRASTE2.TXT */

```

```

f2 = fopen("ARRASTE2.TXT","w");
fprintf(f2,"ARQUIVO ARRASTE2.TXT\n\n");
fprintf(f2,"RESULTADOS RELACIONADOS AO LEITO DENSO, BOLHAS E ");
fprintf(f2,"ZONA DE EJECACAO\n\n");
fprintf(f2,"(1) CARACTERISTICAS DO LEITO\n");
fprintf(f2," - Velocidade de minima fluidizacao: %.4f m/s\n",Umf);
fprintf(f2," - Altura do leito estatico: %.3f m\n",H0);
fprintf(f2," - Altura do leito expandido: %.3f m\n",He);
fprintf(f2," - Perda de carga no leito: %.3f N/m2\n\n",DP);
fprintf(f2,"(2) CARACTERISTICAS DAS PARTICULAS PRESENTES NO LEITO\n");
fprintf(f2,"-----\n");
fprintf(f2," i      dp[i]    X[i]    Upt[i]    Umf[i]\n");
fprintf(f2,"      microns   %      m/s      m/s\n");
fprintf(f2,"-----\n");
for(i = 0; i <= nfg2-1; i++)
    fprintf(f2," %2d %9.3f%9.3f%10.3f%12.6f\n",i,dp[i]*1E6,X[i]*1E2,
        Upt[i],Umf[i]);
fprintf(f2,"-----\n");
fprintf(f2,"n");
fprintf(f2,"(3) ZONA DE EJECACAO\n");
fprintf(f2," - Fluxo de ejecao (x1E3): %.2f kg/(m2s)\n",Fo*1E3);
fprintf(f2," - Velocidade maxima de ejecao: %.2f m/s\n",Up0);
fprintf(f2,"(5) CARACTERISTICAS DAS BOLHAS\n");
fprintf(f2," - Diametro medio: %.3f m\n",dB);
fprintf(f2," - Velocidade media: %.3f m/s\n",UB);
fprintf(f2," - Probabilidade de ocorrer coalescencia na superficie ");
fprintf(f2,"do leito: %.2f%\n",PnBt*1E3);
fprintf(f2," - Frequencia de borbulhamento: %.0f Hz\n",fB);
fclose(f2);

```

```

/* FIM DO ARQUIVO ARRASTE2.TXT */

```

```

}

```

```

/* (F17) FLUXOS DE ARRASTE E CONCENTRACOES AO LONGO DA ALTURA:
ARQUIVOS ARRASTE3.TXT E ARRASTE4.TXT
IMPRESSAO DE RESULTADOS NA TELA */

```

```

fluxos(Upt,Foi,dp,z,zmax,nfg2)
int nfg2;
double *Upt,*Foi,*dp,z[][Nang+1],zmax;
{
FILE *f3,*f4;
int nz,ng,i,j,k,nff;
double dz,Fz,zn,Cz,Fzi[N],Czi[N],dpmz,fdpm(),xz[N],Xz[N];

```

```

nz = 9;
dz = (zmax-He)/nz;
zn = He;
f3 = fopen("arraste3.txt","w");
f4 = fopen("arraste4.txt","w");

```

```

/* ARQUIVO ARRASTE3.TXT */

```

```

fprintf(13,"ARQUIVO ARRASTE3.TXT\n\n");
fprintf(13,"CARACTERISTICAS DO MATERIAL ARRASTADO NA FREEBOARD(1)\n\n");
fprintf(13,"-----n");
fprintf(13," zn      Fz x 1E3      Cz x 1E3      dpmz\n");
fprintf(13," (m)      (kg/m2s)      (kg/m3)      (microns)\n");
fprintf(13,"-----n");

/* ARQUIVO ARRASTE4.TXT */

fprintf(14,"ARQUIVO ARRASTE4.TXT\n\n");
fprintf(14,"CARACTERISTICAS DO MATERIAL ARRASTADO NA FREEBOARD(2)\n\n");

/* DETERMINACAO DOS FLUXOS E CONCENTRACOES EM CADA ALTURA DA FREEBOARD */

zn = 0.0;
dz = 0.5;
for(k = 0; k <= nz; k++)
{
    zn = zn+dz;
    Fz = 0.0;
    Cz = 0.0;
    nif = 0;
    for(i = 0; i <= nfg2-1; i++)
    {
        if(i <= il)
            Fzi[i] = Foi[i];
        else
        {
            Fzi[i] = 0.0;
            ng = 0;
            for(j = 0; j <= Nang; j++)
                if(z[i][j] > zn)
                    Fzi[i] = Fzi[i]+Foi[i]/(Nang+1);
            Fzi[i] = 2*Fzi[i];
            if(z[i][0] > zn && i <= nfg1-1)
                ng = ng + 1;
        }
        Czi[i] = Fzi[i]/U;
        Cz = Cz+Czi[i];
        Fz = Fz+Fzi[i];
    }
    xz[0] = Fzi[0]/Fz;
    Xz[0] = xz[0];
    for(i = 1; i <= nfg2-1; i++)
    {
        xz[i] = Fzi[i]/Fz;
        Xz[i] = Xz[i-1]+xz[i];
    }
    dpmz = fdpm(dp,xz,nfg2);

/* ARQUIVO ARRASTE3.TXT */

fprintf(13,"%6.3f %10.3f %12.3f %13.3f\n",zn,Fz*1E3,Cz*1E3,

```

dpmz*1.0E6);

* ARQUIVO ARRASTE4.TXT *

```
fprintf(f4,"Altura na coluna = %5.3f m\n",Lzn);
fprintf(f4,"Fluxo total (x1E3)= %5.3f Kg (m2.s) n",Fz*1E3);
fprintf(f4,"Concentracao total (x1E3) = %5.3f Kg/m3 n",Cz*1E3);
fprintf(f4,"Diametro medio de Sauter = %5.3f microns n",dpmz*1.0E6);
fprintf(f4,"-----n");
fprintf(f4," dp[i] Fz[i]x1E3 Cz[i]x1E3 Xz[i]n");
fprintf(f4," (microns) (kg/m2.s) (kg/m3) (%)n");
fprintf(f4,"-----n");
for(i = 0; i <= nfg2-1; i++)
    fprintf(f4,"%8.2f %12.6f %12.6f %9.2f n",dp[i]*1.0E6,Fz[i]*1E3,
        Cz[i]*1E3,Xz[i]*1E2);
fprintf(f4,"-----n\n");
}
```

* ARQUIVO ARRASTE3.TXT */

```
fprintf(f3,"-----n\n");
fprintf(f3,"ALTURA IDEAL (EM RELACAO AO DISTRIBUIDOR DE GAS)\n");
fprintf(f3,"- TDH(c) = %3f m\n",z[nfg1-1][0]);
fprintf(f3,"- TDH(f) = %3f m\n",zmax);
```

fclose(f3);

fclose(f4);

/* FIM DOS ARQUIVOS ARRASTE3.TXT E ARRASTE4.TXT */

/* IMPRESSAO DE RESULTADOS NA TELA */

```
clrscr();
printf("\n\n\n");
printf("SOLUCAO DO PROBLEMA DE ARRASTE EM LFB\n\n");
printf("CARACTERISTICAS DO MATERIAL ELUTRIADO\n");
printf("- Fluxo total (x1E3) = %3f kg/m2s\n",Fz*1E3);
printf("- Concentracao total (x1E3) = %3f kg/m3\n",Cz*1E3);
printf("- Diametro medio de Sauter = %3f microns\n",dpmz*1E6);
printf("ALTURA IDEAL (EM RELACAO AO DISTRIBUIDOR DE GAS)\n");
printf("- TDH(c) = %3f m\n",z[nfg1-1][0]);
printf("- TDH(f) = %3f m\n",zmax);
printf("DEMAIS RESULTADOS, NOS ARQUIVOS:\n");
printf("- ARRASTE1.TXT\n");
printf("- ARRASTE2.TXT\n");
printf("- ARRASTE2.TXT\n");
printf("- ARRASTE2.TXT\n");
}
```

/* (F18) DETERMINACAO DO TEMPO DE CALCULO */

```
tempo(seg)
double seg;
{
double h,m,s,t;
```

```
t = &h;  
m = modf(seg/3600,t);  
t = &m;  
s = modf(m*60,t);  
s = s*60;  
printf("\n");  
printf("Tempo Total de Execucao: %.0f:%.0f:%.0f\n",h,m,s);  
}
```

***** FIM DO METODO DE CALCULO *****/

Anexo D

Dados dos Testes Experimentais

TESTE 1

TESTE:	01	HORA:	10:45
Temperatura ambiente (oC):	30	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	04/07/97
Condições operacionais:			
Inventário inicial no leito (g):	60000	Massa coletada no filtro (g):	189,34
Inventário final no leito (g):	59672	Altura do topo da coluna (m):	1,0
Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	0,26	Altura do leito estático (mm):	240
Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	0,23	Altura do leito expandido (mm):	350
Fluxo de arraste (kg/m ² s):	0,00124	Temperatura do ar (oC):	47

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:

Coluna de fluidização 01 (mmCA man):

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	13(*)	z =	0,90	21
	0,10	147		1,33	-
	0,20	75		1,66	-
	0,30	27		2,33	-
	0,40	25		2,66	-
	0,50	25		3,33	-
	0,60	23		3,66	-
	0,70	22		4,33	-
	0,80	22		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	19
Saída	17
Perna	16

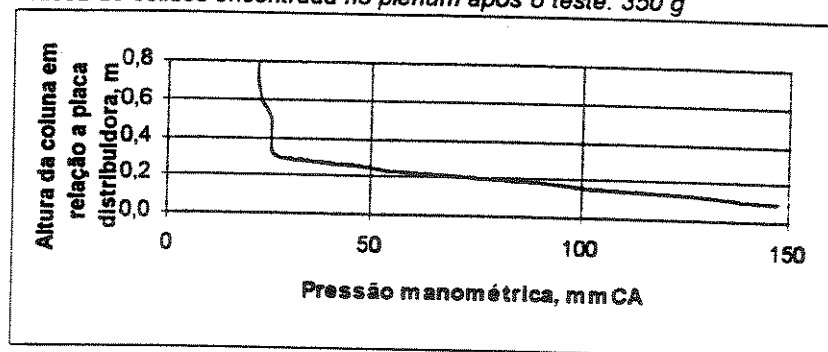
Medida de vazão do ar de fluidização:

Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	17
Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	10
Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,1

Observações:

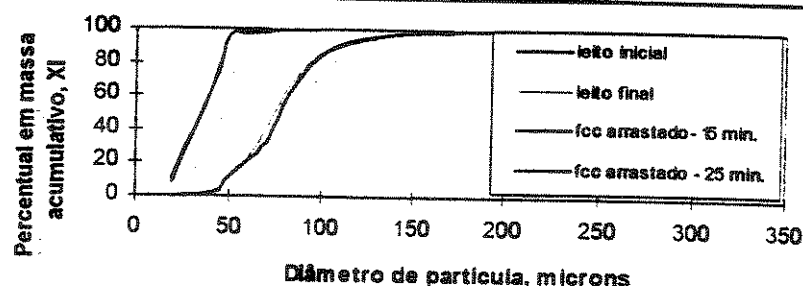
Altura da coluna de recirculação de sólidos: 0 mm.

Massa de sólidos encontrada no plenum após o teste: 350 g



Amostras: teste 01 - coletada pela válvula de amostras 15 e 25 min									
M (g) - 15 min.: 54.431		M (g) - 25 min.: 55.534		Material:		FCC		t (min): 10	
n	Abert. peneiras (microns)	d _i (microns)	m _i 15 min (g)	m _i 25 min (g)	x _i 15 min (%)	x _i 25 min (%)	X _i 15 min (%)	X _i 25 min (%)	X _i medio (%)
1	< 38	19,0	5,665	4,971	10,41	8,95	10,41	8,95	13,84
2	38-45	41,5	31,466	33,414	57,81	60,17	68,22	69,12	68,67
3	45-53	49,0	15,182	15,250	27,89	27,46	96,11	26,58	96,34
4	53-65	59,0	0,854	0,999	1,57	1,80	97,68	98,38	98,03
5	65-75	70,0	0,730	0,543	1,34	0,98	99,02	99,36	99,19
6	75-88	81,5	0,394	0,319	0,72	0,57	99,74	99,93	99,84
7	88-105	96,5	0,140	0,038	0,26	0,07	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.: 38,95		
							25 min.: 39,47		
							médio: 39,21		
Desvio (%):							-1,31		

Amostras: teste 01 - leito denso inicial e final									
M (g) - inicial: 59.825		M (g) - final: 63.326		Material:		FCC		t (min): 10	
n	Abert. peneiras (microns)	d _i (microns)	m _i inicial (g)	m _i final (g)	x _i inicial (%)	x _i final (%)	X _i inicial (%)	X _i final (%)	
1	< 38	19,0	0,164	0,084	0,27	0,13	0,27	0,13	
2	38-45	41,5	1,718	1,344	2,87	2,12	3,15	2,25	
3	45-53	49,0	5,057	5,275	8,45	8,33	11,60	10,58	
4	53-65	59,0	5,709	7,146	9,54	11,28	21,14	21,87	
5	65-75	70,0	7,329	12,862	12,25	20,31	33,39	42,18	
6	75-88	81,5	16,794	14,174	28,07	22,38	61,46	64,56	
7	88-105	96,5	12,723	12,530	21,27	19,79	82,73	84,35	
8	105-125	115,0	6,136	5,722	10,26	9,04	92,99	93,39	
9	125-149	137,0	2,674	2,630	4,47	4,15	97,46	97,54	
10	149-177	163,0	1,008	1,013	1,68	1,60	99,14	99,14	
11	177-210	193,5	0,293	0,294	0,49	0,46	99,63	99,60	
12	210-297	253,5	0,135	0,146	0,23	0,23	99,86	99,83	
13	297-355	326,0	0,085	0,106	0,14	0,17	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial: 85,32		
							Final: 84,09		
Desvio (%):							1,46		



-mostrat teste U1 - vaiv. amost		Malvern
Material	FCC	Difração a Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	4,19	0,1
2	4,50	0,2
3	4,84	0,3
4	5,21	0,5
5	5,60	0,7
6	6,02	0,8
7	6,48	0,9
8	6,97	0,9
9	7,49	0,9
10	8,05	0,9
11	8,66	0,9
12	9,31	0,9
13	10,00	1,0
14	10,80	1,6
15	11,60	3,1
16	12,50	5,1
17	13,40	6,5
18	14,40	6,9
19	15,50	6,9
20	16,70	6,9
21	17,90	6,9
22	19,30	6,9
23	20,70	7,0
24	22,30	7,0
25	24,00	7,5
26	25,80	9,9
27	27,70	13,7
28	29,80	18,9
29	32,00	25,7
30	34,40	34,0
31	37,00	43,6
32	39,80	54,1
33	42,80	65,0
34	46,10	75,7
35	49,50	85,7
36	53,30	93,8
37	57,30	98,7
38	61,60	99,6
39	66,20	99,7
40	71,20	99,7
41	76,60	99,9
42	82,40	100,0
Diâmetro médio:		38,74 microns

TESTE 2

TESTE:	02	HORA:	14:15
Temperatura ambiente (oC):	25	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	02/07/97

Condições operacionais:

Inventário inicial no leito (g):	60000	Massa coletada no filtro (g):	387,76
Inventário final no leito (g):	60080	Altura do topo da coluna (m):	1,0
Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	3,63	Altura do leito estático (mm):	240
Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	3,78	Altura do leito expandido (mm):	400
Fluxo de arraste (kg/m ² s):	0,01387	Temperatura do ar (oC):	50

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:

Coluna de fluidização 01 (mmCA man):

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	19(*)	z =	0,90	45
	0,10	95		1,33	-
	0,20	72		1,66	-
	0,30	52		2,33	-
	0,40	47		2,66	-
	0,50	47		3,33	-
	0,60	46		3,66	-
	0,70	45		4,33	-
	0,80	45		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	38
Saída	31
Perna	32

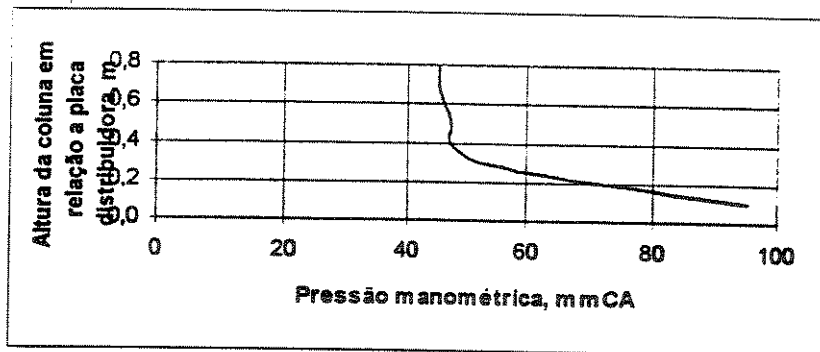
Medida de vazão do ar de fluidização:

Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	21
Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	29
Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,2

Observações:

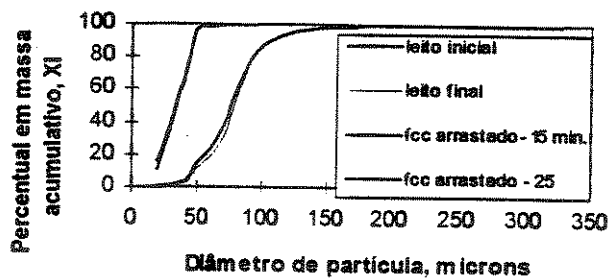
Altura da coluna de recirculação de sólidos: abaixo do tubo de acrílico.

Acúmulo de sólidos no plenum.



Amostras: teste 02 - coletada pela válvula de amostr. aos 15 e 25 min									Material:
M (g) - 15 min.: 56.769			M (g) - 25 min.: 60.953			t (min):			FCC
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi 15 min (g)	mi 25 min (g)	xi 15 min (%)	xi 25 min (%)	Xi 15 min (%)	Xi 25 min (%)	Xi medio (%)
1	< 38	19,0	9,198	5,783	16,20	11,13	16,20	11,13	14,46
2	38-45	41,5	32,283	36,006	56,87	59,07	73,07	70,20	71,63
3	45-53	49,0	13,586	15,682	23,93	25,73	37,00	95,93	96,46
4	53-65	59,0	1,176	1,931	2,07	3,17	99,07	99,10	99,08
5	65-75	70,0	0,299	0,316	0,53	0,52	99,60	99,61	99,61
6	75-88	81,5	0,175	0,193	0,31	0,32	99,91	99,93	99,92
7	88-105	96,5	0,052	0,042	0,09	0,07	100,00	100,00	100,00
Diâmetro medio de Sauter (microns):							15 min.: 36,25		
							25 min.: 38,46		
							medio: 37,36		
Desvio (%):							-5,76		

Amostras: teste 02 - leito denso inicial e final									Material:
M (g) - inicial: 71,383			M (g) - final: 70,209			t (min):			FCC
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi inicial (g)	mi final (g)	xi inicial (%)	xi final (%)	Xi inicial (%)	Xi final (%)	
1	< 38	19,0	0,600	0,400	0,84	0,57	0,84	0,57	
2	38-45	41,5	2,855	1,927	4,00	2,74	4,84	3,31	
3	45-53	49,0	6,874	5,071	9,63	7,22	14,47	10,54	
4	53-65	59,0	6,397	5,962	8,96	8,49	23,43	19,03	
5	65-75	70,0	10,688	8,618	14,97	12,27	38,40	31,30	
6	75-88	81,5	17,700	18,671	24,80	26,59	63,20	57,90	
7	88-105	96,5	15,036	17,862	21,06	25,44	84,26	83,34	
8	105-125	115,0	6,997	7,044	9,80	10,03	94,07	93,37	
9	125-149	137,0	2,592	2,783	3,63	3,96	97,70	97,34	
10	149-177	163,0	1,043	1,204	1,46	1,71	99,16	99,05	
11	177-210	193,5	0,323	0,374	0,45	0,53	99,61	99,58	
12	210-297	253,5	0,156	0,172	0,22	0,24	99,83	99,83	
13	297-355	326,0	0,122	0,121	0,17	0,17	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial: 80,76		
							Final: 86,75		
Desvio (%):							-6,91		



-mostra teste 02 - vaiv. amost.		Malvern
Material:	FCC	Difracção a Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	4.19	0.0
2	4.50	0.0
3	4.84	0.0
4	5.21	0.0
5	5.60	0.0
6	6.02	0.0
7	6.48	0.0
8	6.97	0.0
9	7.49	0.0
10	8.05	0.0
11	8.66	0.0
12	9.31	0.0
13	10.00	0.0
14	10.80	0.0
15	11.60	0.0
16	12.50	0.0
17	13.40	0.0
18	14.40	0.0
19	15.50	0.0
20	16.70	0.0
21	17.90	0.0
22	19.30	0.0
23	20.70	0.0
24	22.30	0.0
25	24.00	0.0
26	25.80	0.0
27	27.70	0.0
28	29.80	0.0
29	32.00	0.5
30	34.40	4.3
31	37.00	13.2
32	39.80	27.4
33	42.80	44.5
34	46.10	62.1
35	49.50	78.8
36	53.30	92.8
37	57.30	99.9
38	61.60	100.0
Diâmetro médio:		43,81 microns

TESTE 03

TESTE:	03	HORA:	10:20
Temperatura ambiente (oC):	25	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	27/06/97
Condições operacionais:			
Inventário inicial no leito (g):	60000	Massa coletada no filtro (g):	134,5
Inventário final no leito (g):	60205	Altura do topo da coluna (m):	1,0
Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	21,62	Altura do leito estático (mm):	240
Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	20,72	Altura do leito expandido (mm):	350
Fluxo de arraste (kg/m ² s):	0,07514	Temperatura do ar (oC):	47

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:

Coluna de fluidização 01 (mmCA man):

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	26(*)	z =	0,90	67
	0,10	127		1,33	-
	0,20	115		1,66	-
	0,30	83		2,33	-
	0,40	80		2,66	-
	0,50	77		3,33	-
	0,60	72		3,66	-
	0,70	69		4,33	-
	0,80	68		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	46
Saída	35
Perna	40

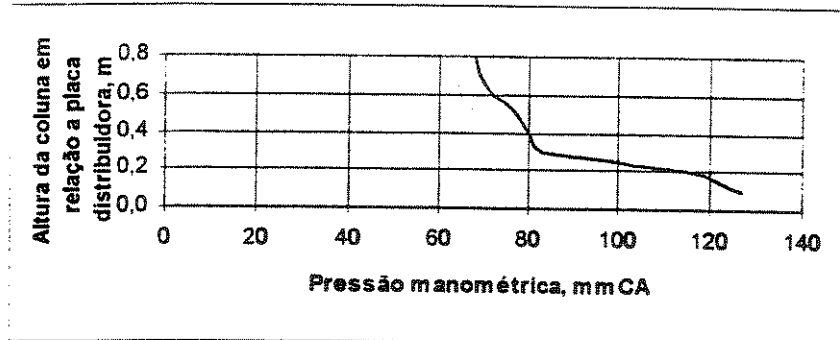
Medida de vazão do ar de fluidização:

Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	30
Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	57
Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,3

Observações:

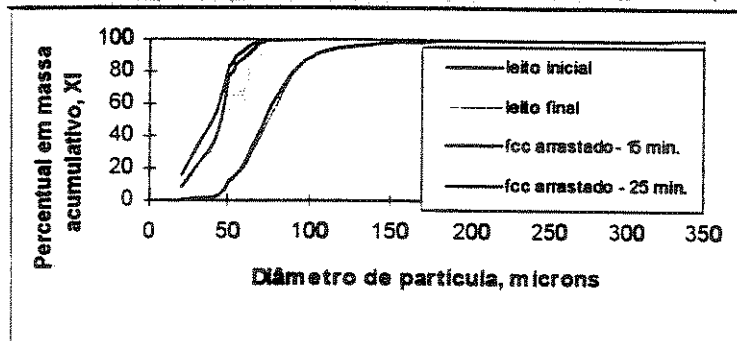
Altura da coluna de recirculação de sólidos: abaixo do tubo de acrílico.

Acúmulo de material no plenum



Amostras: teste U3 - coletada pela válvula de amostragem aos 15 e 25 min								Material:	FCC
M (g) - 15 min.: 74.729		M (g) - 25 min.: 68.473						t (min):	10
n	Abert. peneiras (microns)	d _i (microns)	m _i 15 min (g)	m _i 25 min (g)	x _i 15 min (%)	x _i 25 min (%)	X _i 15 min (%)	X _i 25 min (%)	X _i medio (%)
1	< 38	19,0	11,715	6,273	15,68	9,16	15,68	9,16	12,46
2	38-45	41,5	30,052	21,931	40,21	32,03	55,89	41,19	48,54
3	45-53	49,0	21,075	24,990	28,20	36,50	34,09	57,69	60,89
4	53-65	59,0	7,554	7,617	10,11	11,12	94,20	88,81	91,51
5	65-75	70,0	4,205	6,973	5,63	10,18	99,83	98,99	99,41
6	75-88	81,5	0,042	0,616	0,06	0,90	99,88	99,89	99,89
7	88-105	96,5	0,086	0,073	0,12	0,11	100,00	100,00	100,00
Diâmetro medio de Sauter (microns):							15 min.:	38,12	
							25 min.:	42,65	
							medio:	40,38	
							Desvio (%):	-10,61	

Amostras: teste O3 - leito denso inicial e final								Material:	FCC
M (g) - inicial: 73,518		M (g) - final: 65,516						t (min):	10
n	Abert. peneiras (microns)	d _i (microns)	m _i inicial (g)	m _i final (g)	x _i inicial (%)	x _i final (%)	X _i inicial (%)	X _i final (%)	
1	< 38	19,0	0,472	0,514	0,64	0,78	0,64	0,78	
2	38-45	41,5	2,744	2,231	3,73	3,41	4,37	4,19	
3	45-53	49,0	6,310	5,058	8,58	7,72	12,96	11,91	
4	53-65	59,0	7,248	5,571	9,86	8,50	22,82	20,41	
5	65-75	70,0	17,118	13,399	23,28	20,45	46,10	40,86	
6	75-88	81,5	17,291	15,446	23,52	23,58	69,62	64,44	
7	88-105	96,5	13,086	14,784	17,80	22,57	87,42	87,01	
8	105-125	115,0	5,306	4,988	7,22	7,61	94,64	94,62	
9	125-149	137,0	2,375	2,197	3,23	3,35	97,87	97,97	
10	149-177	163,0	0,931	0,828	1,27	1,26	99,13	99,24	
11	177-210	193,5	0,324	0,267	0,44	0,41	99,57	99,64	
12	210-297	253,5	0,158	0,117	0,21	0,18	99,79	99,82	
13	297-355	326,0	0,155	0,116	0,21	0,18	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial:	77,92	
							Final:	80,63	
							Desvio (%):	-3,35	



Amostra: teste 03 - valv. amost.		Maivern
Material:	FCC	Difração a Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	4.19	0.0
2	4.50	0.0
3	4.84	0.0
4	13.40	0.1
5	14.40	0.1
6	15.50	0.2
7	16.70	0.3
8	17.90	0.3
9	19.30	0.3
10	20.70	0.3
11	22.30	0.3
12	24.00	0.3
13	25.80	0.5
14	27.70	1.3
15	29.80	3.3
16	32.00	6.8
17	34.40	12.3
18	37.00	20.3
19	39.80	30.8
20	42.80	42.8
21	46.10	55.3
22	49.50	67.0
23	53.30	76.9
24	57.30	84.6
25	61.60	90.2
26	66.20	93.9
27	71.20	96.2
28	76.60	97.6
29	82.40	98.4
30	88.60	98.9
31	95.20	99.3
32	102.00	99.6
33	110.00	99.8
34	122.00	99.9
35	131.00	100.0
Diâmetro médio:		45.83 microns

TESTE 04

TESTE:	04	HORA:	14:30
Temperatura ambiente (°C):	23	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	08/07/97

Condições operacionais:

Inventário inicial no leito (g):	60000	Massa coletada no filtro (g):	450,52
Inventário final no leito (g):	60133	Altura do topo da coluna (m):	1,5
Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	48,67	Altura do leito estático (mm):	240
Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	52,98	Altura do leito expandido (mm):	250
Fluxo de arraste (kg/m ² s):	0,18064	Temperatura do ar (°C):	42

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:

Coluna de fluidização 01 (mmCA man):

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	38(*)	z =	0,90	169
	0,10	260		1,33	-
	0,20	188		1,66	-
	0,30	182		2,33	-
	0,40	180		2,66	-
	0,50	175		3,33	-
	0,60	175		3,66	-
	0,70	172		4,33	-
	0,80	171		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	137
Saída	120
Perna	125

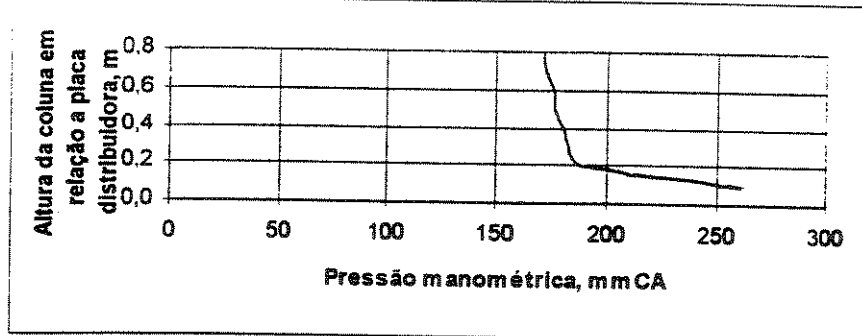
Medida de vazão do ar de fluidização:

Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	44
Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	92
Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,4

Observações:

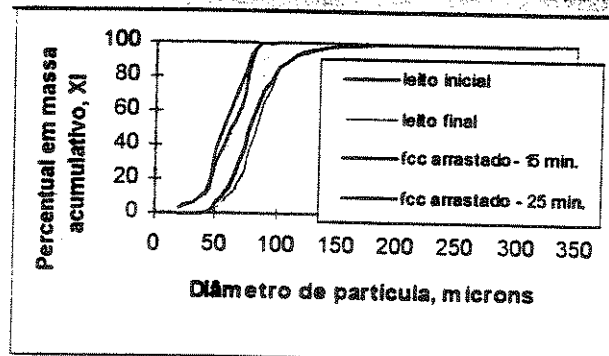
Altura da coluna de recirculação de sólidos: total.

Massa de sólidos encontrada no plenum após o teste: 4000 g



Amostras: teste 04 - coletada pela válvula de amostr. aos 15 e 25 min									
M (g) - 15 min:		67,516	M (g) - 25 min:		65,993	Material:		FCC	
n	Abert.	di	mi	mi	xi	xi	Xi	Xi	Xi
	peneiras	(microns)	15 min	25 min	15 min	25 min	15 min	25 min	medio
			(g)	(g)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	< 38	19,0	0,347	0,363	3,48	3,58	3,48	3,58	3,55
2	38-45	41,5	6,715	5,236	9,95	7,93	13,42	11,51	12,47
3	45-53	49,0	17,324	12,617	25,66	19,12	39,08	30,63	34,86
4	53-65	59,0	13,032	10,810	19,30	16,38	58,38	47,01	52,70
5	65-75	70,0	13,216	11,132	19,57	16,87	77,96	63,88	70,92
6	75-88	81,5	13,398	22,244	19,84	33,71	97,80	97,59	97,70
7	88-105	96,5	1,484	1,591	2,20	2,41	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min:	54,97	
							25 min:	57,90	
							medio:	56,43	
Desvio (%):							-5,08		

Amostras: teste 04 - leito denso inicial e final									
M (g) - inicial:		66,265	M (g) - final:		70,513	Material:		FCC	
n	Abert.	di	mi	mi	xi	xi	Xi	Xi	
	peneiras	(microns)	inicial	final	inicial	final	inicial	final	
			(g)	(g)	(%)	(%)	(%)	(%)	
1	< 38	19,0	0,079	0,250	0,12	0,35	0,12	0,35	
2	38-45	41,5	1,015	0,762	1,53	1,08	1,65	1,44	
3	45-53	49,0	3,707	1,635	5,59	2,32	7,25	3,75	
4	53-65	59,0	5,202	4,454	7,85	6,32	15,10	10,07	
5	65-75	70,0	12,774	8,137	19,28	11,54	34,37	21,61	
6	75-88	81,5	17,425	20,010	26,30	28,38	60,67	49,99	
7	88-105	96,5	14,193	21,425	21,42	30,38	82,09	80,37	
8	105-125	115,0	7,081	9,320	10,69	13,22	92,77	93,59	
9	125-149	137,0	3,062	2,945	4,62	4,18	97,39	97,77	
10	149-177	163,0	1,121	1,006	1,69	1,43	99,09	99,19	
11	177-210	193,5	0,326	0,326	0,49	0,46	99,58	99,66	
12	210-297	253,5	0,149	0,144	0,22	0,20	99,80	99,86	
13	297-355	326,0	0,131	0,099	0,20	0,14	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial:	88,89	
							Final:	97,37	
Desvio (%):							-8,71		



-mostra teste U4 - valv. amost		Malvern
Material	FCC	Difração a Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	4,00	0,0
2	4,30	0,0
3	6,65	0,1
4	7,15	0,1
5	7,69	0,2
6	8,27	0,2
7	8,89	0,3
8	9,56	0,3
9	10,30	0,3
10	11,10	0,3
11	11,90	0,3
12	12,80	0,3
13	13,70	0,5
14	14,80	0,9
15	15,90	1,5
16	17,10	2,4
17	18,40	3,5
18	19,80	4,6
19	21,30	5,6
20	22,90	6,2
21	24,60	6,6
22	26,40	6,7
23	28,40	6,8
24	30,60	7,2
25	32,90	8,4
26	35,40	11,1
27	38,00	16,1
28	40,90	23,5
29	44,00	32,6
30	47,30	42,7
31	50,80	52,8
32	54,70	62,3
33	58,80	70,7
34	63,20	77,8
35	68,00	83,9
36	73,10	88,9
37	78,60	93,1
38	84,50	96,5
39	90,90	98,6
40	97,80	99,5
41	105,00	99,7
42	113,00	99,8
43	122,00	99,9
44	131,00	100,0
Diâmetro médio:		49,80 microns

TESTE 05

TESTE:	05	HORA:	10:05
Temperatura ambiente (oC):	21	Pressao ambiente (bar):	1.0
Duracao (min):	30	Data:	03/07/97
Condições operacionais:			
Inventário inicial no leito (g):	60000	Massa coletada no filtro (g):	665.41
Inventário final no leito (g):	60255	Altura do topo da coluna (m):	1.0
Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	90.81	Altura do leito estático (mm):	240
Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	85.99	Altura do leito expandido (mm):	250
Fluxo de arraste (kg/m2s):	0.31396	Temperatura do ar (oC):	43

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:

Coluna de fluidização 01 (mmCA man):

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	41(*)	z =	0,90	172
	0,10	222		1,33	-
	0,20	185		1,66	-
	0,30	185		2,33	-
	0,40	185		2,66	-
	0,50	181		3,33	-
	0,60	180		3,66	-
	0,70	173		4,33	-
	0,80	172		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	-
Saída	-
Perna	-

Medida de vazão do ar de fluidização:

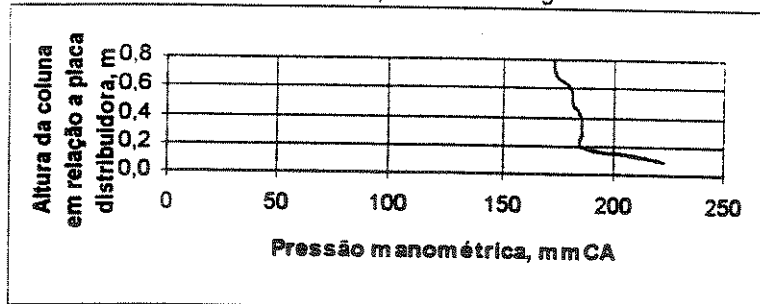
Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	49
Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	116
Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0.4

Observações:

Altura da coluna de recirculação de sólidos: enchimento total.

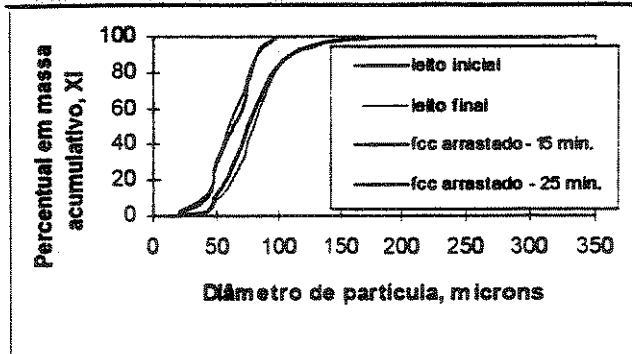
Instalação de um bocal de inspeção no plenum após o teste.

Massa de sólidos encontrada no plenum: 1230 g



Amostras: teste 05 - coletada pela válvula de amostr. aos 15 e 25 min.								Material:	FCC
M (g) - 15 min.:		66,369	M (g) - 25 min.:		69,511		t (min.):		10
n	Abert. peneiras (microns)	d _i (microns)	m _i 15 min (g)	m _i 25 min (g)	x _i 15 min (%)	x _i 25 min (%)	X _i 15 min (%)	X _i 25 min (%)	X _i medio (%)
1	< 38	19,0	1,258	2,083	1,90	3,00	1,90	3,00	2,46
2	38-45	41,5	6,318	7,513	9,52	10,81	11,41	13,81	12,61
3	45-53	49,0	11,824	11,761	17,82	16,92	29,23	30,72	29,98
4	53-65	59,0	10,102	12,679	15,22	18,24	44,45	48,96	46,71
5	65-75	70,0	10,102	12,497	15,22	17,98	59,67	66,94	63,31
6	75-88	81,5	19,745	16,035	29,75	23,07	89,42	90,01	89,72
7	88-105	96,5	7,020	6,943	10,58	9,99	100,00	100,00	100,00
Diâmetro medio de Sauter (microns):							15 min.:	60,87	
							25 min.:	58,27	
							medio:	59,57	
							Desvio (%):	4,46	

Amostras: teste 05 - leito denso inicial e final								Material:	FCC
M (g) - inicial:		79,723	M (g) - final:		66,832		t (min):		10
n	Abert. peneiras (microns)	d _i (microns)	m _i inicial (g)	m _i final (g)	x _i inicial (%)	x _i final (%)	X _i inicial (%)	X _i final (%)	
1	< 38	19,0	0,535	0,436	0,67	0,65	0,67	0,65	
2	38-45	41,5	2,590	1,819	3,25	2,72	3,92	3,37	
3	45-53	49,0	6,809	3,489	8,54	5,22	12,46	8,59	
4	53-65	59,0	7,615	4,983	9,55	7,46	22,01	16,05	
5	65-75	70,0	15,033	9,682	18,86	14,49	40,87	30,54	
6	75-88	81,5	16,785	15,426	21,05	23,08	61,92	53,62	
7	88-105	96,5	16,955	18,266	21,27	27,33	83,19	80,95	
8	105-125	115,0	8,261	7,798	10,36	11,67	93,55	92,62	
9	125-149	137,0	3,070	2,853	3,85	4,27	97,40	96,89	
10	149-177	163,0	1,327	1,273	1,66	1,90	99,07	98,79	
11	177-210	193,5	0,399	0,442	0,50	0,66	99,57	99,45	
12	210-297	253,5	0,184	0,207	0,23	0,31	99,80	99,76	
13	297-355	326,0	0,160	0,158	0,20	0,24	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial:	82,48	
							Final:	90,40	
							Desvio (%):	-8,76	



-mostra teste 05 - vaiv. amest		Maivern
Material	FCC	Difração a Laser
n	d _i (microns)	Xi (%)
1	4.00	0.0
2	4.30	0.0
3	21.30	0.1
4	22.90	0.1
5	24.60	0.2
6	26.40	0.2
7	28.40	0.2
8	30.60	0.2
9	32.90	0.5
10	35.40	1.9
11	38.00	5.3
12	40.90	11.2
13	44.00	19.0
14	47.30	28.0
15	50.80	37.7
16	54.70	47.3
17	58.80	56.7
18	63.20	65.4
19	68.00	73.4
20	73.10	80.7
21	78.60	87.2
22	84.50	92.7
23	90.90	96.6
24	97.80	98.5
25	105.00	99.3
26	113.00	99.7
27	122.00	99.8
28	131.00	99.9
29	141.00	100.0
30	151.00	100.0
31	163.00	100.0
32	175.00	100.0
Diâmetro medio:		55.80 microns

TESTE 06

TESTE:	06	HORA:	16:00
Temperatura ambiente (oC):	26	Pressao ambiente (bar):	1,0
Duracao (min):	30	Data:	03/07/97
Condições operacionais:			
Inventário inicial no leito (g):	60000	Massa coletada no filtro (g):	497,08
Inventário final no leito (g):	59566	Altura do topo da coluna (m):	1,0
Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	146,57	Altura do leito estático (mm):	240
Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	146,62	Altura do leito expandido (mm):	250
Fluxo de arraste (kg/m ² s):	0,51945	Temperatura do ar (oC):	47

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:

Coluna de fluidização 01 (mmCA man):

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	51(*)	z =	0,90	232
	0,10	303		1,33	-
	0,20	252		1,66	-
	0,30	246		2,33	-
	0,40	240		2,66	-
	0,50	240		3,33	-
	0,60	235		3,66	-
	0,70	235		4,33	-
	0,80	235		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	140
Saída	121
Perna	134

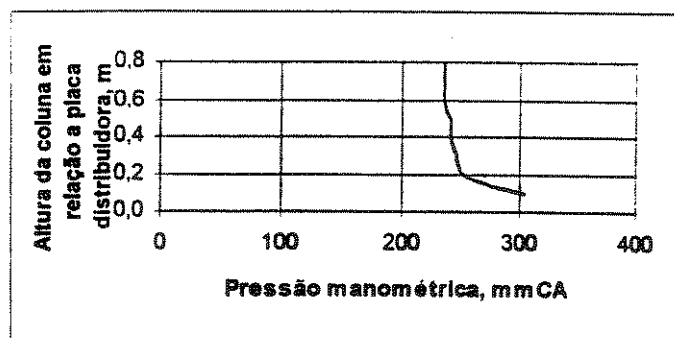
Medida de vazão do ar de fluidização:

Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	60
Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	153
Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,45

Observações:

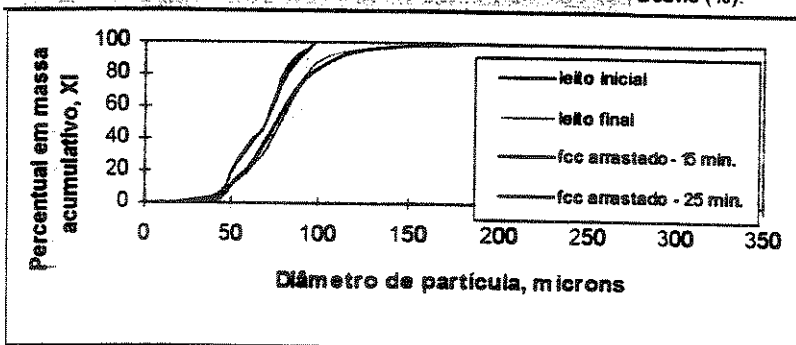
Altura da coluna de recirculação de sólidos: enchimento total.

Massa de sólidos encontrada no plenum após o teste: 730 g



Amostras: teste 06 - coletada pela válvula de amostr. aos 15 e 25 min							Material:	FCC	
M (g) - 15 min.:		73.822	M (g) - 25 min.:		76.559		t (min):	10	
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi 15 min (g)	mi 25 min (g)	xi 15 min (%)	xi 25 min (%)	Xi 15 min (%)	Xi 25 min (%)	Xi médio (%)
1	< 38	19,0	0,651	0,596	0,88	0,78	0,88	0,78	0,83
2	38-45	41,5	4,107	3,870	5,56	5,05	6,45	5,83	6,14
3	45-53	49,0	9,332	10,337	12,64	13,50	19,09	19,34	19,21
4	53-65	59,0	12,739	11,832	17,26	15,45	36,34	34,79	35,57
5	65-75	70,0	11,088	12,576	15,02	16,43	51,36	51,22	51,29
6	75-88	81,5	21,760	26,019	29,48	33,99	80,84	85,20	83,02
7	88-105	96,5	14,145	11,329	19,16	14,80	100,00	100,00	100,00
Diâmetro medio de Sauter (microns):							15 min.:	66,41	
							25 min.:	66,43	
							médio:	66,42	
Desvio (%):							-0,03		

Amostras: teste 06 - leito denso inicial e final								Material:	FCC
M (g) - inicial:		67,533	M (g) - final:		66,573		t (min):		10
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi inicial (g)	mi final (g)	xi inicial (%)	xi final (%)	Xi inicial (%)	Xi final (%)	
1	< 38	19,0	0,546	0,289	0,81	0,43	0,81	0,43	
2	38-45	41,5	2,617	1,434	3,88	2,15	4,68	2,59	
3	45-53	49,0	4,724	5,190	7,00	7,80	11,68	10,38	
4	53-65	59,0	7,426	6,741	11,00	10,13	22,67	20,51	
5	65-75	70,0	11,907	9,086	17,63	13,65	40,31	34,16	
6	75-88	81,5	15,219	15,681	22,54	23,55	62,84	57,71	
7	88-105	96,5	13,201	18,857	19,55	28,33	82,39	86,04	
8	105-125	115,0	7,913	6,232	11,72	9,36	94,11	95,40	
9	125-149	137,0	2,386	1,764	3,53	2,65	97,64	98,05	
10	149-177	163,0	1,025	0,830	1,52	1,25	99,16	99,30	
11	177-210	193,5	0,316	0,257	0,47	0,39	99,63	99,68	
12	210-297	253,5	0,148	0,112	0,22	0,17	99,84	99,85	
13	297-355	326,0	0,105	0,100	0,16	0,15	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial:	82,69	
							Final:	84,53	
Desvio (%):							-2,18		



-mostra: teste 06 - valv. amost.		Malvern
Material:	FCC	Difração a Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	4,00	0,0
2	4,30	0,0
3	21,30	0,1
4	22,90	0,1
5	24,60	0,1
6	26,40	0,1
7	28,40	0,1
8	30,60	0,1
9	32,90	0,6
10	35,40	2,1
11	38,00	5,0
12	40,90	9,4
13	44,00	15,2
14	47,30	22,2
15	50,80	30,2
16	54,70	38,8
17	58,80	47,9
18	63,20	57,1
19	68,00	66,1
20	73,10	74,7
21	78,60	82,7
22	84,50	89,7
23	90,90	94,8
24	97,80	97,7
25	105,00	99,0
26	113,00	99,5
27	122,00	99,7
28	131,00	99,9
29	141,00	99,9
30	151,00	100,0
Diâmetro médio:		59,78 microns

TESTE 07

TESTE:	07	HORA:	10:15
Temperatura ambiente (oC):	19	Pressao ambiente (bar):	1,0
Duracao (min):	30	Data:	07/07/97

Condições operacionais:

Inventario inicial no leito (g):	60000	Massa coletada no filtro (g):	430,53
Inventario final no leito (g):	59755	Altura do topo da coluna (m):	1,5
Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	1,03	Altura do leito estático (mm):	240
Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	0,94	Altura do leito expandido (mm):	350
Fluxo de arraste (kg/m2s):	0,00433	Temperatura do ar (oC):	34

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:

Coluna de fluidização 01 (mmCA man):

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	20(*)	z =	0,90	56
	0,10	138		1,33	56
	0,20	92		1,66	-
	0,30	58		2,33	-
	0,40	58		2,66	-
	0,50	58		3,33	-
	0,60	57		3,66	-
	0,70	57		4,33	-
	0,80	57		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	48
Saída	40
Perna	40

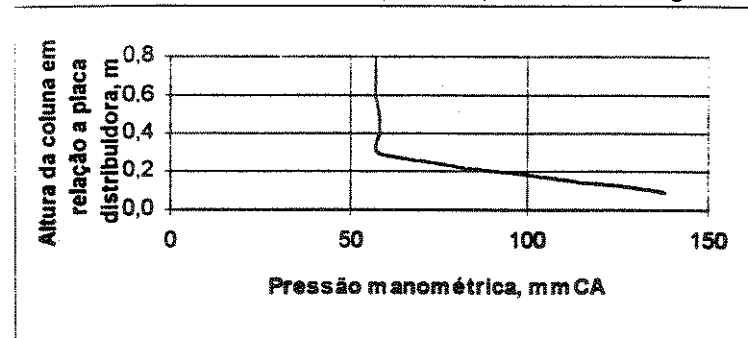
Medida de vazão do ar de fluidização:

Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	22
Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	29
Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,2

Observações:

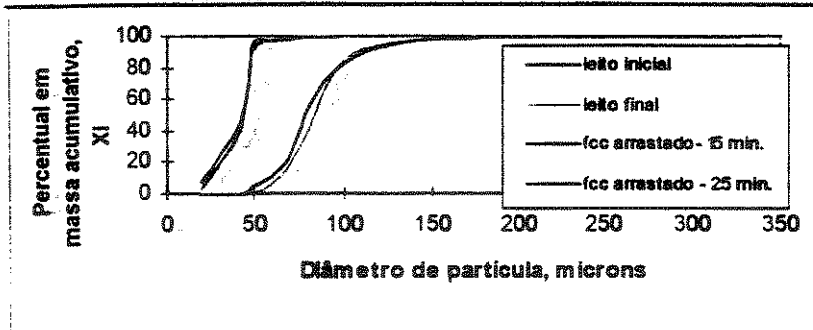
Altura da coluna de recirculação de sólidos: 0 mm.

Massa de sólidos encontrada no plenum após o teste: 381 g



Amostras: teste 07 - coletada pela válvula de amostragem aos 15 e 25 min									Material: FCC
M (g) - 15 min.: 66.606			M (g) - 25 min.: 64.517			t (min):			10
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi 15 min (g)	mi 25 min (g)	xi 15 min (%)	xi 25 min (%)	Xi 15 min (%)	Xi 25 min (%)	Xi medio (%)
1	< 38	19,0	5,311	2,711	7,97	4,20	7,97	4,20	7,57
2	38-45	41,5	25,658	23,738	38,52	36,79	46,50	41,00	43,75
3	45-53	49,0	30,805	35,964	46,25	55,74	92,75	96,74	94,74
4	53-65	59,0	2,937	0,857	4,41	1,33	97,15	98,07	97,61
5	65-75	70,0	1,344	0,831	2,02	1,29	99,17	99,36	99,26
6	75-88	81,5	0,417	0,346	0,63	0,54	99,80	99,89	99,85
7	88-105	96,5	0,134	0,070	0,20	0,11	100,00	100,00	100,00
Diâmetro medio de Sauter (microns):							15 min.: 41,58		
							25 min.: 43,59		
							medio: 42,59		
							Desvio (%): -4,62		

Amostras: teste 07 - leito denso inicial e final									Material: FCC
M (g) - inicial: 69.872			M (g) - final: 70.139			t (min):			10
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi inicial (g)	mi final (g)	xi inicial (%)	xi final (%)	Xi inicial (%)	Xi final (%)	
1	< 38	19,0	0,001	0,010	0,00	0,01	0,00	0,01	
2	38-45	41,5	0,236	0,110	0,34	0,16	0,34	0,17	
3	45-53	49,0	3,177	0,932	4,55	1,33	4,89	1,50	
4	53-65	59,0	4,491	3,178	6,43	4,53	11,31	6,03	
5	65-75	70,0	10,240	9,264	14,66	13,21	25,97	19,24	
6	75-88	81,5	22,950	18,661	32,85	26,61	58,81	45,84	
7	88-105	96,5	15,510	24,972	22,20	35,60	81,01	81,45	
8	105-125	115,0	8,160	8,190	11,68	11,68	92,69	93,13	
9	125-149	137,0	3,347	3,320	4,79	4,73	97,48	97,86	
10	149-177	163,0	1,114	0,998	1,59	1,42	99,08	99,28	
11	177-210	193,5	0,338	0,288	0,48	0,41	99,56	99,69	
12	210-297	253,5	0,148	0,123	0,21	0,18	99,77	99,87	
13	297-355	326,0	0,160	0,093	0,23	0,13	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial: 93,78		
							Final: 100,75		
							Desvio (%): -6,92		



Amostra: teste 07 - vaiv. amost.		Malvern
Material:	FCC	Difração a Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	2,91	0,1
2	3,13	0,1
3	3,37	0,1
4	3,62	0,2
5	3,89	0,2
6	4,19	0,4
7	4,50	0,6
8	4,84	0,8
9	5,21	1,1
10	5,60	1,4
11	6,02	1,8
12	6,48	2,0
13	6,97	2,1
14	7,49	2,2
15	10,00	2,6
16	10,80	3,5
17	11,60	5,2
18	12,50	7,4
19	13,40	9,4
20	14,40	10,8
21	15,50	11,4
22	16,70	11,5
23	17,90	11,5
24	19,30	11,5
25	20,70	11,6
26	22,30	12,1
27	24,00	13,4
28	25,80	15,8
29	27,70	19,3
30	29,80	23,9
31	32,00	29,9
32	34,40	37,3
33	37,00	45,8
34	39,80	55,2
35	42,80	64,9
36	46,10	74,5
37	49,50	83,5
38	53,30	91,5
39	57,30	96,8
40	61,60	98,9
41	66,20	99,3
42	71,20	99,6
43	76,60	99,8
44	82,40	99,9
45	88,60	100,0
Diâmetro médio:		38,29 microns

TESTE 08

TESTE:	08	HORA:	14:30
Temperatura ambiente (oC):	21	Pressão ambiente (bar):	1.0
Duração (min):	30	Data:	07/07/97
Condições operacionais:			
Inventário inicial no leito (g):	60000	Massa coletada no filtro (g):	208.93
Inventário final no leito (g):	59847	Altura do topo da coluna (m):	1.5
Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	7.30	Altura do leito estático (mm):	240
Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	7.58	Altura do leito expandido (mm):	350
Fluxo de arraste (kg/m2s):	0.02672	Temperatura do ar (oC):	41

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:

Coluna de fluidização 01 (mmCA man):

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	22(*)	z =	0,90	83
	0,10	198		1,33	82
	0,20	130		1,66	-
	0,30	88		2,33	-
	0,40	88		2,66	-
	0,50	88		3,33	-
	0,60	86		3,66	-
	0,70	83		4,33	-
	0,80	83		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	69
Saída	55
Perna	55

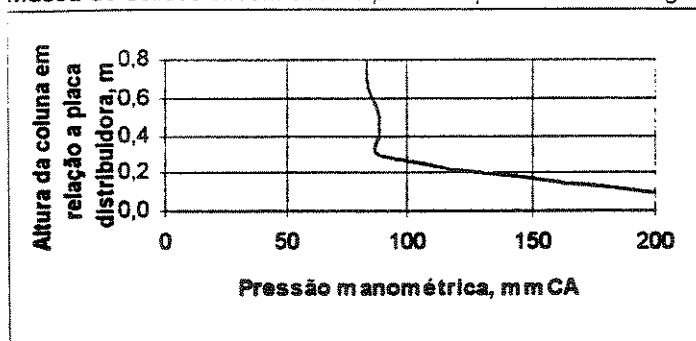
Medida de vazão do ar de fluidização:

Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	30
Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	56
Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,3

Observações:

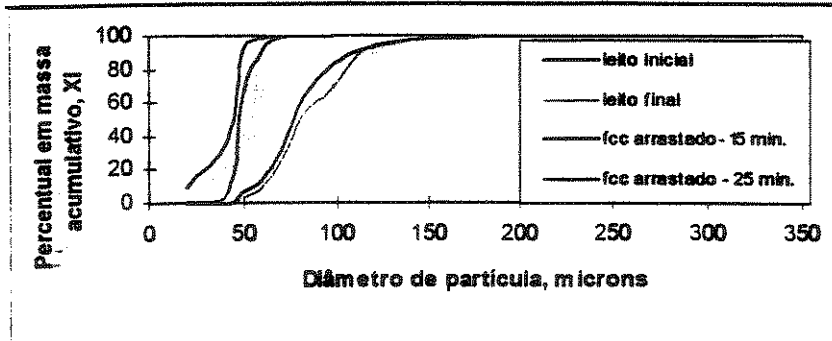
Altura da coluna de recirculação de sólidos: 0 mm.

Massa de sólidos encontrada no plenum após o teste: 900 g



Amostras: teste 08 - coletada pela válvula de amostragem aos 15 e 25 min								Material:	FCC
M (g) - 15 min.: 64.374		M (g) - 25 min.: 63.063		t (min):		10			
n	Abert. peneiras (microns)	d _i (microns)	m _i 15 min (g)	m _i 25 min (g)	x _i 15 min (%)	x _i 25 min (%)	X _i 15 min (%)	X _i 25 min (%)	X _i medio (%)
1	< 38	19,0	6,212	0,743	9,65	1,18	9,65	1,18	5,50
2	38-45	41,5	18,740	3,904	29,11	6,19	38,76	7,37	23,06
3	45-53	49,0	34,900	36,245	54,21	57,47	92,98	64,84	78,91
4	53-65	59,0	3,818	17,103	5,93	27,12	98,91	91,96	95,43
5	65-75	70,0	0,449	4,832	0,70	7,66	99,60	99,63	99,61
6	75-88	81,5	0,243	0,226	0,38	0,36	99,98	99,98	99,98
7	88-105	96,5	0,012	0,010	0,02	0,02	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.: 41,13		
							25 min.: 51,08		
							médio: 46,11		
Desvio (%):							-19,47		

Amostras: teste 08 - leito denso inicial e final								Material:	FCC
M (g) - inicial: 71.727		M (g) - final: 58.483		t (min):		10			
n	Abert. peneiras (microns)	d _i (microns)	m _i inicial (g)	m _i final (g)	x _i inicial (%)	x _i final (%)	X _i inicial (%)	X _i final (%)	
1	< 38	19,0	0,001	0,010	0,00	0,02	0,00	0,02	
2	38-45	41,5	0,250	0,092	0,35	0,16	0,35	0,17	
3	45-53	49,0	4,872	2,028	6,79	3,47	7,14	3,64	
4	53-65	59,0	4,957	3,271	6,91	5,59	14,05	9,24	
5	65-75	70,0	14,056	10,026	19,60	17,14	33,65	26,38	
6	75-88	81,5	21,451	15,640	29,91	26,74	63,56	53,12	
7	88-105	96,5	13,791	9,289	19,23	15,88	82,78	69,00	
8	105-125	115,0	7,097	13,912	9,89	23,79	92,68	92,79	
9	125-149	137,0	3,401	2,966	4,74	5,07	97,42	97,86	
10	149-177	163,0	1,183	0,789	1,65	1,35	99,07	99,21	
11	177-210	193,5	0,384	0,247	0,54	0,42	99,60	99,64	
12	210-297	253,5	0,164	0,118	0,23	0,20	99,83	99,84	
13	297-355	326,0	0,120	0,095	0,17	0,16	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial: 88,90		
							Final: 110,15		
Desvio (%):							-19,28		



Mostra: teste 08 - vaiv. amost.		Malvern
Material:	FCC	Difração a Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	2.91	0.0
2	3.13	0.0
3	5.21	0.1
4	5.60	0.4
5	6.02	0.7
6	6.48	1.0
7	6.97	1.3
8	7.49	1.6
9	8.05	1.8
10	8.66	1.9
11	9.31	1.9
12	10.00	1.9
13	10.80	1.9
14	11.60	1.9
15	12.50	1.9
16	13.40	2.3
17	14.40	3.3
18	15.50	4.8
19	16.70	6.5
20	17.90	8.2
21	19.30	9.6
22	20.70	10.5
23	22.30	11.0
24	24.00	11.2
25	25.80	11.2
26	27.70	11.2
27	29.80	11.6
28	32.00	14.6
29	34.40	20.7
30	37.00	29.6
31	39.80	40.8
32	42.80	53.4
33	46.10	66.4
34	49.50	79.1
35	53.30	90.1
36	57.30	97.2
37	61.60	99.2
38	66.20	99.3
39	71.20	99.6
40	76.60	99.8
41	82.40	100.0
Diâmetro médio:		42.02 microns

TESTE 09

TESTE:	09	HORA:	10:00
Temperatura ambiente (oC):	21	Pressão ambiente (bar):	1.0
Duração (min):	30	Data:	10/07/97

Condições operacionais:

Inventário inicial no leito (g):	60000	Massa coletada no filtro (g):	639,31
Inventário final no leito (g):	60030	Altura do topo da coluna (m):	1,5
Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	38,03	Altura do leito estático (mm):	240
Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	32,84	Altura do leito expandido (mm):	350
Fluxo de arraste (kg/m2s):	0,12658	Temperatura do ar (oC):	42

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:

Coluna de fluidização 01 (mmCA man):

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	39(*)	z =	0,90	183
	0,10	300		1,33	180
	0,20	234		1,66	-
	0,30	187		2,33	-
	0,40	187		2,66	-
	0,50	185		3,33	-
	0,60	185		3,66	-
	0,70	183		4,33	-
	0,80	183		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	151
Saída	133
Perna	136

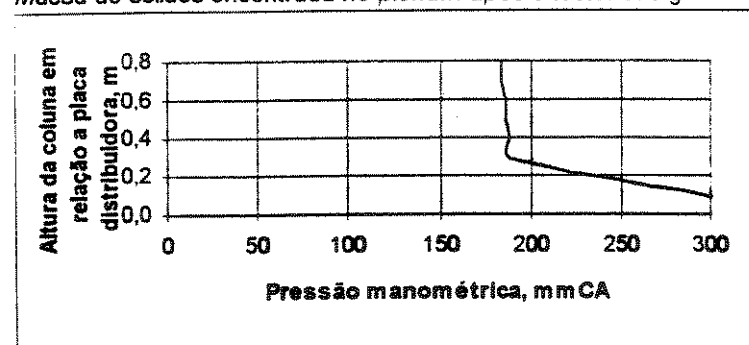
Medida de vazão do ar de fluidização:

Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	44
Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	92
Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,35

Observações:

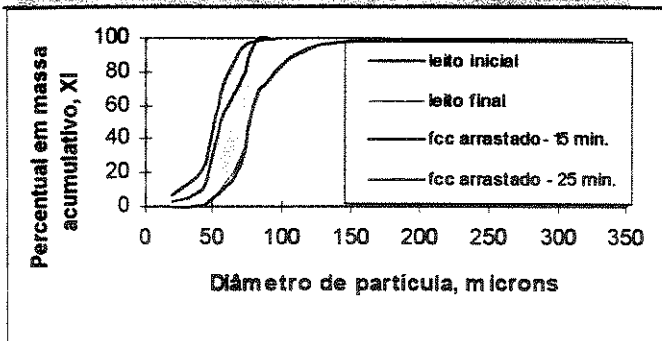
Altura da coluna de recirculação de sólidos: 830 mm

Massa de sólidos encontrada no plenum após o teste: 873 g



Amostras: teste 09 - coletada pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.								Material:	FCC
M (g) - 15 min.:		67,997	M (g) - 25 min.:		68,446		t (min):		10
n	Abert. peneiras (microns)	d _i (microns)	m _i 15 min (g)	m _i 25 min (g)	x _i 15 min (%)	x _i 25 min (%)	X _i 15 min (%)	X _i 25 min (%)	X _i médio (%)
1	< 38	19,0	4,933	2,504	7,25	3,66	7,25	3,66	5,51
2	38-45	41,5	10,491	5,079	15,43	7,42	22,68	11,08	16,88
3	45-53	49,0	16,268	14,019	23,92	20,48	46,61	31,56	39,08
4	53-65	59,0	19,260	17,138	28,32	25,04	74,93	56,60	65,77
5	65-75	70,0	12,989	12,277	19,10	17,94	94,04	74,54	84,29
6	75-88	81,5	3,466	16,493	5,10	24,10	99,13	98,63	98,88
7	88-105	96,5	0,590	0,936	0,87	1,37	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.:	48,39	
							25 min.:	56,19	
							médio:	52,29	
							Desvio (%):	-13,87	

Amostras: teste 09 - leito denso inicial e final								Material:	FCC
M (g) - inicial:		77,319	M (g) - final:		53,601		t (min):		10
n	Abert. peneiras (microns)	d _i (microns)	m _i inicial (g)	m _i final (g)	x _i inicial (%)	x _i final (%)	X _i inicial (%)	X _i final (%)	
1	< 38	19,0	0,010	0,147	0,01	0,27	0,01	0,27	
2	38-45	41,5	0,750	0,590	0,97	1,10	0,98	1,37	
3	45-53	49,0	4,020	1,980	5,20	3,69	6,18	5,07	
4	53-65	59,0	4,580	4,730	5,92	8,82	12,11	13,89	
5	65-75	70,0	10,870	8,680	14,06	16,19	26,16	30,09	
6	75-88	81,5	29,850	17,920	38,61	33,43	64,77	63,52	
7	88-105	96,5	12,140	10,220	15,70	19,07	80,47	82,59	
8	105-125	115,0	9,200	6,110	11,90	11,40	92,37	93,99	
9	125-149	137,0	3,830	2,110	4,95	3,94	97,32	97,92	
10	149-177	163,0	1,349	0,740	1,74	1,38	99,07	99,30	
11	177-210	193,5	0,378	0,209	0,49	0,39	99,56	99,69	
12	210-297	253,5	0,169	0,105	0,22	0,20	99,78	99,89	
13	297-355	326,0	0,173	0,060	0,22	0,11	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial:	92,36	
							Final:	90,49	
							Desvio (%):	2,06	



Amostra: teste 09 - válv. amost.		Malvern
Material:	FCC	Difração a Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	4,00	0,0
2	4,30	0,0
3	6,18	0,1
4	6,65	0,2
5	7,15	0,3
6	7,69	0,4
7	8,27	0,5
8	8,89	0,6
9	9,56	0,6
10	10,30	0,6
11	11,10	0,6
12	11,90	0,6
13	12,80	0,7
14	13,70	0,9
15	14,80	1,2
16	15,90	1,9
17	17,10	2,9
18	18,40	4,2
19	19,80	5,6
20	21,30	6,8
21	22,90	7,6
22	24,60	8,1
23	26,40	8,3
24	28,40	8,3
25	30,60	8,5
26	32,90	9,7
27	35,40	12,6
28	38,00	18,2
29	40,90	26,7
30	44,00	37,3
31	47,30	48,8
32	50,80	60,1
33	54,70	70,1
34	58,80	78,4
35	63,20	84,9
36	68,00	89,8
37	73,10	93,5
38	78,60	96,2
39	84,50	98,2
40	90,90	99,4
41	97,80	99,8
42	105,00	99,9
43	113,00	99,9
44	122,00	100,0
Diâmetro médio:		47.62 microns

TESTE 10

TESTE:	10	HORA:	10:10
Temperatura ambiente (oC):	25	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	08/07/97

Condições operacionais:

.Inventário inicial no leito (g):	60000	.Massa coletada no filtro (g):	349,75
.Inventário final no leito (g):	60137	.Altura do topo da coluna (m):	1,5
.Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	65,74	.Altura do leito estático (mm):	240
.Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	64,51	.Altura do leito expandido (mm):	250
.Fluxo de arraste (kg/m2s):	0,23102	.Temperatura do ar (oC):	40

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:

Coluna de fluidização 01 (mmCA man):

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	41(*)	z =	0,90	172
	0,10	222		1,33	169
	0,20	185		1,66	-
	0,30	185		2,33	-
	0,40	185		2,66	-
	0,50	181		3,33	-
	0,60	180		3,66	-
	0,70	173		4,33	-
	0,80	172		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	121
Saída	97
Perna	103

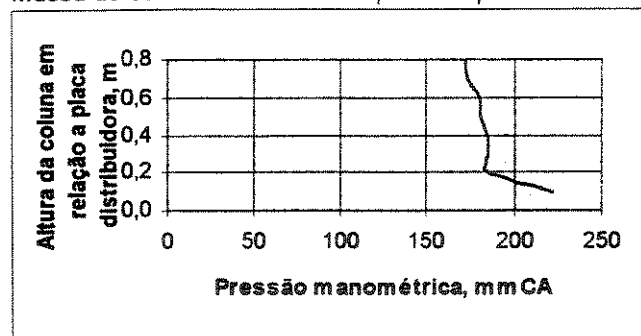
Medida de vazão do ar de fluidização:

.Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	50
.Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	116
.Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,4

Observações:

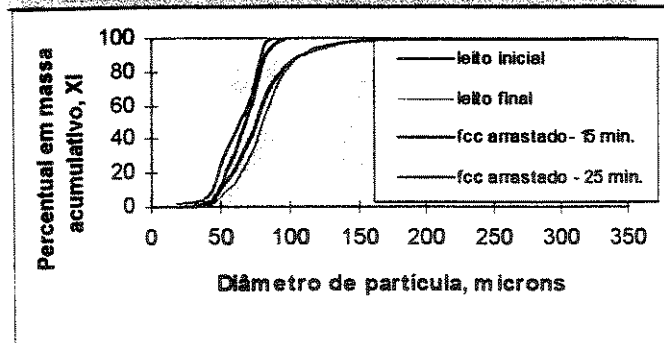
Altura da coluna de recirculação de sólidos: total.

Massa de sólidos encontrada no plenum após o teste: 993 g



Amostras: teste 10 - coletada pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.								Material:	FCC
M (g) - 15 min.:		71,228	M (g) - 25 min.:		65,378		t (min):		10
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi 15 min (g)	mi 25 min (g)	xi 15 min (%)	xi 25 min (%)	Xi 15 min (%)	Xi 25 min (%)	Xi médio (%)
1	< 38	19,0	0,191	1,245	0,27	1,90	0,27	1,90	1,09
2	38-45	41,5	1,273	3,394	1,79	5,19	2,06	7,10	4,58
3	45-53	49,0	6,848	10,691	9,61	16,35	11,67	23,45	17,56
4	53-65	59,0	14,246	13,412	20,00	20,51	31,67	43,96	37,82
5	65-75	70,0	17,438	11,456	24,48	17,52	56,15	61,49	58,82
6	75-88	81,5	24,447	23,687	34,32	36,23	90,47	97,72	94,10
7	88-105	96,5	6,785	1,493	9,53	2,28	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.:	68,40	
							25 min.:	61,53	
							médio:	64,96	
Desvio (%):							11,17		

Amostras: teste 10 - leito denso inicial e final								Material:	FCC
M (g) - inicial:		82,076	M (g) - final:		62,799		t (min):	10	
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi inicial (g)	mi final (g)	xi inicial (%)	xi final (%)	Xi inicial (%)	Xi final (%)	
1	< 38	19,0	0,414	0,180	0,50	0,29	0,50	0,29	
2	38-45	41,5	2,205	0,879	2,69	1,40	3,19	1,69	
3	45-53	49,0	6,057	2,431	7,38	3,87	10,57	5,56	
4	53-65	59,0	10,190	5,727	12,42	9,12	22,99	14,68	
5	65-75	70,0	13,200	8,679	16,08	13,82	39,07	28,50	
6	75-88	81,5	21,200	16,247	25,83	25,87	64,90	54,37	
7	88-105	96,5	14,700	15,790	17,91	25,14	82,81	79,51	
8	105-125	115,0	8,199	9,250	9,99	14,73	92,80	94,24	
9	125-149	137,0	3,807	2,360	4,64	3,76	97,44	98,00	
10	149-177	163,0	1,371	0,824	1,67	1,31	99,11	99,31	
11	177-210	193,5	0,402	0,234	0,49	0,37	99,60	99,68	
12	210-297	253,5	0,192	0,112	0,23	0,18	99,83	99,86	
13	297-355	326,0	0,139	0,086	0,17	0,14	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial:	83,41	
							Final:	94,53	
Desvio (%):							-11,77		



Amostra: teste 10 - válv. amost.		Malvern
Material:	FCC	Difração à Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	4,00	0,0
2	4,30	0,0
3	6,65	0,1
4	7,15	0,1
5	7,69	0,2
6	8,27	0,2
7	8,89	0,2
8	9,56	0,3
9	10,30	0,3
10	11,10	0,3
11	11,90	0,3
12	12,80	0,4
13	13,70	0,7
14	14,80	1,1
15	15,90	1,7
16	17,10	2,3
17	18,40	2,8
18	19,80	3,4
19	21,30	3,8
20	22,90	4,1
21	24,60	4,2
22	26,40	4,2
23	28,40	4,2
24	30,60	4,2
25	32,90	4,5
26	35,40	5,7
27	38,00	8,8
28	40,90	14,2
29	44,00	21,4
30	47,30	29,7
31	50,80	38,7
32	54,70	47,9
33	58,80	56,8
34	63,20	65,4
35	68,00	73,3
36	73,10	80,6
37	78,60	87,2
38	84,50	92,8
39	90,90	96,7
40	97,80	98,6
41	105,00	99,3
42	113,00	99,7
43	122,00	99,8
44	131,00	99,9
45	141,00	100,0
Diâmetro médio:		55.62 microns

TESTE 11

TESTE:	11	HORA:	15:25
Temperatura ambiente (oC):	23	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	10/07/97

Condições operacionais:

.Inventário inicial no leito (g):	60000	.Massa coletada no filtro (g):	324,75
.Inventário final no leito (g):	59270	.Altura do topo da coluna (m):	1,5
.Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	111,40	.Altura do leito estático (mm):	240
.Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	108,15	.Altura do leito expandido (mm):	250
.Fluxo de arraste (kg/m ² s):	0,38889	.Temperatura do ar (oC):	40

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:**Coluna de fluidização 01 (mmCA man):**

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	53(*)	z =	0,90	240
	0,10	292		1,33	236
	0,20	258		1,66	-
	0,30	258		2,33	-
	0,40	250		2,66	-
	0,50	247		3,33	-
	0,60	244		3,66	-
	0,70	241		4,33	-
	0,80	240		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	154
Saída	127
Perna	136

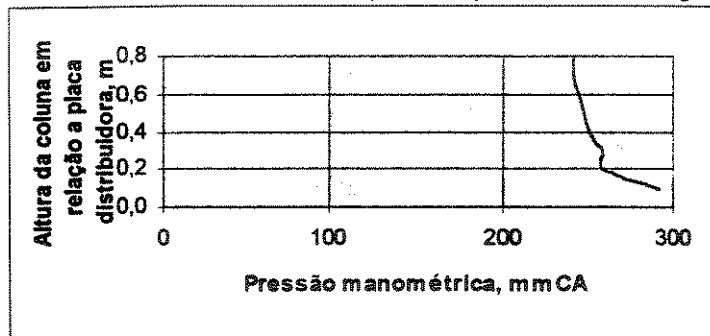
Medida de vazão do ar de fluidização:

.Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	61
.Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	153
.Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,45

Observações:

Altura da coluna de recirculação de sólidos: total + silo

Massa de sólidos encontrada no plenum após o teste: 2200 g



Amostras: teste 11 - coletada pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.							Material:	FCC	
M (g) - 15 min.:		61,889	M (g) - 25 min.:		68,501		t (min):	10	
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi 15 min (g)	mi 25 min (g)	xi 15 min (%)	xi 25 min (%)	Xi 15 min (%)	Xi 25 min (%)	Xi médio (%)
1	< 38	19,0	0,497	0,701	0,80	1,02	0,80	1,02	0,91
2	38-45	41,5	1,127	1,503	1,82	2,19	2,62	3,22	2,92
3	45-53	49,0	2,905	2,711	4,69	3,96	7,32	7,18	7,25
4	53-65	59,0	8,390	8,130	13,56	11,87	20,87	19,04	19,96
5	65-75	70,0	13,070	13,770	21,12	20,10	41,99	39,15	40,57
6	75-88	81,5	18,370	25,640	29,68	37,43	71,68	76,58	74,13
7	88-105	96,5	17,530	16,046	28,32	23,42	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.:	72,93	
							25 min.:	72,58	
							médio:	72,76	
Desvio (%):							0,49		

Amostras: teste 11 - leito denso inicial e final							Material:	FCC
M (g) - inicial:		72,460	M (g) - final:		68,102	t (min):		10
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi inicial (g)	mi final (g)	xi inicial (%)	xi final (%)	Xi inicial (%)	Xi final (%)
1	< 38	19,0	0,050	0,140	0,07	0,21	0,07	0,21
2	38-45	41,5	0,680	0,680	0,94	1,00	1,01	1,20
3	45-53	49,0	3,530	1,370	4,87	2,01	5,88	3,22
4	53-65	59,0	4,700	3,020	6,49	4,43	12,37	7,65
5	65-75	70,0	12,590	6,430	17,38	9,44	29,74	17,09
6	75-88	81,5	25,280	24,870	34,89	36,52	64,63	53,61
7	88-105	96,5	13,230	18,600	18,26	27,31	82,89	80,92
8	105-125	115,0	7,020	7,360	9,69	10,81	92,58	91,73
9	125-149	137,0	3,630	3,650	5,01	5,36	97,58	97,09
10	149-177	163,0	1,100	1,320	1,52	1,94	99,10	99,03
11	177-210	193,5	0,340	0,360	0,47	0,53	99,57	99,56
12	210-297	253,5	0,160	0,172	0,22	0,25	99,79	99,81
13	297-355	326,0	0,150	0,130	0,21	0,19	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial:	89,73
							Final:	98,32
Desvio (%):							-8,74	

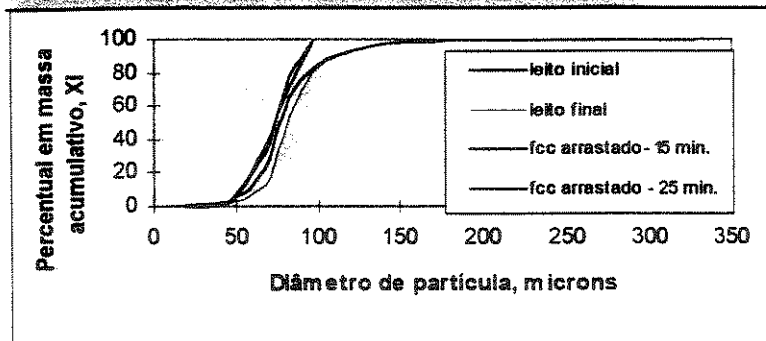


TABLE 1	
Summary of the results of the analysis of variance for the effect of the treatment on the response of the different groups of subjects	
Treatment	Response
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	9
10	10
11	11
12	12
13	13
14	14
15	15
16	16
17	17
18	18
19	19
20	20
21	21
22	22
23	23
24	24
25	25
26	26
27	27
28	28
29	29
30	30
31	31
32	32
33	33
34	34
35	35
36	36
37	37
38	38
39	39
40	40
41	41
42	42
43	43
44	44
45	45
46	46
47	47
48	48
49	49
50	50
51	51
52	52
53	53
54	54
55	55
56	56
57	57
58	58
59	59
60	60
61	61
62	62
63	63
64	64
65	65
66	66
67	67
68	68
69	69
70	70
71	71
72	72
73	73
74	74
75	75
76	76
77	77
78	78
79	79
80	80
81	81
82	82
83	83
84	84
85	85
86	86
87	87
88	88
89	89
90	90
91	91
92	92
93	93
94	94
95	95
96	96
97	97
98	98
99	99
100	100

TESTE 12

TESTE:	12	HORA:	09:45
Temperatura ambiente (oC):	18	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	15/07/97

Condições operacionais:

Inventário inicial no leito (g):	60000	Massa coletada no filtro (g):	114,00
Inventário final no leito (g):	60034	Altura do topo da coluna (m):	2,0
Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	0,65	Altura do leito estático (mm):	240
Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	0,63	Altura do leito expandido (mm):	350
Fluxo de arraste (kg/m2s):	0,00249	Temperatura do ar (oC):	38

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:

Coluna de fluidização 01 (mmCA man):

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	18(*)	z =	0,90	52
	0,10	146		1,33	52
	0,20	66		1,66	51
	0,30	56		2,33	-
	0,40	55		2,66	-
	0,50	55		3,33	-
	0,60	54		3,66	-
	0,70	53		4,33	-
	0,80	52		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	44
Saída	31
Perna	31

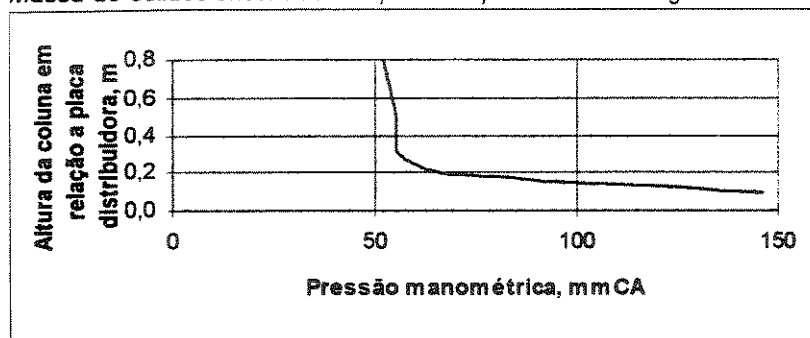
Medida de vazão do ar de fluidização:

Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	20
Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	28
Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,21

Observações:

Altura da coluna de recirculação de sólidos: 0 mm

Massa de sólidos encontrada no plenum após o teste: 990 g



Amostra: teste 12 - válv. amost.		Malvern
Material:	FCC	Difração à Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	2,91	0,0
2	3,13	0,1
3	3,89	0,2
4	4,19	0,3
5	4,50	0,5
6	4,84	0,7
7	5,21	1,0
8	5,60	1,3
9	6,02	1,6
10	6,48	1,8
11	6,97	1,9
12	10,00	2,2
13	10,80	3,1
14	11,60	4,8
15	12,50	7,0
16	13,40	8,8
17	14,40	10,0
18	15,50	10,4
19	22,30	10,7
20	24,00	11,6
21	25,80	13,5
22	27,70	16,6
23	29,80	20,8
24	32,00	26,6
25	34,40	33,9
26	37,00	42,6
27	39,80	52,4
28	42,80	62,7
29	46,10	73,0
30	49,50	82,7
31	53,30	91,3
32	57,30	96,9
33	61,60	99,0
34	66,20	99,3
35	71,20	99,6
36	76,60	99,8
37	82,40	99,9
38	88,60	100,0
Diâmetro médio:		39,14 microns

TESTE 13

TESTE:	13	HORA:	09:40
Temperatura ambiente (oC):	21	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	16/07/97
Condições operacionais:			
.Inventário inicial no leito (g):	60000	.Massa coletada no filtro (g):	99,31
.Inventário final no leito (g):	60000	.Altura do topo da coluna (m):	2,0
.Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	3,65	.Altura do leito estático (mm):	240
.Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	3,59	.Altura do leito expandido (mm):	350
.Fluxo de arraste (kg/m2s):	0,01300	.Temperatura do ar (oC):	40

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:

Coluna de fluidização 01 (mmCA man):

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	26(*)	z =	0,90	87
	0,10	210		1,33	85
	0,20	143		1,66	85
	0,30	97		2,33	-
	0,40	91		2,66	-
	0,50	91		3,33	-
	0,60	90		3,66	-
	0,70	87		4,33	-
	0,80	87		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	68
Saída	53
Perna	53

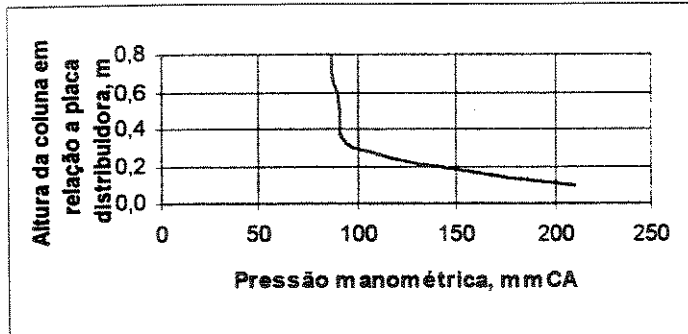
Medida de vazão do ar de fluidização:

.Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	29
.Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	56
.Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,27

Observações:

Altura da coluna de recirculação de sólidos: 0 mm

Massa de sólidos encontrada no plenum após o teste: 1800 g



Amostras: teste 13 - coletada pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.

Material: FCC

M (g) - 15 min.: 61,192 M (g) - 25 min.: 62,076

t (min): 10

n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi 15 min (g)	mi 25 min (g)	xi 15 min (%)	xi 25 min (%)	Xi 15 min (%)	Xi 25 min (%)	Xi médio (%)
1	< 38	19,0	3,500	5,860	5,72	9,44	5,72	9,44	7,70
2	38-45	41,5	11,320	15,330	18,50	24,70	24,22	34,14	29,18
3	45-53	49,0	24,510	26,840	40,05	43,24	64,27	77,37	70,82
4	53-65	59,0	21,100	13,290	34,48	21,41	98,75	98,78	98,77
5	65-75	70,0	0,550	0,540	0,90	0,87	99,65	99,65	99,65
6	75-88	81,5	0,170	0,200	0,28	0,32	99,93	99,97	99,95
7	88-105	96,5	0,042	0,016	0,07	0,03	100,00	100,00	100,00

Diâmetro médio de Sauter
(microns):

15 min.: 46,18

25 min.: 42,48

médio: 44,33

Desvio (%): 8,69

Amostras: teste 13 - leito denso inicial e final

Material: FCC

M (g) - inicial: 71,058 M (g) - final: 66,948

t (min): 10

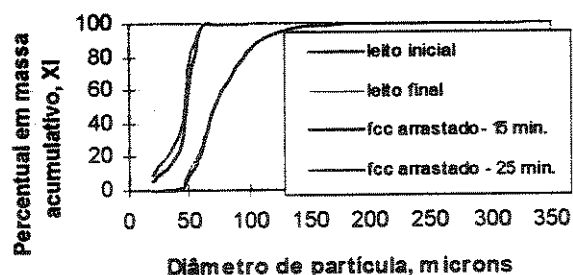
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi inicial (g)	mi final (g)	xi inicial (%)	xi final (%)	Xi inicial (%)	Xi final (%)
1	< 38	19,0	0,108	0,173	0,15	0,26	0,15	0,26
2	38-45	41,5	1,010	1,343	1,42	2,01	1,57	2,26
3	45-53	49,0	5,924	7,250	8,34	10,83	9,91	13,09
4	53-65	59,0	10,370	8,933	14,59	13,34	24,50	26,44
5	65-75	70,0	18,140	16,980	25,53	25,36	50,03	51,80
6	75-88	81,5	11,750	10,820	16,54	16,16	66,57	67,96
7	88-105	96,5	12,050	10,940	16,96	16,34	83,53	84,30
8	105-125	115,0	6,194	5,725	8,72	8,55	92,24	92,85
9	125-149	137,0	3,784	3,110	5,33	4,65	97,57	97,50
10	149-177	163,0	1,155	1,085	1,63	1,62	99,19	99,12
11	177-210	193,5	0,322	0,327	0,45	0,49	99,65	99,61
12	210-297	253,5	0,146	0,153	0,21	0,23	99,85	99,84
13	297-355	326,0	0,105	0,109	0,15	0,16	100,00	100,00

Diâmetro médio de Sauter
(microns):

Inicial: 82,19

Final: 80,71

Desvio (%): 1,84



Amostra: teste 13 - válv. amost.		Malvern
Material:	FCC	Difração à Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	4,00	0,0
2	4,30	0,0
3	5,35	0,1
4	5,75	0,3
5	6,18	0,6
6	6,65	1,1
7	7,15	1,7
8	7,69	2,1
9	8,27	2,3
10	8,89	2,3
11	9,56	2,3
12	10,30	2,3
13	11,10	2,3
14	11,90	2,3
15	12,80	2,4
16	13,70	3,5
17	14,80	5,7
18	15,90	7,9
19	17,10	9,6
20	18,40	10,4
21	19,80	10,4
22	21,30	10,5
23	22,90	10,5
24	24,60	10,5
25	26,40	10,7
26	28,40	11,3
27	30,60	12,9
28	32,90	16,2
29	35,40	21,8
30	38,00	30,7
31	40,90	42,8
32	44,00	57,1
33	47,30	71,7
34	50,80	84,5
35	54,70	93,9
36	58,80	98,8
37	63,20	99,6
38	68,00	99,7
39	73,10	99,7
40	78,60	99,8
41	84,50	99,9
42	90,90	100,0
Diâmetro médio:		42.44 microns

TESTE 14

TESTE:	14	HORA:	10:05
Temperatura ambiente (°C):	21	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	17/07/97

Condições operacionais:

.Inventário inicial no leito (g):	60000	Massa coletada no filtro (g):	262,95
.Inventário final no leito (g):	60000	Altura do topo da coluna (m):	2,0
.Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	27,66	Altura do leito estático (mm):	240
.Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	30,87	Altura do leito expandido (mm):	350
.Fluxo de arraste (kg/m2s):	0,10402	Temperatura do ar (°C):	42

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:**Coluna de fluidização 01 (mmCA man):**

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	35(*)	z =	0,90	128
	0,10	228		1,33	125
	0,20	185		1,66	125
	0,30	140		2,33	-
	0,40	132		2,66	-
	0,50	131		3,33	-
	0,60	130		3,66	-
	0,70	129		4,33	-
	0,80	129		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	90
Saída	71
Perna	75

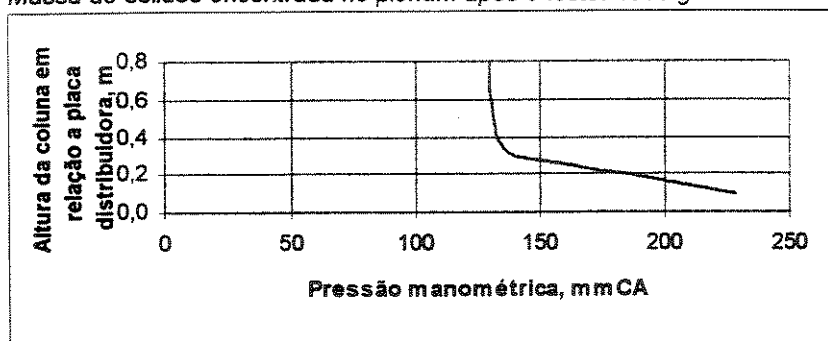
Medida de vazão do ar de fluidização:

.Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	40
.Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	92
.Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,35

Observações:

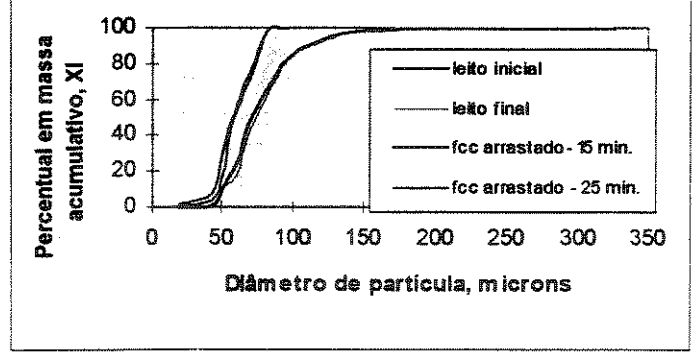
Altura da coluna de recirculação de sólidos: 0 mm

Massa de sólidos encontrada no plenum após o teste: 4900 g



Amostras: teste 14 - coletada pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.								Material:	FCC
M (g) - 15 min.:		66,429	M (g) - 25 min.:		74,351		t (min):		10
n	Abert.	di	mi	mi	xi	xi	Xi	Xi	Xi
	peneiras		15 min	25 min	15 min	25 min	15 min	25 min	médio
	(microns)	(microns)	(g)	(g)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	< 38	19,0	1,356	0,890	2,04	1,20	2,04	1,20	1,63
2	38-45	41,5	4,010	2,265	6,04	3,05	8,08	4,24	6,16
3	45-53	49,0	14,702	10,325	22,13	13,89	30,21	18,13	24,17
4	53-65	59,0	16,752	28,785	25,22	38,72	55,43	56,85	56,14
5	65-75	70,0	11,655	14,757	17,55	19,85	72,97	76,69	74,83
6	75-88	81,5	17,439	16,726	26,25	22,50	99,22	99,19	99,21
7	88-105	96,5	0,515	0,603	0,78	0,81	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.:	58,38	
							25 min.:	60,83	
							médio:	59,61	
Desvio (%):							-4,02		

Amostras: teste 14 - leito denso inicial e final								Material:	FCC
M (g) - inicial:		70,007	M (g) - final:		84,219		t (min):		10
n	Abert.	di	mi	mi	xi	xi	Xi	Xi	
	peneiras		inicial	final	inicial	final	inicial	final	
	(microns)	(microns)	(g)	(g)	(%)	(%)	(%)	(%)	
1	< 38	19,0	0,018	0,182	0,03	0,22	0,03	0,22	
2	38-45	41,5	0,809	2,040	1,16	2,42	1,18	2,64	
3	45-53	49,0	5,932	6,262	8,47	7,44	9,65	10,07	
4	53-65	59,0	10,449	6,571	14,93	7,80	24,58	17,88	
5	65-75	70,0	17,440	21,740	24,91	25,81	49,49	43,69	
6	75-88	81,5	11,401	15,555	16,29	18,47	65,78	62,16	
7	88-105	96,5	11,980	16,675	17,11	19,80	82,89	81,96	
8	105-125	115,0	6,218	8,081	8,88	9,60	91,77	91,55	
9	125-149	137,0	3,928	4,898	5,61	5,82	97,38	97,37	
10	149-177	163,0	1,212	1,464	1,73	1,74	99,11	99,11	
11	177-210	193,5	0,364	0,401	0,52	0,48	99,63	99,58	
12	210-297	253,5	0,156	0,192	0,22	0,23	99,86	99,81	
13	297-355	326,0	0,100	0,158	0,14	0,19	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial:	83,13	
							Final:	86,63	
Desvio (%):							-4,04		



Amostra: teste 14 - válv. amost.		Maivern
Material:	FCC	Difração à Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	4,00	0,0
2	4,30	0,0
3	5,75	0,1
4	6,18	0,1
5	6,65	0,1
6	7,15	0,2
7	7,69	0,3
8	8,27	0,4
9	11,90	0,5
10	12,80	0,9
11	13,70	1,5
12	14,80	2,5
13	15,90	3,5
14	17,10	4,5
15	18,40	5,4
16	19,80	6,1
17	21,30	6,6
18	22,90	7,0
19	24,60	7,4
20	26,40	7,7
21	28,40	8,1
22	30,60	8,8
23	32,90	10,4
24	35,40	13,6
25	38,00	19,2
26	40,90	27,3
27	44,00	37,2
28	47,30	48,0
29	50,80	58,5
30	54,70	68,0
31	58,80	76,0
32	63,20	82,4
33	68,00	87,4
34	73,10	91,3
35	78,60	94,3
36	84,50	96,6
37	90,90	98,2
38	97,80	99,2
39	105,00	99,6
40	113,00	99,8
41	122,00	99,9
42	131,00	100,0
Diâmetro médio:		47.92 microns

TESTE 15

TESTE:	15	HORA:	14:35
Temperatura ambiente (oC):	23	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	16/07/97
Condições operacionais:			
.Inventário inicial no leito (g):	60000	.Massa coletada no filtro (g):	155,76
.Inventário final no leito (g):	60000	.Altura do topo da coluna (m):	2,0
.Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	52,19	.Altura do leito estático (mm):	240
.Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	53,75	.Altura do leito expandido (mm):	350
.Fluxo de arraste (kg/m2s):	0,18765	.Temperatura do ar (oC):	40

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:

Coluna de fluidização 01 (mmCA man):

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	38(*)	z =	0,90	150
	0,10	279		1,33	150
	0,20	208		1,66	150
	0,30	165		2,33	-
	0,40	158		2,66	-
	0,50	156		3,33	-
	0,60	155		3,66	-
	0,70	152		4,33	-
	0,80	152		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	101
Saída	86
Perna	90

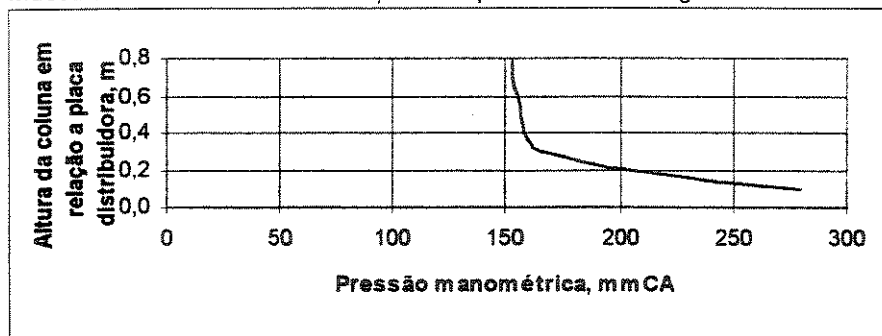
Medida de vazão do ar de fluidização:

.Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	40
.Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	116
.Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,39

Observações:

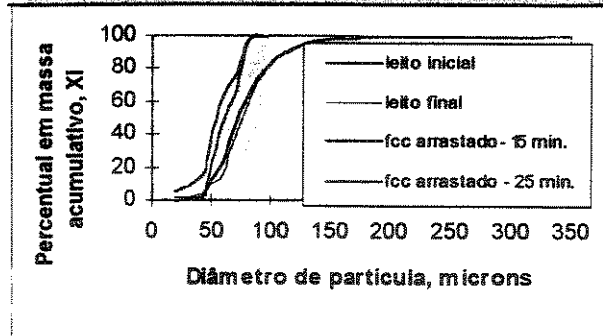
Altura da coluna de recirculação de sólidos: 0 mm

Massa de sólidos encontrada no plenum após o teste: 3700 g



Amostras: teste 15 - coletada pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.								Material:	FCC
M (g) - 15 min.:		71,140	M (g) - 25 min.:		72,180	t (min):		10	
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi 15 min (g)	mi 25 min (g)	xi 15 min (%)	xi 25 min (%)	Xi 15 min (%)	Xi 25 min (%)	Xi médio (%)
1	< 38	19,0	4,150	1,640	5,83	2,27	5,83	2,27	4,06
2	38-45	41,5	7,000	2,250	9,84	3,12	15,67	5,39	10,53
3	45-53	49,0	13,910	8,970	19,55	12,43	35,23	17,82	26,52
4	53-65	59,0	20,070	21,360	28,21	29,59	63,44	47,41	55,42
5	65-75	70,0	10,720	15,470	15,07	21,43	78,51	68,84	73,67
6	75-88	81,5	14,370	21,460	20,20	29,73	98,71	98,57	98,64
7	88-105	96,5	0,920	1,030	1,29	1,43	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.:	52,69	
							25 min.:	61,14	
							médio:	56,91	
Desvio (%):							-13,82		

Amostras: teste 15 - leito denso inicial e final								Material:	FCC
M (g) - inicial:		58,075	M (g) - final:		70,094	t (min):		10	
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi inicial (g)	mi final (g)	xi inicial (%)	xi final (%)	Xi inicial (%)	Xi final (%)	
1	< 38	19,0	0,127	0,256	0,22	0,37	0,22	0,37	
2	38-45	41,5	1,336	1,608	2,30	2,29	2,52	2,66	
3	45-53	49,0	5,323	4,736	9,17	6,76	11,68	9,42	
4	53-65	59,0	6,660	4,845	11,47	6,91	23,15	16,33	
5	65-75	70,0	15,090	17,863	25,98	25,48	49,14	41,81	
6	75-88	81,5	9,464	13,116	16,30	18,71	65,43	60,52	
7	88-105	96,5	9,621	15,075	16,57	21,51	82,00	82,03	
8	105-125	115,0	5,560	7,080	9,57	10,10	91,57	92,13	
9	125-149	137,0	3,346	3,795	5,76	5,41	97,33	97,55	
10	149-177	163,0	1,033	1,156	1,78	1,65	99,11	99,20	
11	177-210	193,5	0,299	0,305	0,51	0,44	99,63	99,63	
12	210-297	253,5	0,136	0,149	0,23	0,21	99,86	99,84	
13	297-355	326,0	0,080	0,110	0,14	0,16	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial:	82,90	
							Final:	87,25	
Desvio (%):							-4,99		



Amostra: teste 15 - válv. amost.		Malvern
Material:	FCC	Difração à Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	4,00	0,0
2	4,30	0,0
3	6,18	0,1
4	6,65	0,1
5	7,15	0,2
6	7,69	0,3
7	8,27	0,4
8	8,89	0,4
9	9,56	0,4
10	10,30	0,4
11	11,10	0,4
12	11,90	0,5
13	12,80	0,6
14	13,70	1,0
15	14,80	1,6
16	15,90	2,5
17	17,10	3,5
18	18,40	4,6
19	19,80	5,7
20	21,30	6,6
21	22,90	7,3
22	24,60	7,7
23	26,40	8,0
24	28,40	8,2
25	30,60	8,6
26	32,90	9,9
27	35,40	12,8
28	38,00	18,1
29	40,90	26,0
30	44,00	35,7
31	47,30	46,4
32	50,80	57,0
33	54,70	66,6
34	58,80	74,8
35	63,20	81,5
36	68,00	86,8
37	73,10	91,1
38	78,60	94,5
39	84,50	97,1
40	90,90	98,8
41	97,80	99,5
42	105,00	99,8
43	113,00	99,9
44	122,00	99,9
45	131,00	100,0
Diâmetro médio:		48.43 microns

TESTE 16

TESTE:	16	HORA:	15:00
Temperatura ambiente (oC):	21	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	22/07/97

Condições operacionais:

.Inventário inicial no leito (g):	60000	Massa coletada no filtro (g):	178,63
.Inventário final no leito (g):	60000	Altura do topo da coluna (m):	2,0
.Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	89,00	Altura do leito estático (mm):	240
.Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	89,03	Altura do leito expandido (mm):	250
.Fluxo de arraste (kg/m2s):	0,31518	Temperatura do ar (oC):	37

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:**Coluna de fluidização 01 (mmCA man):**

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	52(*)	z =	0,90	232
	0,10	280		1,33	230
	0,20	270		1,66	227
	0,30	262		2,33	-
	0,40	255		2,66	-
	0,50	250		3,33	-
	0,60	240		3,66	-
	0,70	236		4,33	-
	0,80	234		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	135
Saída	105
Perna	118

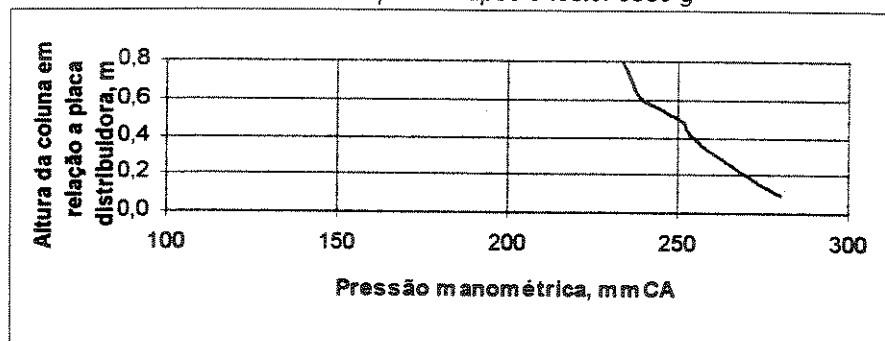
Medida de vazão do ar de fluidização:

.Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	62
.Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	153
.Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,45

Observações:

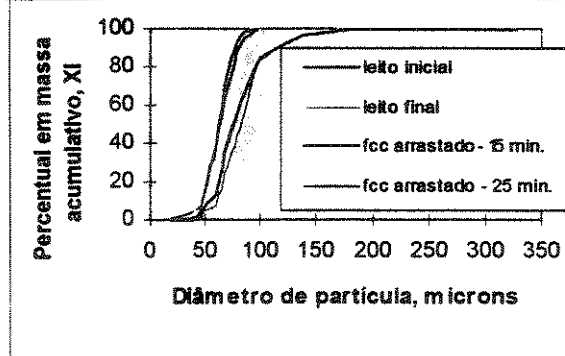
Altura da coluna de recirculação de sólidos: total + silo

Massa de sólidos encontrada no plenum após o teste: 3060 g



Amostras: teste 16 - coletada pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.							Material:	FCC
M (g) - 15 min.:		80,320	M (g) - 25 min.:		83,900		t (min):	10
n	Abert.	di	mi	mi	xi	xi	Xi	Xi
	peneiras		15 min	25 min	15 min	25 min	15 min	25 min
	(microns)	(microns)	(g)	(g)	(%)	(%)	(%)	médio
								(%)
1	< 38	19,0	0,370	0,770	0,46	0,92	0,46	0,92
2	38-45	41,5	2,500	4,290	3,11	5,11	3,57	6,03
3	45-53	49,0	11,290	9,200	14,06	10,97	17,63	17,00
4	53-65	59,0	19,170	19,230	23,87	22,92	41,50	39,92
5	65-75	70,0	29,850	26,010	37,16	31,00	78,66	70,92
6	75-88	81,5	14,270	18,410	17,77	21,94	96,43	92,86
7	88-105	96,5	2,870	5,990	3,57	7,14	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter							15 min.:	63,43
(microns):								
							25 min.:	63,70
							médio:	63,56
Desvio (%):							-0,42	

Amostras: teste 16 - leite denso inicial e final								Material:	FCC
M (g) - inicial:		69,467	M (g) - final:		68,262		t (min):	10	
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi inicial (g)	mi final (g)	xi inicial (%)	xi final (%)	Xi inicial (%)	Xi final (%)	
1	< 38	19,0	0,111	0,127	0,16	0,19	0,16	0,19	
2	38-45	41,5	0,923	1,021	1,33	1,50	1,49	1,68	
3	45-53	49,0	4,501	2,283	6,48	3,34	7,97	5,03	
4	53-65	59,0	4,761	2,539	6,85	3,72	14,82	8,75	
5	65-75	70,0	19,312	14,039	27,80	20,57	42,62	29,31	
6	75-88	81,5	13,799	13,946	19,86	20,43	62,49	49,74	
7	88-105	96,5	13,863	21,402	19,96	31,35	82,44	81,09	
8	105-125	115,0	5,862	5,537	8,44	8,11	90,88	89,21	
9	125-149	137,0	4,310	5,487	6,20	8,04	97,08	97,24	
10	149-177	163,0	1,420	1,300	2,04	1,90	99,13	99,15	
11	177-210	193,5	0,349	0,323	0,50	0,47	99,63	99,62	
12	210-297	253,5	0,154	0,150	0,22	0,22	99,85	99,84	
13	297-355	326,0	0,102	0,108	0,15	0,16	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial:	86,73	
							Final:	95,56	
Desvio (%):							-9,24		



Amostra: teste 16 - válv. amost.		Malvern
Material:	FCC	Difração à Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	7,15	0,1
2	7,69	0,1
3	8,27	0,2
4	8,89	0,2
5	9,56	0,3
6	13,70	0,4
7	14,80	0,6
8	15,90	0,9
9	17,10	1,4
10	18,40	2,2
11	19,80	3
12	21,30	3,6
13	22,90	4
14	24,60	4,1
15	26,40	4,1
16	28,40	4,1
17	30,60	4,1
18	32,90	4,3
19	35,40	5,3
20	38,00	7,6
21	40,90	11,4
22	44,00	16,6
23	47,30	22,9
24	50,80	30,3
25	54,70	38,4
26	58,80	47,2
27	63,20	56,2
28	68,00	65,1
29	73,10	73,7
30	78,60	81,7
31	84,50	88,8
32	90,90	94,1
33	97,80	97,2
34	105,00	98,8
35	113,00	99,5
36	122,00	99,7
37	131,00	99,8
38	141,00	99,9
39	151,00	100,0
Diâmetro médio:		60.15 microns

Malvern - difração a laser (via úmida)

Amostra: teste 16 - leito inicial

Amostra: teste 16 - leito final

Material:	FCC		Material:	FCC
n	d _i (microns)	X _i (%)	d _i (microns)	X _i (%)
1	5,80	0,2	5,80	0,0
2	21,40	0,5	21,40	0,1
3	23,10	0,6	23,10	0,1
4	24,80	0,7	24,80	0,2
5	26,70	0,9	26,70	0,5
6	28,70	1,3	28,70	0,8
7	30,80	1,7	30,80	1,1
8	33,20	2,3	33,20	1,5
9	35,70	3	35,70	2,0
10	38,40	3,7	38,40	2,6
11	41,20	4,6	41,20	3,4
12	44,40	5,7	44,40	4,6
13	47,70	7,2	47,70	6,4
14	51,30	9,5	51,30	9,0
15	55,20	12,7	55,20	12,6
16	59,30	17	59,30	17,1
17	63,80	22,6	63,80	22,5
18	68,60	29,6	68,60	28,8
19	73,80	37,5	73,80	35,8
20	79,30	46	79,30	43,4
21	85,30	54,3	85,30	51,4
22	91,70	62,1	91,70	59,6
23	98,60	69,2	98,60	67,5
24	106,00	75,5	106,00	74,9
25	114,00	80,8	114,00	81,2
26	123,00	85,2	123,00	86,3
27	132,00	88,7	132,00	90,2
28	142,00	91,5	142,00	93,1
29	153,00	93,7	153,00	95,3
30	164,00	95,4	164,00	96,9
31	176,00	96,7	176,00	98,1
32	190,00	97,7	190,00	98,9
33	204,00	98,5	204,00	99,4
34	219,00	99	219,00	99,7
35	236,00	99,3	236,00	99,9
36	254,00	99,6	254,00	99,9
37	273,00	99,7	273,00	99,9
38	293,00	99,9	293,00	99,9
39	315,00	99,9	315,00	99,9
40	339,00	100	339,00	100,0
Diâmetro médio:		82,09 microns	84,24 microns	

Amostra: teste 16 - filtro		Malvern
Material:	FCC	Difração à Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	1,22	9,6
2	1,31	9,9
3	1,41	10,2
4	1,51	10,6
5	1,63	11,3
6	1,75	12,2
7	1,88	13,6
8	2,03	15,4
9	2,18	17,6
10	2,34	20,2
11	2,52	23,2
12	2,71	26,5
13	2,91	30,0
14	3,13	33,7
15	3,37	37,3
16	3,62	40,9
17	3,89	44,5
18	4,19	48,0
19	4,50	51,5
20	4,84	55,1
21	5,21	58,8
22	5,60	62,6
23	6,02	66,5
24	6,48	70,3
25	6,97	74,0
26	7,49	77,6
27	8,05	81,0
28	8,66	84,2
29	9,31	87,2
30	10,00	89,9
31	10,80	92,3
32	11,60	94,4
33	12,50	96,0
34	13,40	97,4
35	14,40	98,3
36	15,50	99,0
37	16,70	99,4
38	17,90	99,7
39	19,30	99,8
40	20,70	99,9
41	22,30	100,0
Diâmetro médio:		4,37 microns

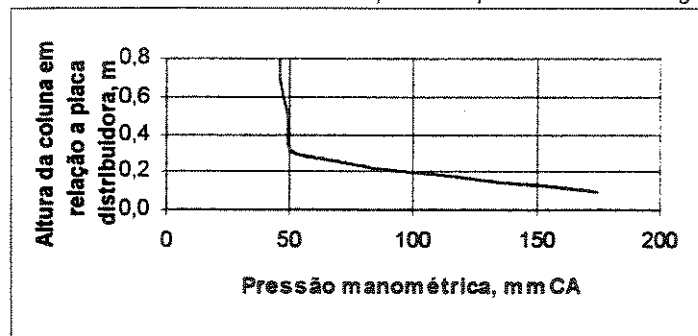
TESTE 17

TESTE:		17	HORA:		10:30
Temperatura ambiente (oC):		18	Pressão ambiente (bar):		1,0
Duração (min):		30	Data:		23/07/97
Condições operacionais:					
.Inventário inicial no leito (g):		60000	.Massa coletada no filtro (g):		47,56
.Inventário final no leito (g):		59839	.Altura do topo da coluna (m):		2,5
.Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:		0,58	.Altura do leito estático (mm):		240
.Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:		0,55	.Altura do leito expandido (mm):		350
.Fluxo de arraste (kg/m2s):		0,00209	.Temperatura do ar (oC):		48
Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:					
Coluna de fluidização 01 (mmCA man):					
Altura em relação ao distribuidor de ar, m:					
z =	-0,10	19(*)	z =	0,90	45
	0,10	174		1,33	45
	0,20	98		1,66	45
	0,30	52		2,33	44
	0,40	49		2,66	-
	0,50	49		3,33	-
	0,60	47		3,66	-
	0,70	46		4,33	-
	0,80	46		4,66	-
(*) mmHg					
Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):					
Entrada	39				
Saída	30				
Perna	30				
Medida de vazão do ar de fluidização:					
.Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):		22			
.Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):		28			
.Velocidade superficial de fluidização (m/s):		0,21			

Observações:

Altura da coluna de recirculação de sólidos: 0 mm

Massa de sólidos encontrada no plenum após o teste: 2739 g



Amostras: teste 17 - coletada pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.

Material: FCC

M (g) - 15 min.: 51,926 M (g) - 25 min.: 57,121

t (min): 10

n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi 15 min (g)	mi 25 min (g)	xi 15 min (%)	xi 25 min (%)	Xi 15 min (%)	Xi 25 min (%)	Xi médio (%)
1	< 38	19,0	0,332	0,282	0,64	0,49	0,64	0,49	0,59
2	38-45	41,5	5,200	5,993	10,01	10,49	10,65	10,99	10,82
3	45-53	49,0	21,250	27,553	40,92	48,24	51,58	59,22	55,40
4	53-65	59,0	15,326	15,080	29,52	26,40	81,09	85,62	83,36
5	65-75	70,0	6,689	4,785	12,88	8,38	93,97	94,00	93,99
6	75-88	81,5	1,820	1,936	3,50	3,39	97,48	97,39	97,43
7	88-105	96,5	1,309	1,492	2,52	2,61	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.: 53,66		
							25 min.: 52,66		
							médio: 53,16		
Desvio (%):							1,90		

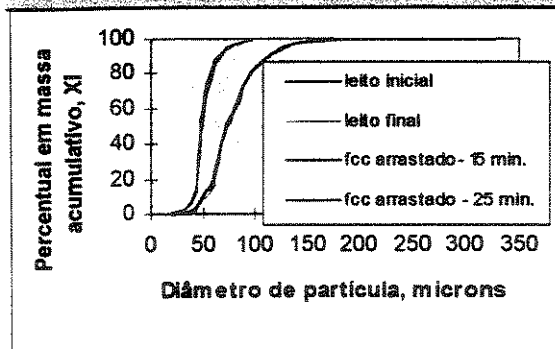
Amostras: teste 17 - leito denso inicial e final

Material: FCC

M (g) - inicial: 77,101 M (g) - final: 69,787

t (min): 10

n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi inicial (g)	mi final (g)	xi inicial (%)	xi final (%)	Xi inicial (%)	Xi final (%)
1	< 38	19,0	0,097	0,097	0,13	0,14	0,13	0,14
2	38-45	41,5	2,258	0,849	2,93	1,22	3,05	1,36
3	45-53	49,0	5,683	4,727	7,37	6,77	10,43	8,13
4	53-65	59,0	7,191	5,077	9,33	7,27	19,75	15,40
5	65-75	70,0	20,931	20,176	27,15	28,91	46,90	44,31
6	75-88	81,5	13,522	11,585	17,54	16,60	64,44	60,92
7	88-105	96,5	13,186	14,248	17,10	20,42	81,54	81,33
8	105-125	115,0	7,593	6,860	9,85	9,83	91,39	91,16
9	125-149	137,0	4,524	4,364	5,87	6,25	97,26	97,41
10	149-177	163,0	1,454	1,233	1,89	1,77	99,14	99,18
11	177-210	193,5	0,384	0,315	0,50	0,45	99,64	99,63
12	210-297	253,5	0,161	0,146	0,21	0,21	99,85	99,84
13	297-355	326,0	0,117	0,110	0,15	0,16	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial: 84,64	
							Final: 88,78	
Desvio (%):							-4,66	



Amostra: teste 17 - válv. amost.		Malvern
Material:	FCC	Difração à Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	2,52	0,1
2	2,71	0,1
3	4,50	0,9
4	4,84	1,3
5	5,21	1,7
6	5,60	2,2
7	6,02	2,6
8	6,48	3,0
9	6,97	3,2
10	7,49	3,3
11	8,05	3,3
12	8,66	3,3
13	9,31	3,4
14	10,00	4,0
15	10,80	5,4
16	11,60	7,7
17	12,50	10,5
18	13,40	13,0
19	14,40	14,7
20	15,50	15,6
21	16,70	15,8
22	17,90	15,8
23	19,30	15,8
24	20,70	16,0
25	22,30	16,9
26	24,00	18,9
27	25,80	22,3
28	27,70	27,1
29	29,80	32,9
30	32,00	39,7
31	34,40	47,2
32	37,00	55,3
33	39,80	63,7
34	42,80	72,0
35	46,10	79,9
36	49,50	87,3
37	53,30	93,6
38	57,30	97,7
39	61,60	99,3
40	66,20	99,5
41	71,20	99,7
42	76,60	99,9
43	82,40	100,0
Diâmetro médio:		35.33 microns

TESTE 18

TESTE:	18	HORA:	14:40
Temperatura ambiente (oC):	21	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	23/07/97
Condições operacionais:			
.Inventário inicial no leito (g):	60000	.Massa coletada no filtro (g):	59,72
.Inventário final no leito (g):	58934(**)	.Altura do topo da coluna (m):	2,5
.Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	2,37	.Altura do leito estático (mm):	240
.Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	2,68	.Altura do leito expandido (mm):	350
.Fluxo de arraste (kg/m2s):	0,00905	.Temperatura do ar (oC):	45

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:

Coluna de fluidização 01 (mmCA man):

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	25(*)	z =	0,90	76
	0,10	230		1,33	75
	0,20	126		1,66	75
	0,30	85		2,33	74
	0,40	82		2,66	-
	0,50	82		3,33	-
	0,60	77		3,66	-
	0,70	76		4,33	-
	0,80	76		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	64
Saída	49
Perna	49

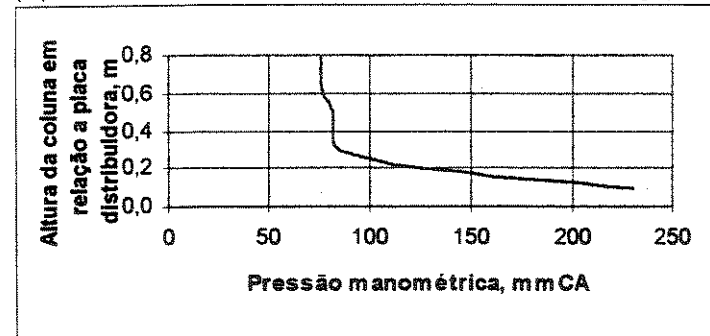
Medida de vazão do ar de fluidização:

.Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	28
.Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	56
.Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,27

Observações:

Altura da coluna de recirculação de sólidos: 0 mm

(**) M sólidos encontrada no plenum após o teste: 2335 g (perdeu-se massa durante limpeza)



Amostras: teste 18 - coletada pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.

Material: FCC

M (g) - 15 min.: 65,092

M (g) - 25 min.: 68,080

t (min): 10

n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi 15 min (g)	mi 25 min (g)	xi 15 min (%)	xi 25 min (%)	Xi 15 min (%)	Xi 25 min (%)	Xi médio (%)
1	< 38	19,0	0,614	0,534	0,94	0,78	0,94	0,78	0,88
2	38-45	41,5	8,643	5,056	13,28	7,43	14,22	8,21	11,22
3	45-53	49,0	26,794	33,349	41,16	48,99	55,38	57,20	56,29
4	53-65	59,0	26,894	27,256	41,32	40,04	96,70	97,23	96,97
5	65-75	70,0	0,898	0,716	1,38	1,05	98,08	98,28	98,18
6	75-88	81,5	0,833	0,707	1,28	1,04	99,36	99,32	99,34
7	88-105	96,5	0,416	0,462	0,64	0,68	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.:	51,23	
							25 min.:	51,73	
							médio:	51,48	
Desvio (%):							-0,96		

Amostras: teste 18 - leito denso inicial e final

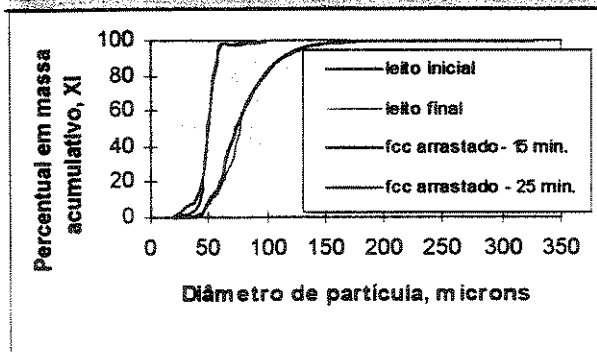
Material: FCC

M (g) - inicial: 66,145

M (g) - final: 72,148

t (min): 10

n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi inicial (g)	mi final (g)	xi inicial (%)	xi final (%)	Xi inicial (%)	Xi final (%)
1	< 38	19,0	0,073	0,057	0,11	0,08	0,11	0,08
2	38-45	41,5	1,171	0,979	1,77	1,36	1,88	1,44
3	45-53	49,0	5,526	4,658	8,35	6,46	10,24	7,89
4	53-65	59,0	5,882	5,664	8,89	7,85	19,13	15,74
5	65-75	70,0	17,931	13,532	27,11	18,76	46,24	34,50
6	75-88	81,5	11,717	21,402	17,71	29,66	63,95	64,16
7	88-105	96,5	11,313	12,610	17,10	17,48	81,05	81,64
8	105-125	115,0	6,908	6,597	10,44	9,14	91,50	90,78
9	125-149	137,0	3,947	4,650	5,97	6,45	97,46	97,23
10	149-177	163,0	1,139	1,301	1,72	1,80	99,19	99,03
11	177-210	193,5	0,305	0,386	0,46	0,54	99,65	99,57
12	210-297	253,5	0,135	0,180	0,20	0,25	99,85	99,82
13	297-355	326,0	0,098	0,132	0,15	0,18	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial:	85,77
							Final:	89,71
Desvio (%):							-4,39	



Amostra: teste 18 - válv. amost.		Malvern
Material:	FCC	Difração à Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	2,52	0,0
2	2,71	0,0
3	4,84	0,1
4	5,21	0,3
5	5,60	0,6
6	6,02	0,9
7	6,48	1,1
8	6,97	1,2
9	7,49	1,2
10	8,05	1,2
11	8,66	1,2
12	9,31	1,2
13	10,00	1,2
14	10,80	1,3
15	11,60	1,6
16	12,50	2,1
17	13,40	3,0
18	14,40	4,3
19	15,50	5,8
20	16,70	7,4
21	17,90	8,5
22	19,30	9,1
23	20,70	9,0
24	22,30	9,2
25	24,00	9,3
26	25,80	9,3
27	27,70	9,4
28	29,80	9,9
29	32,00	12,1
30	34,40	17,7
31	37,00	26,3
32	39,80	37,4
33	42,80	49,9
34	46,10	62,9
35	49,50	75,6
36	53,30	87,1
37	57,30	95,0
38	61,60	98,2
39	66,20	99,0
40	71,20	99,4
41	76,60	99,7
42	82,40	99,0
43	88,60	99,9
44	95,20	100,0
Diâmetro médio:		42,85 microns

TESTE 19

TESTE:	19	HORA:	9:45
---------------	----	--------------	------

Temperatura ambiente (oC):	17	Pressão ambiente (bar):	1,0
-----------------------------------	----	--------------------------------	-----

Duração (min):	30	Data:	24/07/97
-----------------------	----	--------------	----------

Condições operacionais:

Inventário inicial no leito (g):	60000	Massa coletada no filtro (g):	85,37
Inventário final no leito (g):	59903	Altura do topo da coluna (m):	2,5
Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	20,07	Altura do leito estático (mm):	240
Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	18,73	Altura do leito expandido (mm):	350
Fluxo de arraste (kg/m ² s):	0,06878	Temperatura do ar (oC):	40

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:

Coluna de fluidização 01 (mmCA man):

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	34(*)	z =	0,90	114
	0,10	221		1,33	112
	0,20	154		1,66	111
	0,30	130		2,33	110
	0,40	124		2,66	-
	0,50	124		3,33	-
	0,60	118		3,66	-
	0,70	115		4,33	-
	0,80	115		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	91
Saída	71
Perna	74

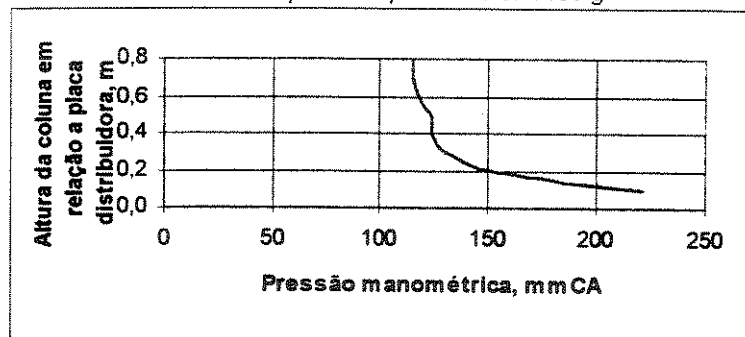
Medida de vazão do ar de fluidização:

Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	39
Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	92
Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,35

Observações:

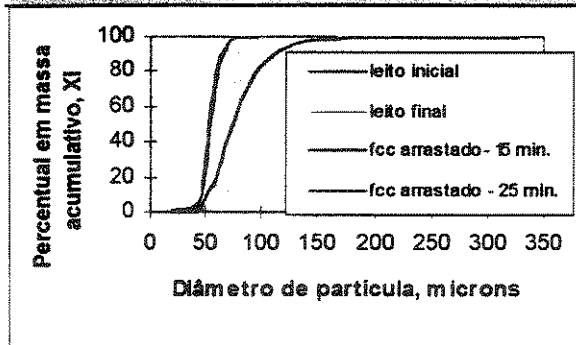
Altura da coluna de recirculação de sólidos: 1000 mm

M sólidos encontrada no plenum após o teste: 1481 g



Amostras: teste 19 - coletada pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.								Material:	FCC
M (g) - 15 min.:		67,608	M (g) - 25 min.:		79,840		t (min):		10
n	Abert.	di	mi	mi	xi	xi	Xi	Xi	Xi
	peneiras		15 min	25 min	15 min	25 min	15 min	25 min	médio
	(microns)	(microns)	(g)	(g)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	< 38	19,0	0,493	0,422	0,73	0,53	0,73	0,53	0,64
2	38-45	41,5	3,147	2,666	4,65	3,34	5,38	3,87	4,63
3	45-53	49,0	19,915	16,281	29,46	20,39	34,84	24,26	29,55
4	53-65	59,0	32,689	41,000	48,35	51,35	83,19	75,61	79,40
5	65-75	70,0	9,786	17,375	14,47	21,76	97,67	97,37	97,52
6	75-88	81,5	1,380	1,780	2,04	2,23	99,71	99,60	99,66
7	88-105	96,5	0,198	0,316	0,29	0,40	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.:	55,37	
							25 min.:	57,56	
							médio:	56,47	
Desvio (%):							-3,81		

Amostras: teste 19 - leite denso inicial e final								Material:	FCC
M (g) - inicial:		68,244	M (g) - final:		68,775		t (min):	10	
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi inicial (g)	mi final (g)	xi inicial (%)	xi final (%)	Xi inicial (%)	Xi final (%)	
1	< 38	19,0	0,066	0,088	0,10	0,13	0,10	0,13	
2	38-45	41,5	1,053	1,074	1,54	1,56	1,64	1,69	
3	45-53	49,0	5,539	4,342	8,12	6,31	9,76	8,00	
4	53-65	59,0	7,139	6,874	10,46	9,99	20,22	18,00	
5	65-75	70,0	16,307	18,005	23,90	26,18	44,11	44,18	
6	75-88	81,5	13,708	13,955	20,09	20,29	64,20	64,47	
7	88-105	96,5	11,773	12,922	17,25	18,79	81,45	83,26	
8	105-125	115,0	6,863	6,430	10,06	9,35	91,51	92,61	
9	125-149	137,0	4,067	3,463	5,96	5,04	97,47	97,64	
10	149-177	163,0	1,136	1,075	1,66	1,56	99,13	99,20	
11	177-210	193,5	0,339	0,309	0,50	0,45	99,63	99,65	
12	210-297	253,5	0,142	0,136	0,21	0,20	99,84	99,85	
13	297-355	326,0	0,112	0,102	0,16	0,15	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial:	85,76	
							Final:	86,19	
Desvio (%):							-0,49		



Amostra: teste 19 - válv. amost.		Malvern
Material:	FCC	Difração à Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	4,00	0,0
2	4,30	0,0
3	5,75	0,1
4	6,18	0,3
5	6,65	0,5
6	7,15	0,9
7	7,69	1,2
8	8,27	1,4
9	8,89	1,5
10	9,56	1,6
11	14,80	1,7
12	15,90	2,2
13	17,10	3,4
14	18,40	5,2
15	19,80	7,3
16	21,30	8,8
17	22,90	9,5
18	24,60	9,6
19	26,40	9,6
20	28,40	9,6
21	30,60	9,8
22	32,90	9,9
23	35,40	10,9
24	38,00	14,9
25	40,90	22,8
26	44,00	33,3
27	47,30	44,9
28	50,80	56,4
29	54,70	66,8
30	58,80	75,5
31	63,20	82,4
32	68,00	87,8
33	73,10	91,9
34	78,60	95,1
35	84,50	97,5
36	90,90	99,0
37	97,80	99,6
38	105,00	99,8
39	113,00	99,9
40	122,00	99,9
41	131,00	100,0
Diâmetro médio:		48.79 microns

TESTE 20

TESTE:	20	HORA:	15:00
Temperatura ambiente (oC):	21	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	24/07/97
Condições operacionais:			
Inventário inicial no leito (g):	60000	Massa coletada no filtro (g):	124,96
Inventário final no leito (g):	59526	Altura do topo da coluna (m):	2,5
Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	45,45	Altura do leito estático (mm):	240
Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	44,82	Altura do leito expandido (mm):	350
Fluxo de arraste (kg/m2s):	0,15988	Temperatura do ar (oC):	40

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:

Coluna de fluidização 01 (mmCA man):

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	41(*)	z =	0,90	157
	0,10	275		1,33	154
	0,20	198		1,66	153
	0,30	175		2,33	151
	0,40	169		2,66	-
	0,50	164		3,33	-
	0,60	160		3,66	-
	0,70	158		4,33	-
	0,80	158		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	120
Saída	96
Perna	102

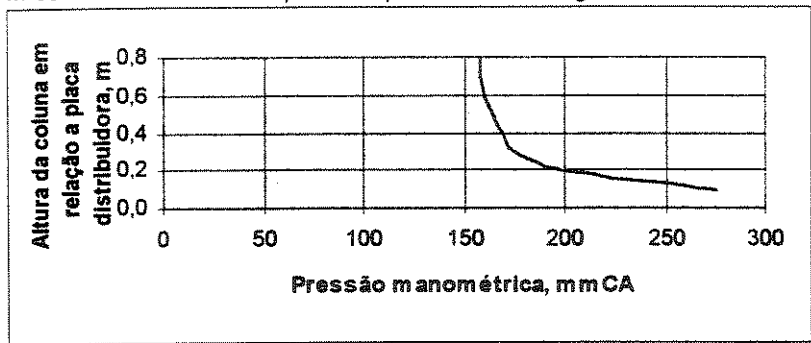
Medida de vazão do ar de fluidização:

Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	48
Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	116
Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,39

Observações:

Altura da coluna de recirculação de sólidos: total

M sólidos encontrada no plenum após o teste: 822 g



Amostras: teste 20 - coletada pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.

Material: FCC

M (g) - 15 min.: 68,908 M (g) - 25 min.: 65,060 t (min): 10

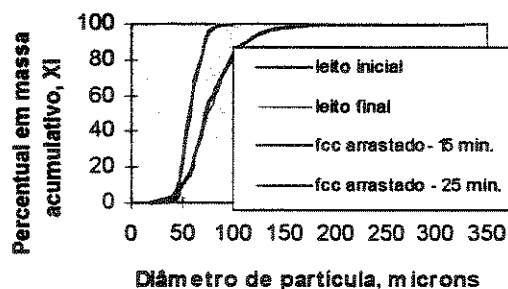
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi 15 min (g)	mi 25 min (g)	xi 15 min (%)	xi 25 min (%)	Xi 15 min (%)	Xi 25 min (%)	Xi médio (%)
1	< 38	19,0	0,432	0,825	0,63	1,27	0,63	1,27	0,96
2	38-45	41,5	2,710	3,766	3,93	5,79	4,56	7,06	5,81
3	45-53	49,0	9,969	11,001	14,47	16,91	19,03	23,97	21,50
4	53-65	59,0	26,491	24,520	38,44	37,69	57,47	61,65	59,56
5	65-75	70,0	22,816	18,129	33,11	27,87	90,58	89,52	90,05
6	75-88	81,5	5,828	6,356	8,46	9,77	99,04	99,29	99,16
7	88-105	96,5	0,662	0,463	0,96	0,71	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.: 60,19		
							25 min.: 58,30		
							médio: 59,24		
Desvio (%):							3,25		

Amostras: teste 20 - leite denso inicial e final

Material: FCC

M (g) - inicial: 73,840 M (g) - final: 73,149 t (min): 10

n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi inicial (g)	mi final (g)	xi inicial (%)	xi final (%)	Xi inicial (%)	Xi final (%)
1	< 38	19,0	0,039	0,249	0,05	0,34	0,05	0,34
2	38-45	41,5	1,210	2,011	1,64	2,75	1,69	3,09
3	45-53	49,0	6,221	5,463	8,42	7,47	10,12	10,56
4	53-65	59,0	6,533	8,129	8,85	11,11	18,96	21,67
5	65-75	70,0	21,259	16,199	28,79	22,15	47,75	43,82
6	75-88	81,5	12,386	11,829	16,77	16,17	64,53	59,99
7	88-105	96,5	12,478	16,591	16,90	22,68	81,43	82,67
8	105-125	115,0	7,878	7,170	10,67	9,80	92,10	92,47
9	125-149	137,0	3,868	3,412	5,24	4,66	97,33	97,13
10	149-177	163,0	1,387	1,352	1,88	1,85	99,21	98,98
11	177-210	193,5	0,326	0,396	0,44	0,54	99,65	99,52
12	210-297	253,5	0,157	0,193	0,21	0,26	99,87	99,79
13	297-355	326,0	0,098	0,155	0,13	0,21	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial: 85,36	
							Final: 85,12	
Desvio (%):							0,27	



Amostra: teste 20 - válv. amost.		Malvern
Material:	FCC	Difração à Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	4,00	0,0
2	4,30	0,0
3	6,65	0,2
4	7,15	0,3
5	7,69	0,4
6	8,27	0,5
7	12,80	0,7
8	13,70	1,1
9	14,80	1,6
10	15,90	2,3
11	17,10	3,1
12	18,40	3,9
13	19,80	4,7
14	21,30	5,3
15	22,90	5,8
16	24,60	6,0
17	26,40	6,0
18	28,40	6,0
19	30,60	6,0
20	32,90	6,5
21	35,40	8,1
22	38,00	11,7
23	40,90	17,5
24	44,00	25,1
25	47,30	33,7
26	50,80	42,9
27	54,70	51,9
28	58,80	60,5
29	63,20	68,5
30	68,00	75,7
31	73,10	82,2
32	78,60	88,0
33	84,50	92,9
34	90,90	96,5
35	97,80	98,4
36	105,00	99,3
37	113,00	99,7
38	122,00	99,8
39	131,00	99,9
40	141,00	100,0
Diâmetro médio:		53,83 microns

TESTE 21

TESTE:	21	HORA:	9:45
Temperatura ambiente (°C):	18	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	25/07/97

Condições operacionais:

.Inventário inicial no leito (g):	60000	.Massa coletada no filtro (g):	159,55
.Inventário final no leito (g):	59494	.Altura do topo da coluna (m):	2,5
.Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	81,58	.Altura do leito estático (mm):	240
.Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	78,85	.Altura do leito expandido (mm):	350
.Fluxo de arraste (kg/m2s):	0,28402	.Temperatura do ar (°C):	41

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:

Coluna de fluidização 01 (mmCA man):

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	50(*)	z =	0,90	197
	0,10	291		1,33	194
	0,20	240		1,66	192
	0,30	222		2,33	188
	0,40	220		2,66	-
	0,50	218		3,33	-
	0,60	205		3,66	-
	0,70	202		4,33	-
	0,80	200		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	128
Saída	98
Perna	110

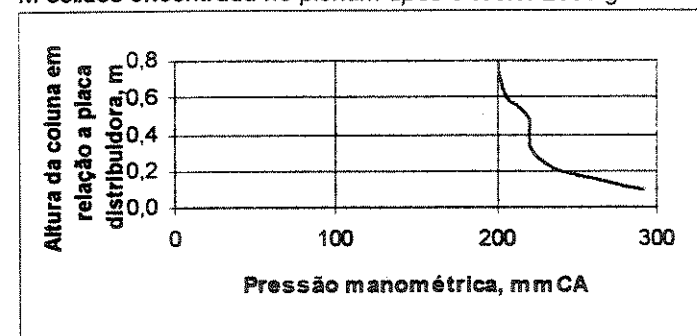
Medida de vazão do ar de fluidização:

.Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	58
.Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	153
.Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,45

Observações:

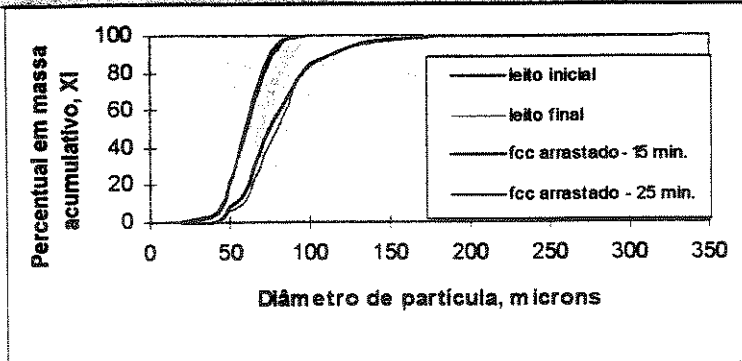
Altura da coluna de recirculação de sólidos: tubo + silo

M sólidos encontrada no plenum após o teste: 2538 g



Amostras: teste 21 - coletada pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.								Material:	FCC
M (g) - 15 min.:		71,333	M (g) - 25 min.:		67,765		t (min):		10
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi 15 min (g)	mi 25 min (g)	xi 15 min (%)	xi 25 min (%)	Xi 15 min (%)	Xi 25 min (%)	Xi médio (%)
1	< 38	19,0	0,657	0,892	0,92	1,32	0,92	1,32	1,13
2	38-45	41,5	3,106	3,725	4,35	5,50	5,28	6,81	6,04
3	45-53	49,0	10,443	9,625	14,64	14,20	19,92	21,02	20,47
4	53-65	59,0	21,859	18,715	30,64	27,62	50,56	48,63	49,60
5	65-75	70,0	22,668	20,634	31,78	30,45	82,34	79,08	80,71
6	75-88	81,5	10,695	12,230	14,99	18,05	97,33	97,13	97,23
7	88-105	96,5	1,905	1,944	2,67	2,87	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.:	61,08	
							25 min.:	60,76	
							médio:	60,92	
							Desvio (%):	0,53	

Amostras: teste 21 - leite denso inicial e final								Material:	FCC
M (g) - inicial:		63,448	M (g) - final:		66,129		t (min):		10
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi inicial (g)	mi final (g)	xi inicial (%)	xi final (%)	Xi inicial (%)	Xi final (%)	
1	< 38	19,0	0,058	0,083	0,09	0,13	0,09	0,13	
2	38-45	41,5	0,765	0,928	1,21	1,40	1,30	1,53	
3	45-53	49,0	4,411	3,524	6,95	5,33	8,25	6,86	
4	53-65	59,0	5,586	3,435	8,80	5,19	17,05	12,05	
5	65-75	70,0	17,328	15,821	27,31	23,92	44,36	35,98	
6	75-88	81,5	11,227	13,478	17,69	20,38	62,06	56,36	
7	88-105	96,5	12,656	17,361	19,95	26,25	82,01	82,61	
8	105-125	115,0	5,710	5,325	9,00	8,05	91,01	90,66	
9	125-149	137,0	3,930	4,439	6,19	6,71	97,20	97,38	
10	149-177	163,0	1,223	1,158	1,93	1,75	99,13	99,13	
11	177-210	193,5	0,319	0,315	0,50	0,48	99,63	99,60	
12	210-297	253,5	0,141	0,155	0,22	0,23	99,85	99,84	
13	297-355	326,0	0,094	0,107	0,15	0,16	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial:	86,60	
							Final:	90,82	
							Desvio (%):	-4,65	



Amostra: teste 21 - válv. amost.		Malvern
Material:	FCC	Difração à Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	6,65	0,1
2	7,15	0,1
3	7,69	0,2
4	14,80	1,0
5	15,90	1,4
6	17,10	2,0
7	18,40	2,6
8	19,80	3,2
9	21,30	3,7
10	22,90	4
11	24,60	4,1
12	26,40	4,1
13	28,40	4,1
14	30,60	4,1
15	32,90	4,4
16	35,40	5,4
17	38,00	7,9
18	40,90	12,2
19	44,00	18,0
20	47,30	24,9
21	50,80	32,7
22	54,70	41,1
23	58,80	49,8
24	63,20	58,5
25	68,00	67,0
26	73,10	75,0
27	78,60	82,4
28	84,50	88,9
29	90,90	93,9
30	97,80	97,0
31	105,00	98,7
32	113,00	99,4
33	122,00	99,7
34	131,00	99,8
35	141,00	99,9
36	151,00	100,0
Diâmetro médio:		58.89 microns

Malvern - difração a laser (via úmida)

Amostra: teste 21 - leito inicial

Amostra: teste 21 - leito final

Material:	FCC		Material:	FCC
n	d _i (microns)	X _i (%)	d _i (microns)	X _i (%)
1	5,80	0,2	5,80	0,0
2	6,24	0,3	6,24	0,0
3	18,50	0,6	18,50	0,2
4	19,90	0,6	19,90	0,2
5	21,40	0,6	21,40	0,2
6	23,10	0,7	23,10	0,3
7	24,80	0,9	24,80	0,5
8	26,70	1,2	26,70	0,7
9	28,70	1,5	28,70	1,0
10	30,80	2	30,80	1,5
11	33,20	2,5	33,20	2,0
12	35,70	3,2	35,70	2,6
13	38,40	3,9	38,40	3,4
14	41,20	4,7	41,20	4,3
15	44,40	5,8	44,40	5,6
16	47,70	7,6	47,70	7,6
17	51,30	10,3	51,30	10,5
18	55,20	14	55,20	14,5
19	59,30	18,8	59,30	19,5
20	63,80	24,5	63,80	25,4
21	68,60	31	68,60	32,1
22	73,80	38	73,80	39,4
23	79,30	45,4	79,30	47,0
24	85,30	52,9	85,30	54,8
25	91,70	60,2	91,70	62,4
26	98,60	67,2	98,60	69,7
27	106,00	73,7	106,00	76,2
28	114,00	79,3	114,00	81,8
29	123,00	84	123,00	86,4
30	132,00	87,9	132,00	89,9
31	142,00	91,1	142,00	92,7
32	153,00	93,5	153,00	94,8
33	164,00	95,5	164,00	96,4
34	176,00	96,9	176,00	97,5
35	190,00	97,9	190,00	98,4
36	204,00	98,7	204,00	99,0
37	219,00	99,1	219,00	99,4
38	236,00	99,4	236,00	99,6
39	392,00	100	392,00	100,0
Diâmetro médio:		82,96 microns	81,54 microns	

Amostra: teste 2f - filtro		Malvern
Material:	FCC	Difração à Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	1,22	10,4
2	1,31	10,7
3	1,41	11,1
4	1,51	11,5
5	1,63	12,2
6	1,75	13,2
7	1,88	14,6
8	2,03	16,6
9	2,18	19,1
10	2,34	22,1
11	2,52	25,5
12	2,71	29,2
13	2,91	33,1
14	3,13	37,1
15	3,37	41,1
16	3,62	45,1
17	3,89	49,2
18	4,19	53,2
19	4,50	57,2
20	4,84	61,2
21	5,21	65,0
22	5,60	68,8
23	6,02	72,4
24	6,48	75,9
25	6,97	79,3
26	7,49	82,5
27	8,05	85,6
28	8,66	88,6
29	9,31	91,3
30	10,00	93,7
31	10,80	95,7
32	11,60	97,2
33	12,50	98,3
34	13,40	99,1
35	14,40	99,6
36	15,50	99,8
37	16,70	99,9
38	17,90	100,0
Diâmetro médio:		3,95 microns

TESTE 22

TESTE:	22	HORA:	14:40
Temperatura ambiente (oC):	21	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	25/07/97
Condições operacionais:			
Inventário inicial no leito (g):	60000	Massa coletada no filtro (g):	60,13
Inventário final no leito (g):	59775	Altura do topo da coluna (m):	3,0
Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	0,46	Altura do leito estático (mm):	240
Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	0,49	Altura do leito expandido (mm):	350
Fluxo de arraste (kg/m ² s):	0,00180	Temperatura do ar (oC):	38

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:

Coluna de fluidização 01 (mmCA man):

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	19(*)	z =	0,90	50
	0,10	178		1,33	49
	0,20	107		1,66	49
	0,30	57		2,33	48
	0,40	55		2,66	47
	0,50	53		3,33	-
	0,60	53		3,66	-
	0,70	51		4,33	-
	0,80	50		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	40
Saída	32
Perna	32

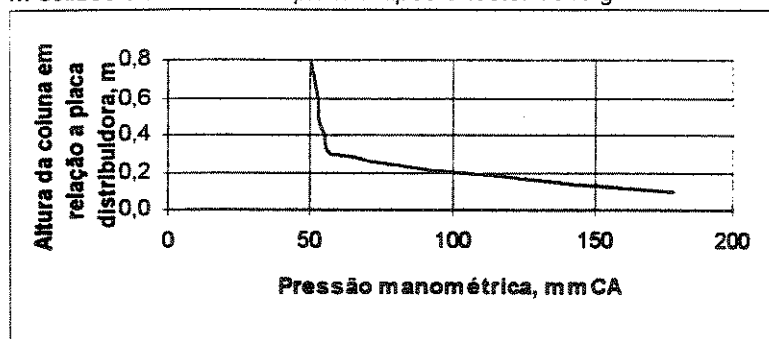
Medida de vazão do ar de fluidização:

Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	21
Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	28
Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,21

Observações:

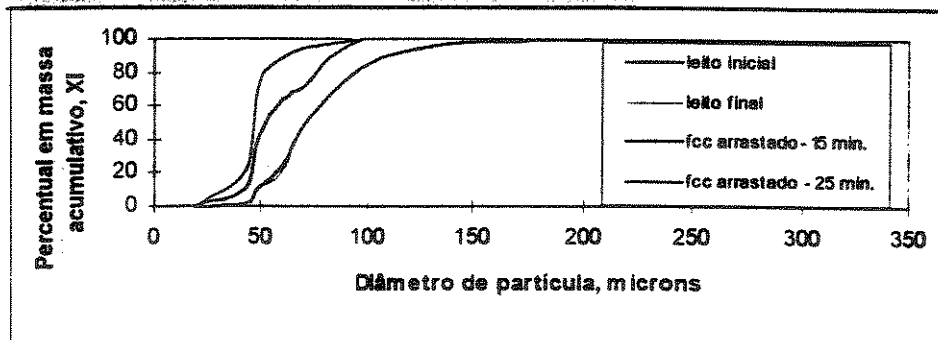
Altura da coluna de recirculação de sólidos: 0 mm

M sólidos encontrada no plenum após o teste: 1649 g



Amostras: teste 22 - coletada pela valvula de amost. aos 15 e 25 min.								Material:	FCC
M (g) - 15 min.:		49.208	M (g) - 25 min.:		50.432		t (min):		10
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi 15 min (g)	mi 25 min (g)	xi 15 min (%)	xi 25 min (%)	Xi 15 min (%)	Xi 25 min (%)	Xi médio (%)
1	< 38	19,0	0,544	0,895	1,11	1,77	1,11	1,77	1,46
2	38-45	41,5	5,004	9,843	10,17	19,52	11,27	21,29	16,28
3	45-53	49,0	15,934	27,220	32,38	53,97	43,66	75,27	59,46
4	53-65	59,0	9,790	7,121	19,90	14,12	63,55	89,39	76,47
5	65-75	70,0	4,581	2,769	9,31	5,49	72,86	94,88	83,87
6	75-88	81,5	7,830	1,150	15,91	2,28	88,77	97,16	92,96
7	88-105	96,5	5,525	1,434	11,23	2,84	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.:	57,28	
							25 min.:	49,01	
							médio:	53,14	
Desvio (%):							16,87		

Amostras: teste 22 - leito denso inicial e final								Material:	FCC
M (g) - inicial:		70,907	M (g) - final:		64,645		t (min):		10
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi inicial (g)	mi final (g)	xi inicial (%)	xi final (%)	Xi inicial (%)	Xi final (%)	
1	< 38	19,0	0,092	0,120	0,13	0,19	0,13	0,19	
2	38-45	41,5	1,509	1,278	2,13	1,98	2,26	2,16	
3	45-53	49,0	6,834	5,733	9,64	8,87	11,90	11,03	
4	53-65	59,0	8,964	6,492	12,64	10,04	24,54	21,07	
5	65-75	70,0	17,702	18,338	24,97	28,37	49,50	49,44	
6	75-88	81,5	11,596	10,824	16,35	16,74	65,86	66,18	
7	88-105	96,5	12,394	10,824	17,48	16,74	83,34	82,93	
8	105-125	115,0	6,936	6,015	9,78	9,30	93,12	92,23	
9	125-149	137,0	2,955	3,377	4,17	5,22	97,29	97,46	
10	149-177	163,0	1,257	1,057	1,77	1,64	99,06	99,09	
11	177-210	193,5	0,350	0,320	0,49	0,50	99,55	99,59	
12	210-297	253,5	0,148	0,128	0,21	0,20	99,76	99,78	
13	297-355	326,0	0,170	0,139	0,24	0,22	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial:	81,79	
							Final:	83,84	
Desvio (%):							-2,44		



Amostra: teste 22 - valv. amost.		Malvern
Material:	FCC	Difração à Laser
n	d _i (microns)	Xi (%)
1	2,34	0,1
2	2,52	0,1
3	4,19	1,0
4	4,50	1,4
5	4,84	1,8
6	5,21	2,3
7	5,60	2,9
8	6,02	3,5
9	6,48	4,0
10	6,97	4,3
11	7,49	4,6
12	8,05	4,7
13	8,66	4,8
14	9,31	5,0
15	10,00	5,6
16	10,80	6,9
17	11,60	8,7
18	12,50	10,9
19	13,40	12,8
20	14,40	14,3
21	15,50	15,3
22	16,70	15,8
23	17,90	16,1
24	19,30	16,3
25	20,70	16,8
26	22,30	17,7
27	24,00	19,6
28	25,80	22,5
29	27,70	26,5
30	29,80	31,6
31	32,00	37,7
32	34,40	44,7
33	37,00	52,6
34	39,80	61,0
35	42,80	69,5
36	46,10	77,8
37	49,50	85,6
38	53,30	92,4
39	57,30	97,0
40	61,60	98,9
41	88,60	100,0
Diâmetro médio:		36.19 microns

TESTE 23

TESTE:	23	HORA:	09:45
Temperatura ambiente (oC):	17	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	28/07/97

Condições operacionais:

.Inventário inicial no leito (g):	60000	Massa coletada no filtro (g):	66,84
.Inventário final no leito (g):	60000	Altura do topo da coluna (m):	3,0
.Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	1,89	Altura do leito estático (mm):	240
.Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	2,23	Altura do leito expandido (mm):	350
.Fluxo de arraste (kg/m2s):	0,00742	Temperatura do ar (oC):	38

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:

Coluna de fluidização 01 (mmCA man):

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	25(*)	z =	0,90	79
	0,10	194		1,33	78
	0,20	117		1,66	78
	0,30	87		2,33	77
	0,40	87		2,66	76
	0,50	87		3,33	-
	0,60	80		3,66	-
	0,70	79		4,33	-
	0,80	79		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	65
Salda	49
Perna	49

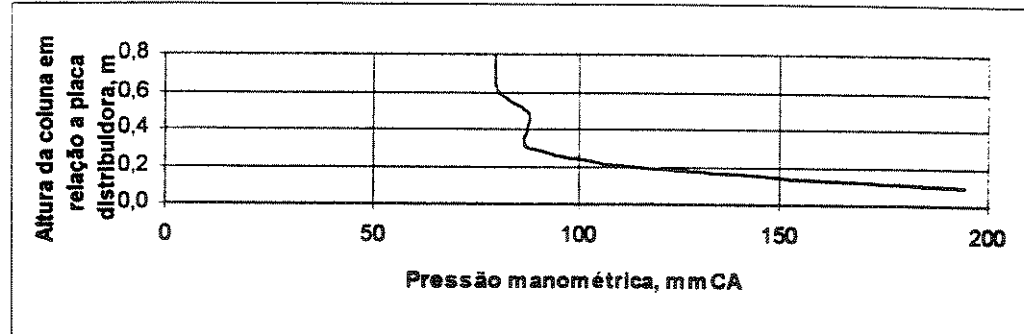
Medida de vazão do ar de fluidização:

.Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	29
.Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	56
.Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,27

Observações:

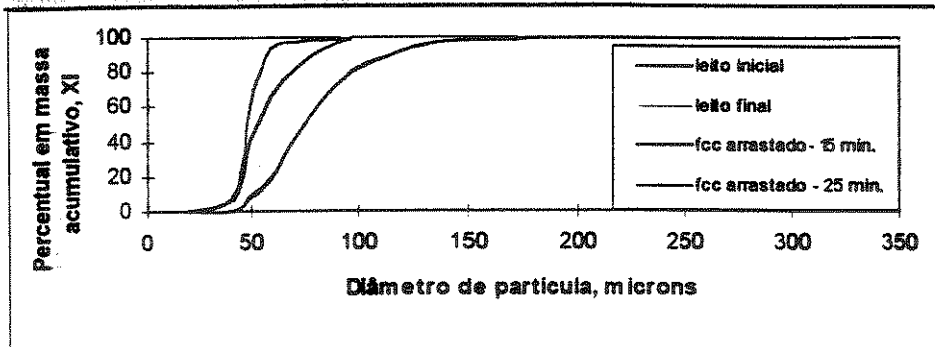
Altura da coluna de recirculação de sólidos: 700 mm

M sólidos encontrada no plenum após o teste: 2063 g



Amostras: teste 23 - coletada pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.								Material:	FCC
M (g) - 15 min.:		48,870	M (g) - 25 min.:		52,975		t (min):		10
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi 15 min (g)	mi 25 min (g)	xi 15 min (%)	xi 25 min (%)	Xi 15 min (%)	Xi 25 min (%)	Xi médio (%)
1	< 38	19,0	0,215	0,506	0,44	0,96	0,44	0,96	0,71
2	38-45	41,5	3,644	5,705	7,46	10,77	7,90	11,72	9,81
3	45-53	49,0	16,632	26,622	34,03	50,25	41,93	61,98	51,95
4	53-65	59,0	11,992	16,820	24,54	31,75	66,47	93,73	80,10
5	65-75	70,0	8,013	1,813	16,40	3,42	82,86	97,15	90,01
6	75-88	81,5	4,716	1,078	9,65	2,03	92,51	99,19	95,85
7	88-105	96,5	3,658	0,431	7,49	0,81	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.:	57,36	
							25 min.:	51,13	
							médio:	54,24	
Desvio (%):							12,18		

Amostras: teste 23 - leito denso inicial e final								Material:	FCC
M (g) - inicial:		68,123	M (g) - final:		68,045		t (min):		10
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi inicial (g)	mi final (g)	xi inicial (%)	xi final (%)	Xi inicial (%)	Xi final (%)	
1	< 38	19,0	0,100	0,028	0,15	0,04	0,15	0,04	
2	38-45	41,5	0,821	0,809	1,21	1,19	1,35	1,23	
3	45-53	49,0	5,147	4,516	7,56	6,64	8,91	7,87	
4	53-65	59,0	7,538	6,860	11,07	10,08	19,97	17,95	
5	65-75	70,0	15,866	17,329	23,29	25,47	43,26	43,42	
6	75-88	81,5	13,575	12,703	19,93	18,67	63,19	62,08	
7	88-105	96,5	11,665	13,051	17,12	19,18	80,31	81,26	
8	105-125	115,0	7,138	6,358	10,48	9,34	90,79	90,61	
9	125-149	137,0	4,453	4,667	6,54	6,86	97,33	97,47	
10	149-177	163,0	1,205	1,186	1,77	1,74	99,10	99,21	
11	177-210	193,5	0,350	0,299	0,51	0,44	99,61	99,65	
12	210-297	253,5	0,145	0,134	0,21	0,20	99,82	99,85	
13	297-355	326,0	0,120	0,105	0,18	0,15	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial:	87,10	
							Final:	88,59	
Desvio (%):							-1,69		



Amostra: teste 23 - válv. amost.		Malvern
Material:	FCC	Difração a Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	2,34	0,1
2	2,52	0,1
3	4,19	1,0
4	4,50	1,4
5	4,84	1,8
6	5,21	2,3
7	5,60	2,9
8	6,02	3,4
9	6,48	3,9
10	6,97	4,2
11	7,49	4,4
12	8,05	4,6
13	8,66	4,6
14	9,31	4,8
15	10,00	5,5
16	10,80	6,7
17	11,60	8,6
18	12,50	10,7
19	13,40	12,7
20	14,40	14,1
21	15,50	15,0
22	16,70	15,5
23	17,90	15,7
24	19,30	15,8
25	20,70	16,3
26	22,30	17,3
27	24,00	19,3
28	25,80	22,4
29	27,70	26,7
30	29,80	32,0
31	32,00	38,4
32	34,40	45,7
33	37,00	53,6
34	39,80	62,0
35	42,80	70,5
36	46,10	78,6
37	49,50	86,3
38	53,30	92,9
39	57,30	97,4
40	61,60	99,1
41	66,20	99,5
42	71,20	99,7
43	76,60	99,9
44	82,40	99,9
45	88,60	100,0
Diâmetro médio:		35,86 microns

TESTE 24

TESTE:	24	HORA:	14:55
Temperatura ambiente (°C):	22	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	28/07/97
Condições operacionais:			
.Inventário inicial no leito (g):	60000	Massa coletada no filtro (g):	101,38
.Inventário final no leito (g):	59440	Altura do topo da coluna (m):	3,0
.Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	21,10	Altura do leito estático (mm):	240
.Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	21,10	Altura do leito expandido (mm):	350
.Fluxo de arraste (kg/m ² s):	0,07483	Temperatura do ar (°C):	40

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:

Coluna de fluidização 01 (mmCA man):

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	36(*)	z =	0,90	125
	0,10	248		1,33	124
	0,20	178		1,66	123
	0,30	140		2,33	121
	0,40	132		2,66	120
	0,50	132		3,33	-
	0,60	131		3,66	-
	0,70	127		4,33	-
	0,80	126		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	99
Saída	78
Perna	82

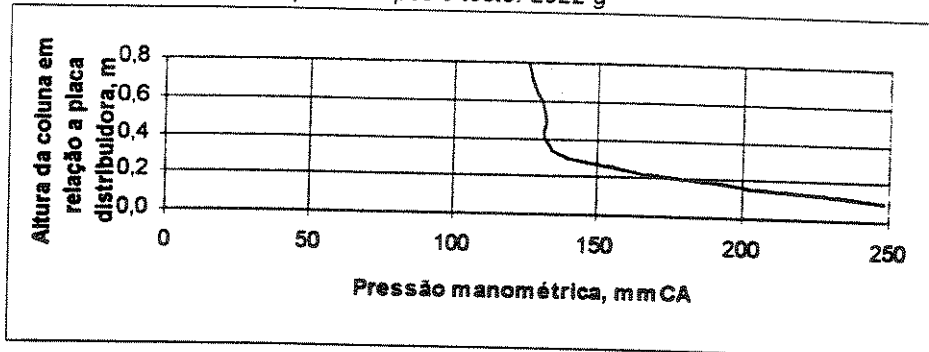
Medida de vazão do ar de fluidização:

.Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	42
.Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	92
.Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,35

Observações:

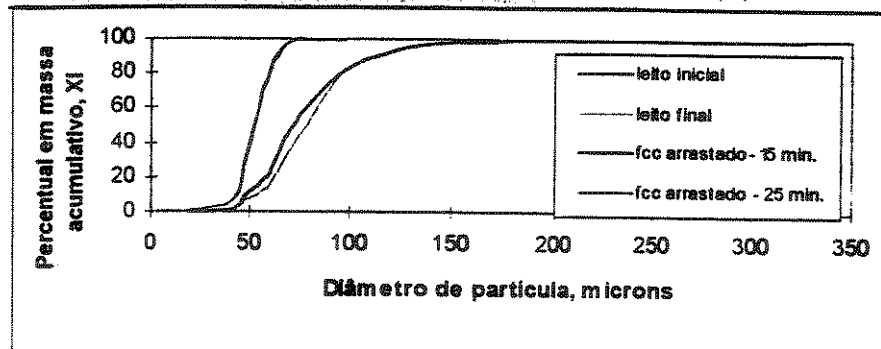
Altura da coluna de recirculação de sólidos: 0 mm

M sólidos encontrada no plenum após o teste: 2022 g



Amostras: teste 24 - coletada pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.								Material:	FCC
M (g) - 15 min.:		73.729	M (g) - 25 min.:		66.629		t (min):		10
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi 15 min (g)	mi 25 min (g)	xi 15 min (%)	xi 25 min (%)	Xi 15 min (%)	Xi 25 min (%)	Xi medio (%)
1	< 38	19,0	1,184	0,738	1,61	1,11	1,61	1,11	1,37
2	38-45	41,5	4,840	4,936	6,56	7,41	8,17	8,52	8,34
3	45-53	49,0	20,222	18,807	27,43	28,23	35,60	36,74	36,17
4	53-65	59,0	33,418	29,028	45,33	43,57	80,92	80,31	80,62
5	65-75	70,0	12,797	12,003	17,36	18,01	98,28	98,32	98,30
6	75-88	81,5	1,110	0,949	1,51	1,42	99,79	99,75	99,77
7	88-105	96,5	0,158	0,168	0,21	0,25	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.:	54,37	
							25 min.:	54,68	
							medio:	54,53	
							Desvio (%):	-0,58	

Amostras: teste 24 - leito denso inicial e final								Material:	FCC
M (g) - inicial:		66,388	M (g) - final:		73,117		t (min):		10
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi inicial (g)	mi final (g)	xi inicial (%)	xi final (%)	Xi inicial (%)	Xi final (%)	
1	< 38	19,0	0,104	0,144	0,16	0,20	0,16	0,20	
2	38-45	41,5	1,669	1,163	2,51	1,59	2,67	1,79	
3	45-53	49,0	5,848	4,606	8,81	6,30	11,48	8,09	
4	53-65	59,0	7,022	4,856	10,58	6,64	22,06	14,73	
5	65-75	70,0	17,241	15,751	25,97	21,54	48,03	36,27	
6	75-88	81,5	10,989	14,270	16,55	19,52	64,58	55,79	
7	88-105	96,5	12,103	19,347	18,23	26,46	82,81	82,25	
8	105-125	115,0	5,839	6,821	8,80	9,33	91,61	91,58	
9	125-149	137,0	3,786	4,514	5,70	6,17	97,31	97,75	
10	149-177	163,0	1,204	1,124	1,81	1,54	99,12	99,29	
11	177-210	193,5	0,324	0,293	0,49	0,40	99,61	99,69	
12	210-297	253,5	0,148	0,118	0,22	0,16	99,83	99,85	
13	297-355	326,0	0,111	0,110	0,17	0,15	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial:	82,92	
							Final:	89,99	
							Desvio (%):	-7,86	



Amostra: teste 24 - válv. amost.		Malvern
Material:	FCC	Difração à Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	4,00	0,0
2	4,30	0,0
3	7,69	0,8
4	8,27	1,0
5	8,89	1,1
6	12,80	1,2
7	13,70	1,3
8	14,80	1,5
9	15,90	2,1
10	17,10	3,3
11	18,40	4,9
12	19,80	6,6
13	21,30	8,1
14	22,90	8,8
15	24,60	9,1
16	26,40	9,1
17	28,40	9,1
18	30,60	9,1
19	32,90	9,6
20	35,40	11,4
21	38,00	16,1
22	40,90	24,1
23	44,00	34,3
24	47,30	45,6
25	50,80	56,8
26	54,70	66,9
27	58,80	75,4
28	63,20	82,2
29	68,00	87,5
30	73,10	91,7
31	78,60	94,9
32	84,50	97,4
33	90,90	98,9
34	97,80	99,6
35	105,00	99,8
36	113,00	99,9
37	122,00	99,9
38	131,00	100,0
Diâmetro médio:		48,62 microns

TESTE 25

TESTE:	25	HORA:	9:15
Temperatura ambiente (°C):	16	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	29/07/97

Condições operacionais:

Inventário inicial no leito (g):	60000	Massa coletada no filtro (g):	139,95
Inventário final no leito (g):	60000	Altura do topo da coluna (m):	3,0
Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	39,96	Altura do leito estático (mm):	240
Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	40,42	Altura do leito expandido (mm):	350
Fluxo de arraste (kg/m ² s):	0,14242	Temperatura do ar (°C):	40

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:

Coluna de fluidização 01 (mmCA man):

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	41(*)	z =	0,90	158
	0,10	278		1,33	155
	0,20	220		1,66	155
	0,30	170		2,33	152
	0,40	169		2,66	150
	0,50	167		3,33	-
	0,60	165		3,66	-
	0,70	159		4,33	-
	0,80	158		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	116
Saída	92
Perna	98

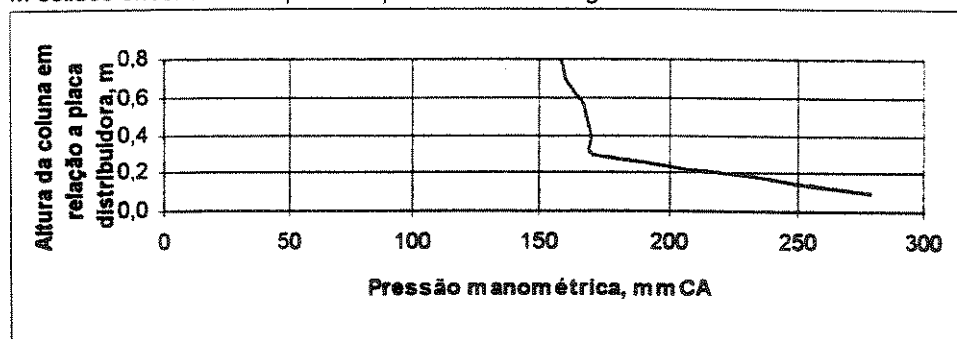
Medida de vazão do ar de fluidização:

Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	49
Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	116
Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,39

Observações:

Altura da coluna de recirculação de sólidos: todo o tubo

M sólidos encontrada no plenum após o teste: 1706 g

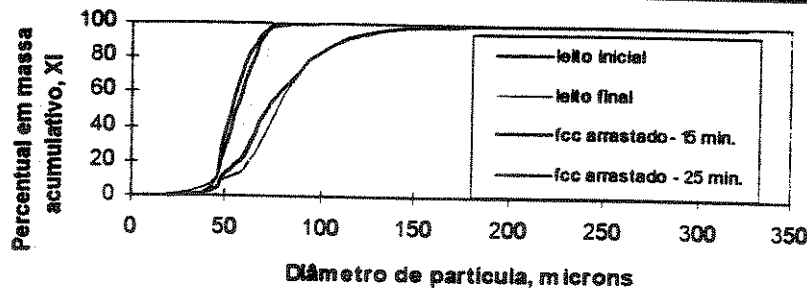


Amostras: teste 25 - coletada pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.

M (g) - 15 min.: 72,043		M (g) - 25 min.: 71,211		Material: FCC		t (min): 10			
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi 15 min (g)	mi 25 min (g)	xi 15 min (%)	xi 25 min (%)	Xi 15 min (%)	Xi 25 min (%)	Xi médio (%)
1	< 38	19,0	0,392	0,748	0,54	1,05	0,54	1,05	0,81
2	38-45	41,5	3,609	4,654	5,01	6,54	5,55	7,59	6,57
3	45-53	49,0	24,033	15,566	33,36	21,86	38,91	29,44	34,18
4	53-65	59,0	26,932	26,029	37,38	36,55	76,30	66,00	71,15
5	65-75	70,0	14,262	20,597	19,80	28,92	96,09	94,92	95,51
6	75-88	81,5	2,545	3,244	3,53	4,56	99,63	99,48	99,55
7	88-105	96,5	0,270	0,373	0,37	0,52	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.: 55,75		
							25 min.: 57,05		
							médio: 56,40		
Desvio (%):							-2,28		

Amostras: teste 25 - leito denso inicial e final

M (g) - inicial: 61,353		M (g) - final: 75,727		Material: FCC		t (min): 10			
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi inicial (g)	mi final (g)	xi inicial (%)	xi final (%)	Xi inicial (%)	Xi final (%)	
1	< 38	19,0	0,262	0,257	0,43	0,34	0,43	0,34	
2	38-45	41,5	2,167	2,052	3,53	2,71	3,96	3,05	
3	45-53	49,0	6,279	5,366	10,23	7,09	14,19	10,14	
4	53-65	59,0	6,509	4,908	10,61	6,48	24,80	16,62	
5	65-75	70,0	15,440	15,297	25,17	20,20	49,97	36,82	
6	75-88	81,5	9,390	18,908	15,30	24,97	65,27	61,79	
7	88-105	96,5	10,828	15,596	17,65	20,60	82,92	82,38	
8	105-125	115,0	5,842	7,011	9,52	9,26	92,44	91,64	
9	125-149	137,0	3,015	4,530	4,91	5,98	97,36	97,62	
10	149-177	163,0	1,116	1,195	1,82	1,58	99,18	99,20	
11	177-210	193,5	0,284	0,338	0,46	0,45	99,64	99,64	
12	210-297	253,5	0,130	0,151	0,21	0,20	99,85	99,84	
13	297-355	326,0	0,091	0,118	0,15	0,16	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial: 80,55		
							Final: 87,26		
Desvio (%):							-7,69		



Amostra: teste 25 - válv. amost.		Malvern
Material:	FCC	Difração à Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	4,00	0,0
2	4,30	0,0
3	7,69	0,8
4	8,27	0,9
5	8,89	1,0
6	9,56	1,1
7	10,30	1,1
8	11,10	1,2
9	11,90	1,2
10	12,80	1,2
11	13,70	1,2
12	14,80	1,2
13	15,90	1,6
14	17,10	2,7
15	18,40	4,3
16	19,80	6,1
17	21,30	7,5
18	22,90	8,2
19	24,60	8,4
20	26,40	8,4
21	28,40	8,4
22	30,60	8,5
23	32,90	8,6
24	35,40	9,7
25	38,00	13,6
26	40,90	21,0
27	44,00	30,7
28	47,30	41,6
29	50,80	52,5
30	54,70	62,6
31	58,80	71,4
32	63,20	78,7
33	68,00	84,6
34	73,10	89,5
35	78,60	93,5
36	84,50	96,6
37	90,90	98,6
38	97,80	99,5
39	105,00	99,7
40	113,00	99,8
41	122,00	99,9
42	131,00	100,0
Diâmetro médio:		49,99 microns

TESTE 26

TESTE:	26	HORA:	15:35
Temperatura ambiente (oC):	26	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	29/07/97
Condições operacionais:			
. Inventário inicial no leito (g):	60000	. Massa coletada no filtro (g):	210,44
. Inventário final no leito (g):	59692	. Altura do topo da coluna (m):	3,0
. Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	76,23	. Altura do leito estático (mm):	240
. Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	76,23	. Altura do leito expandido (mm):	350
. Fluxo de arraste (kg/m2s):	0,27002	. Temperatura do ar (oC):	40

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:

Coluna de fluidização 01 (mmCA man):

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	50(*)	z =	0,90	220
	0,10	336		1,33	215
	0,20	270		1,66	213
	0,30	243		2,33	208
	0,40	239		2,66	203
	0,50	234		3,33	-
	0,60	226		3,66	-
	0,70	223		4,33	-
	0,80	220		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	140
Saída	108
Perna	119

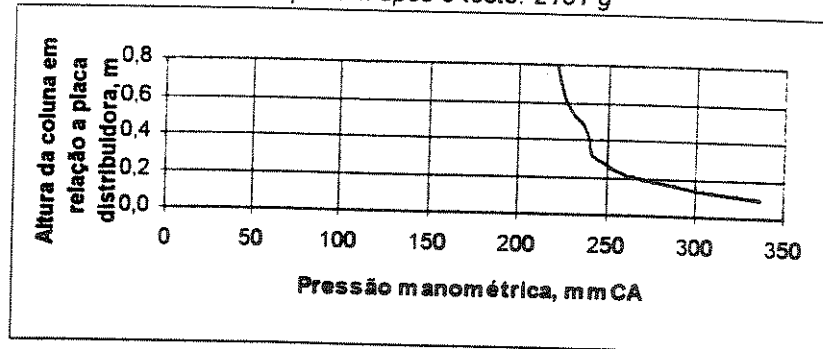
Medida de vazão do ar de fluidização:

. Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	60
. Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	152
. Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,45

Observações:

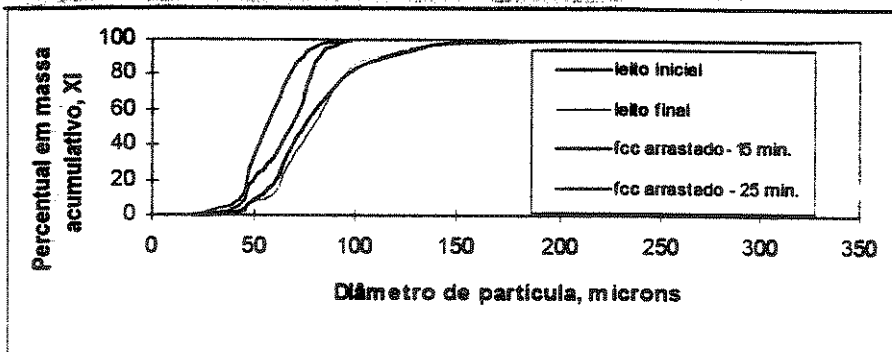
Altura da coluna de recirculação de sólidos: todo o tubo

M sólidos encontrada no plenum após o teste: 2131 g



Amostras: teste 26 - coletada pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.								Material:	FCC
M (g) - 15 min.:		72,531	M (g) - 25 min.:		70,147		t (min):		10
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi 15 min (g)	mi 25 min (g)	xi 15 min (%)	xi 25 min (%)	Xi 15 min (%)	Xi 25 min (%)	Xi médio (%)
1	< 38	19,0	0,876	0,488	1,21	0,70	1,21	0,70	0,96
2	38-45	41,5	5,789	3,797	7,98	5,41	9,19	6,11	7,65
3	45-53	49,0	17,282	10,024	23,83	14,29	33,02	20,40	26,71
4	53-65	59,0	20,231	8,819	27,89	12,57	60,91	32,97	46,94
5	65-75	70,0	19,005	16,050	26,20	22,88	87,11	55,85	71,48
6	75-88	81,5	7,572	24,844	10,44	35,42	97,55	91,27	94,41
7	88-105	96,5	1,776	6,125	2,45	8,73	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.:	57,38	
							25 min.:	65,63	
							médio:	61,51	
							Desvio (%):	-12,57	

Amostras: teste 26 - leito denso inicial e final								Material:	FCC
M (g) - inicial:		60,006	M (g) - final:		76,515		t (min):		10
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi inicial (g)	mi final (g)	xi inicial (%)	xi final (%)	Xi inicial (%)	Xi final (%)	
1	< 38	19,0	0,068	0,369	0,11	0,48	0,11	0,48	
2	38-45	41,5	0,968	1,848	1,61	2,42	1,73	2,90	
3	45-53	49,0	4,220	3,884	7,03	5,08	8,76	7,97	
4	53-65	59,0	5,502	3,685	9,17	4,82	17,93	12,79	
5	65-75	70,0	15,984	18,712	26,64	24,46	44,57	37,24	
6	75-88	81,5	11,473	14,639	19,12	19,13	63,69	56,38	
7	88-105	96,5	10,980	20,951	18,30	27,38	81,98	83,76	
8	105-125	115,0	5,532	6,405	9,22	8,37	91,20	92,13	
9	125-149	137,0	3,704	4,050	6,17	5,29	97,38	97,42	
10	149-177	163,0	1,078	1,251	1,80	1,63	99,17	99,06	
11	177-210	193,5	0,285	0,379	0,47	0,50	99,65	99,55	
12	210-297	253,5	0,122	0,197	0,20	0,26	99,85	99,81	
13	297-355	326,0	0,090	0,145	0,15	0,19	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial:	85,96	
							Final:	87,98	
							Desvio (%):	-2,29	



Amostra: teste 26 - válv. amost.		Malvern
Material:	FCC	Difração a Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	7,15	0,0
2	7,69	0,1
3	14,80	1,1
4	15,90	1,6
5	17,10	2,2
6	18,40	2,8
7	19,80	3,4
8	21,30	3,9
9	22,90	4,3
10	24,60	4,6
11	26,40	4,7
12	28,40	4,7
13	30,60	4,8
14	32,90	5,5
15	35,40	7,3
16	38,00	10,8
17	40,90	16,2
18	44,00	23,1
19	47,30	31,2
20	50,80	39,9
21	54,70	48,7
22	58,80	57,2
23	63,20	65,4
24	68,00	73
25	73,10	80
26	78,60	86,3
27	84,50	91,7
28	90,90	95,7
29	97,80	98
30	105,00	99,1
31	113,00	99,6
32	122,00	99,8
33	131,00	99,9
34	141,00	100
Diâmetro médio:		55,29 microns

Malvern - difração a laser (via úmida)

Amostra: teste 26 - leito inicial		
Material: FCC		
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	5,80	0,0
2	6,24	0,0
3	24,80	0,3
4	26,70	0,5
5	28,70	0,7
6	30,80	1,1
7	33,20	1,5
8	35,70	2,0
9	38,40	2,6
10	41,20	3,4
11	44,40	4,6
12	47,70	6,4
13	51,30	9,3
14	55,20	13,3
15	59,30	18,3
16	63,80	24,2
17	68,60	30,8
18	73,80	37,9
19	79,30	45,5
20	85,30	53,3
21	91,70	61,3
22	98,60	68,9
23	106,00	76,0
24	114,00	82,0
25	123,00	86,9
26	132,00	90,6
27	142,00	93,5
28	153,00	95,6
29	164,00	97,1
30	176,00	98,2
31	190,00	99,0
32	204,00	99,5
33	219,00	99,8
34	236,00	99,9
35	339,00	100,0
Diâmetro médio: 82.72 microns		

TESTE 27

TESTE:	27	HORA:	9:40
Temperatura ambiente (oC):	20	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	30/07/97

Condições operacionais:

Inventário inicial no leito (g):	60000	Massa coletada no filtro (g):	101,13
Inventário final no leito (g):	60000	Altura do topo da coluna (m):	4,0
Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	0,33	Altura do leito estático (mm):	240
Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	0,40	Altura do leito expandido (mm):	350
Fluxo de arraste (kg/m ² s):	0,00149	Temperatura do ar (oC):	39

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:

Coluna de fluidização 01 (mmCA man):

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	20(*)	z =	0,90	49
	0,10	181		1,33	49
	0,20	111		1,66	49
	0,30	57		2,33	48
	0,40	54		2,66	47
	0,50	54		3,33	46
	0,60	50		3,66	46
	0,70	50		4,33	-
	0,80	50		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	41
Saída	32
Perna	33

Medida de vazão do ar de fluidização:

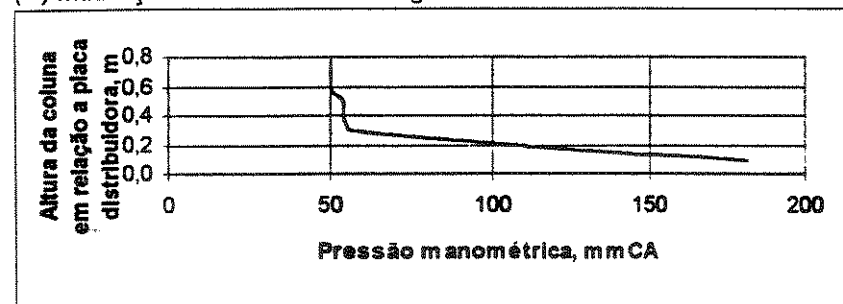
Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	118(**)
Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	28
Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,21

Observações:

Altura da coluna de recirculação de sólidos: 0 mm

M sólidos encontrada no plenum após o teste: 3912 g

(**) mudança do controle da descarga de ar - uso da válvula 3.

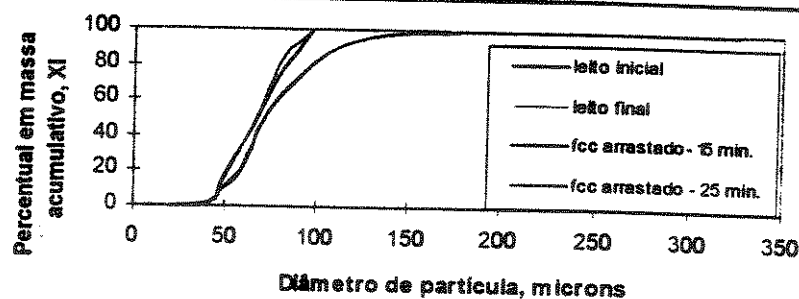


Amostras: teste 27 - coletada pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.

M (g) - 15 min.:		28.407	M (g) - 25 min.:		32.435	Material:		FCC	
						t (min):		10	
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi 15 min (g)	mi 25 min (g)	xi 15 min (%)	xi 25 min (%)	Xi 15 min (%)	Xi 25 min (%)	Xi médio (%)
1	< 38	19,0	0,121	0,038	0,43	0,12	0,43	0,12	0,28
2	38-45	41,5	0,987	0,830	3,47	2,56	3,90	2,68	3,29
3	45-53	49,0	3,981	4,446	14,01	13,71	17,91	16,38	17,15
4	53-65	59,0	4,856	6,024	17,09	18,57	35,01	34,96	34,98
5	65-75	70,0	6,333	7,775	22,29	23,97	57,30	58,93	58,11
6	75-88	81,5	6,068	8,470	21,36	26,11	78,66	85,04	81,85
7	88-105	96,5	6,061	4,852	21,34	14,96	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.:	67,41	
							25 min.:	67,56	
							médio:	67,48	
Desvio (%):							-0,22		

Amostras: teste 27 - leito denso inicial e final

M (g) - inicial:		64,058	M (g) - final:		71,721	Material:		FCC
						t (min):		10
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi inicial (g)	mi final (g)	xi inicial (%)	xi final (%)	Xi inicial (%)	Xi final (%)
1	< 38	19,0	0,064	0,077	0,10	0,11	0,10	0,11
2	38-45	41,5	1,089	1,229	1,70	1,71	1,80	1,82
3	45-53	49,0	5,809	6,259	9,07	8,73	10,87	10,55
4	53-65	59,0	7,391	7,483	11,54	10,43	22,41	20,98
5	65-75	70,0	16,647	19,260	25,99	26,85	48,39	47,84
6	75-88	81,5	10,342	11,851	16,14	16,52	64,54	64,36
7	88-105	96,5	10,288	11,480	16,06	16,01	80,60	80,37
8	105-125	115,0	7,281	8,397	11,37	11,71	91,97	92,07
9	125-149	137,0	3,452	3,968	5,39	5,53	97,35	97,61
10	149-177	163,0	1,156	1,155	1,80	1,61	99,16	99,22
11	177-210	193,5	0,309	0,297	0,48	0,41	99,64	99,63
12	210-297	253,5	0,133	0,139	0,21	0,19	99,85	99,82
13	297-355	326,0	0,097	0,126	0,15	0,18	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial:	84,92
							Final:	86,65
Desvio (%):							-1,99	



Amostra: teste 27 - válv. amost.		Malvern
Material:	FCC	Difração à Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	2,03	0,1
2	2,18	0,1
3	3,89	1
4	4,19	1,3
5	4,50	1,7
6	4,84	2,2
7	5,21	2,8
8	5,60	3,4
9	6,02	4,0
10	6,48	4,6
11	6,97	5,0
12	10,00	7,3
13	10,80	9,1
14	11,60	11,6
15	12,50	14,6
16	13,40	17,2
17	14,40	19,2
18	15,50	20,6
19	16,70	21,3
20	17,90	21,8
21	19,30	22,3
22	20,70	23,2
23	22,30	24,8
24	24,00	27,6
25	25,80	31,9
26	27,70	37,3
27	29,80	43,5
28	32,00	50,3
29	34,40	57,4
30	37,00	64,4
31	39,80	71,3
32	42,80	77,9
33	46,10	84,0
34	49,50	89,5
35	53,30	94,3
36	57,30	97,5
37	61,60	99,0
38	66,20	99,5
39	71,20	99,7
40	76,60	99,9
41	82,40	99,9
42	88,60	100,0
Diâmetro médio:		31.93 microns

TESTE 28

TESTE:	28	HORA:	14:30
Temperatura ambiente (oC):	21	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	30/07/97

Condições operacionais:

Inventário inicial no leito (g):	60000	Massa coletada no filtro (g):	77,50
Inventário final no leito (g):	59964	Altura do topo da coluna (m):	4,0
Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	1,73	Altura do leito estático (mm):	240
Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	2,18	Altura do leito expandido (mm):	350
Fluxo de arraste (kg/m ² s):	0,00707	Temperatura do ar (oC):	42

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:

Coluna de fluidização 01 (mmCA man):

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	23(*)	z =	0,90	85
	0,10	224		1,33	84
	0,20	146		1,66	83
	0,30	99		2,33	82
	0,40	92		2,66	82
	0,50	92		3,33	81
	0,60	88		3,66	80
	0,70	85		4,33	-
	0,80	85		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	71
Salida	54
Perna	54

Medida de vazão do ar de fluidização:

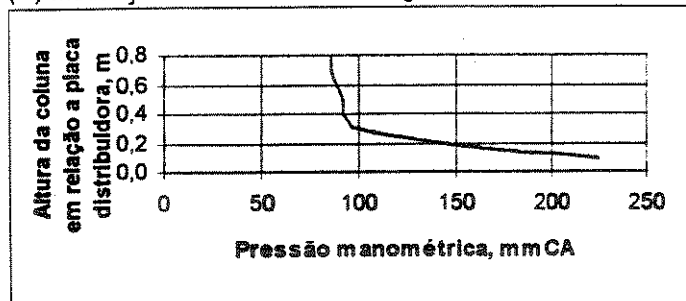
Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	129(**)
Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	56
Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,27

Observações:

Altura da coluna de recirculação de sólidos: 0 mm

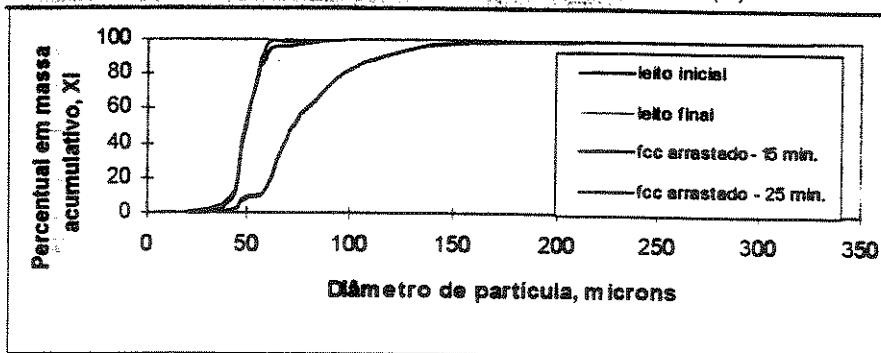
M sólidos encontrada no plenum após o teste: 1153 g

(**) mudança do controle da descarga de ar - uso da válvula 3.



Amostras: teste 28 - coletada pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.								Material:	FCC
M (g) - 15 min.:		59,756	M (g) - 25 min.:		59,699		t (min):		10
n	Abert. peneiras (microns)	d _i (microns)	m _i 15 min (g)	m _i 25 min (g)	x _i 15 min (%)	x _i 25 min (%)	X _i 15 min (%)	X _i 25 min (%)	X _i médio (%)
1	< 38	19,0	0,731	0,311	1,22	0,52	1,22	0,52	0,88
2	38-45	41,5	5,250	4,256	8,79	7,13	10,01	7,65	8,83
3	45-53	49,0	24,969	24,625	41,78	41,25	51,79	48,90	50,35
4	53-65	59,0	23,834	28,908	39,89	48,42	91,68	97,32	94,50
5	65-75	70,0	2,613	0,878	4,37	1,47	96,05	98,79	97,42
6	75-88	81,5	1,917	0,603	3,21	1,01	99,26	99,80	99,53
7	88-105	96,5	0,442	0,118	0,74	0,20	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.:	52,24	
							25 min.:	52,71	
							médio:	52,47	
							Desvio (%):	-0,90	

Amostras: teste 28 - leito denso inicial e final								Material:	FCC
M (g) - inicial:		63,271	M (g) - final:		79,034		t (min):		10
n	Abert. peneiras (microns)	d _i (microns)	m _i inicial (g)	m _i final (g)	x _i inicial (%)	x _i final (%)	X _i inicial (%)	X _i final (%)	
1	< 38	19,0	0,140	0,133	0,22	0,17	0,22	0,17	
2	38-45	41,5	1,376	1,316	2,17	1,67	2,40	1,83	
3	45-53	49,0	4,282	4,681	6,77	5,92	9,16	7,76	
4	53-65	59,0	3,728	5,244	5,89	6,64	15,06	14,39	
5	65-75	70,0	20,950	27,074	33,11	34,26	48,17	48,65	
6	75-88	81,5	9,903	13,111	15,65	16,59	63,82	65,24	
7	88-105	96,5	11,348	13,161	17,94	16,65	81,75	81,89	
8	105-125	115,0	6,026	6,847	9,52	8,66	91,28	90,55	
9	125-149	137,0	3,863	4,598	6,11	5,82	97,38	96,37	
10	149-177	163,0	1,115	1,805	1,76	2,28	99,15	98,65	
11	177-210	193,5	0,308	0,595	0,49	0,75	99,63	99,41	
12	210-297	253,5	0,136	0,270	0,21	0,34	99,85	99,75	
13	297-355	326,0	0,096	0,199	0,15	0,25	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial:	85,64	
							Final:	87,12	
							Desvio (%):	-1,70	



Amostra: teste 28 - válv. amost.		Malvern
Material:	FCC	Difração à Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	1,93	0,1
2	2,08	0,1
3	5,35	1,2
4	5,75	1,9
5	6,18	2,6
6	6,65	3,2
7	7,15	3,6
8	7,69	3,8
9	8,27	4,0
10	8,89	4,0
11	9,56	4,0
12	10,30	4,0
13	11,10	4,1
14	11,90	4,6
15	12,80	5,7
16	13,70	7,5
17	14,80	9,8
18	15,90	12,0
19	17,10	13,4
20	18,40	13,8
21	19,80	13,8
22	21,30	13,8
23	22,90	13,8
24	24,60	14,0
25	26,40	14,4
26	28,40	16,5
27	30,60	21,3
28	32,90	28,1
29	35,40	36,7
30	38,00	46,5
31	40,90	57,1
32	44,00	67,9
33	47,30	78,1
34	50,80	87,0
35	54,70	93,8
36	58,80	97,9
37	63,20	99,3
38	68,00	99,5
39	73,10	99,6
40	78,60	99,7
41	84,50	99,8
42	175,00	100,0
Diâmetro médio:		38,95 microns

TESTE 29

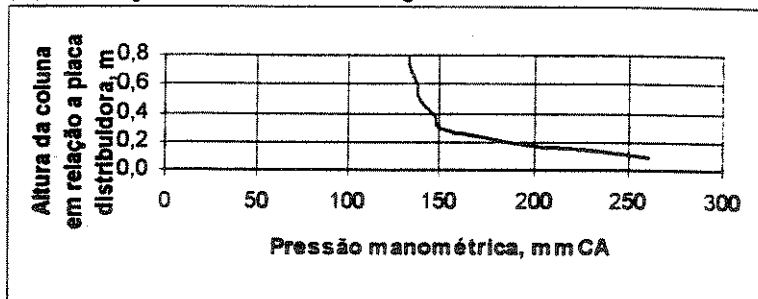
TESTE:	29	HORA:	9:40		
Temperatura ambiente (oC):	18	Pressão ambiente (bar):	1,0		
Duração (min):	30	Data:	31/07/97		
Condições operacionais:					
.Inventário inicial no leito (g):	60000	Massa coletada no filtro (g):	125,97		
.Inventário final no leito (g):	59817	.Altura do topo da coluna (m):	4,0		
.Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	20,67	.Altura do leito estático (mm):	240		
.Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	21,11	.Altura do leito expandido (mm):	350		
.Fluxo de arraste (kg/m2s):	0,07413	.Temperatura do ar (oC):	42		
Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:					
Coluna de fluidização 01 (mmCA man):					
Altura em relação ao distribuidor de ar, m:					
z =	-0,10	37(**)	z =	0,90	132
	0,10	260		1,33	130
	0,20	188		1,66	129
	0,30	151		2,33	127
	0,40	146		2,66	125
	0,50	138		3,33	124
	0,60	137		3,66	122
	0,70	134		4,33	-
	0,80	133		4,66	-
(*) mmHg					
Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):					
Entrada	103				
Salida	78				
Perna	83				
Medida de vazão do ar de fluidização:					
.Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):				125(**)	
.Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):				92	
.Velocidade superficial de fluidização (m/s):				0,35	

Observações:

Altura da coluna de recirculação de sólidos: 700 mm

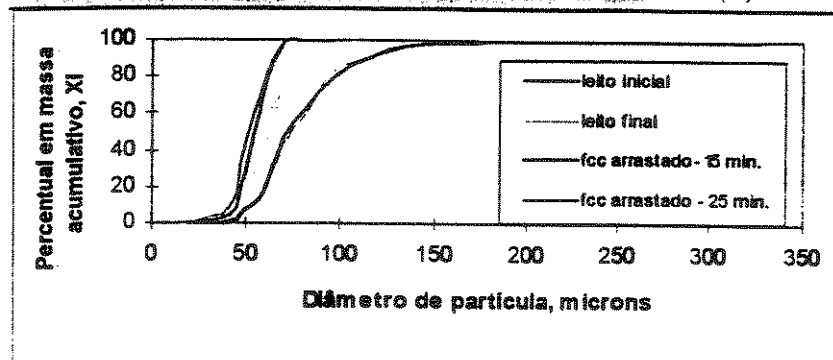
M sólidos encontrada no plenum após o teste: 1849 g

(**) mudança do controle da descarga de ar - uso da válvula 3.



Amostras: teste 29 - coletada pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.								Material:	FCC
M (g) - 15 min.:		63,317	M (g) - 25 min.:		65,612		t (min):		10
n	Abert. peneiras (microns)	d _i (microns)	m _i 15 min (g)	m _i 25 min (g)	x _i 15 min (%)	x _i 25 min (%)	X _i 15 min (%)	X _i 25 min (%)	X _i médio (%)
1	< 38	19,0	0,229	0,763	0,36	1,16	0,36	1,16	0,77
2	38-45	41,5	2,996	5,684	4,73	8,66	5,09	9,83	7,46
3	45-53	49,0	13,925	21,674	21,99	33,03	27,09	42,86	34,97
4	53-65	59,0	28,543	22,651	45,08	34,52	72,17	77,38	74,77
5	65-75	70,0	16,725	14,018	26,41	21,36	98,58	98,75	98,66
6	75-88	81,5	0,696	0,646	1,10	0,98	99,68	99,73	99,71
7	88-105	96,5	0,203	0,176	0,32	0,27	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.:	57,47	
							25 min.:	54,07	
							médio:	55,77	
Desvio (%):							6,28		

Amostras: teste 29 - leito denso inicial e final								Material:	FCC
M (g) - inicial:		67,391	M (g) - final:		74,561		t (min):		10
n	Abert. peneiras (microns)	d _i (microns)	m _i inicial (g)	m _i final (g)	x _i inicial (%)	x _i final (%)	X _i inicial (%)	X _i final (%)	
1	< 38	19,0	0,062	0,211	0,09	0,28	0,09	0,28	
2	38-45	41,5	0,815	1,347	1,21	1,81	1,30	2,09	
3	45-53	49,0	4,384	4,727	6,51	6,34	7,81	8,43	
4	53-65	59,0	6,775	5,992	10,05	8,04	17,86	16,47	
5	65-75	70,0	19,811	20,829	29,40	27,94	47,26	44,40	
6	75-88	81,5	10,855	11,771	16,11	15,79	63,36	60,19	
7	88-105	96,5	11,030	17,725	16,37	23,77	79,73	83,96	
8	105-125	115,0	7,451	5,781	11,06	7,75	90,79	91,71	
9	125-149	137,0	4,363	4,320	6,47	5,79	97,26	97,51	
10	149-177	163,0	1,273	1,230	1,89	1,65	99,15	99,16	
11	177-210	193,5	0,324	0,344	0,48	0,46	99,63	99,62	
12	210-297	253,5	0,144	0,166	0,21	0,22	99,85	99,84	
13	297-355	326,0	0,104	0,118	0,15	0,16	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial:	87,73	
							Final:	85,97	
Desvio (%):							2,04		



Amostra: teste 29 - valv. amost.		Malvern
Material:	FCC	Difração à Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	4,00	0,0
2	4,30	0,0
3	7,15	1,2
4	7,69	1,6
5	8,27	1,8
6	8,89	1,9
7	9,56	1,9
8	10,30	1,9
9	11,10	1,9
10	11,90	1,9
11	12,80	2,0
12	13,70	2,2
13	14,80	2,6
14	15,90	3,5
15	17,10	4,9
16	18,40	6,8
17	19,80	8,8
18	21,30	10,5
19	22,90	11,6
20	24,60	12,1
21	26,40	12,1
22	28,40	12,1
23	30,60	12,2
24	32,90	13,2
25	35,40	16,6
26	38,00	23,3
27	40,90	33,1
28	44,00	45,1
29	47,30	58,0
30	50,80	70,3
31	54,70	80,9
32	58,80	89,2
33	63,20	95,1
34	68,00	98,3
35	73,10	99,3
36	78,60	99,4
37	151,00	99,6
38	163,00	99,9
39	175,00	100,0
Diâmetro médio:		45,21 microns

TESTE 30

TESTE:	30	HORA:	14:25
Temperatura ambiente (oC):	23	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	31/07/97

Condições operacionais:

Inventário inicial no leito (g):	60000	Massa coletada no filtro (g):	265,17
Inventário final no leito (g):	60000	Altura do topo da coluna (m):	4,0
Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	42,06	Altura do leito estático (mm):	240
Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	39,87	Altura do leito expandido (mm):	350
Fluxo de arraste (kg/m2s):	0,14541	Temperatura do ar (oC):	42

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:

Coluna de fluidização 01 (mmCA man):

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	44(*)	z =	0,90	168
	0,10	302		1,33	166
	0,20	234		1,66	161
	0,30	193		2,33	160
	0,40	184		2,66	160
	0,50	180		3,33	160
	0,60	177		3,66	160
	0,70	171		4,33	-
	0,80	169		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	114
Saída	86
Perna	93

Medida de vazão do ar de fluidização:

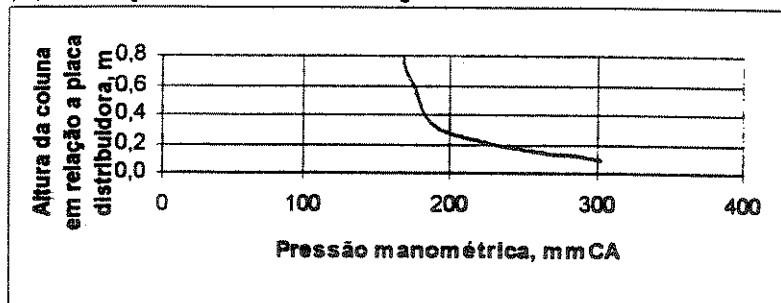
Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	118(**)
Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	116
Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,39

Observações:

Altura da coluna de recirculação de sólidos: 700 mm

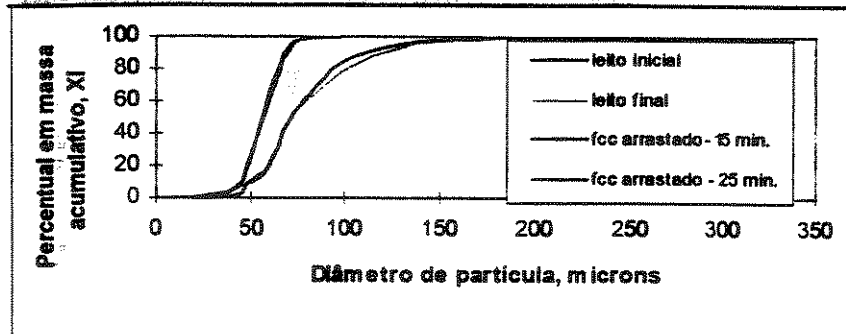
M sólidos encontrada no plenum após o teste: 1849 g

(**) mudança do controle da descarga de ar - uso da válvula 3.



Amostras: teste 30 - coletada pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.								Material:	FCC
M (g) - 15 min.:		74,213	M (g) - 25 min.:		74,160		t (min):		10
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi 15 min (g)	mi 25 min (g)	xi 15 min (%)	xi 25 min (%)	Xi 15 min (%)	Xi 25 min (%)	Xi médio (%)
1	< 38	19,0	0,479	1,043	0,65	1,41	0,65	1,41	1,04
2	38-45	41,5	4,427	4,469	5,97	6,03	6,61	7,43	7,02
3	45-53	49,0	12,992	14,112	17,51	19,03	24,12	26,46	25,29
4	53-65	59,0	30,009	23,671	40,44	31,92	64,55	58,38	61,47
5	65-75	70,0	23,015	25,757	31,01	34,73	95,57	93,11	94,34
6	75-88	81,5	2,995	4,786	4,04	6,45	99,60	99,57	99,58
7	88-105	96,5	0,296	0,322	0,40	0,43	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.:	58,24	
							25 min.:	57,86	
							médio:	58,05	
							Desvio (%):	0,66	

Amostras: teste 30 - leito denso inicial e final								Material:	FCC
M (g) - inicial:		56,576	M (g) - final:		64,456		t (min):		10
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi inicial (g)	mi final (g)	xi inicial (%)	xi final (%)	Xi inicial (%)	Xi final (%)	
1	< 38	19,0	0,140	0,103	0,25	0,16	0,25	0,16	
2	38-45	41,5	1,145	1,665	2,02	2,58	2,27	2,74	
3	45-53	49,0	5,289	4,498	9,35	6,98	11,62	9,72	
4	53-65	59,0	4,922	5,828	8,70	9,04	20,32	18,76	
5	65-75	70,0	16,015	19,118	28,31	29,66	48,63	48,42	
6	75-88	81,5	9,534	9,397	16,85	14,58	65,48	63,00	
7	88-105	96,5	10,424	9,396	18,42	14,58	83,90	77,58	
8	105-125	115,0	4,700	7,323	8,31	11,36	92,21	88,94	
9	125-149	137,0	2,952	4,924	5,22	7,64	97,43	96,58	
10	149-177	163,0	0,988	1,405	1,75	2,18	99,17	98,76	
11	177-210	193,5	0,267	0,434	0,47	0,67	99,65	99,43	
12	210-297	253,5	0,115	0,211	0,20	0,33	99,85	99,76	
13	297-355	326,0	0,085	0,154	0,15	0,24	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial:	82,19	
							Final:	89,29	
							Desvio (%):	-7,94	



Amostra: teste 30 - válv. amost.		Malvern
Material:	FCC	Difração à Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	4,00	0,0
2	4,30	0,0
3	9,56	0,8
4	13,70	1,0
5	14,80	1,3
6	15,90	2,0
7	17,10	3,0
8	18,40	4,5
9	19,80	6,1
10	21,30	7,3
11	22,90	8,1
12	24,60	8,3
13	26,40	8,3
14	28,40	8,3
15	30,60	8,4
16	32,90	9,0
17	35,40	11,4
18	38,00	16,4
19	40,90	24,6
20	44,00	34,8
21	47,30	46,1
22	50,80	57,3
23	54,70	67,4
24	58,80	75,9
25	63,20	82,6
26	68,00	87,9
27	73,10	92,0
28	78,60	95,2
29	84,50	97,6
30	90,90	99,1
31	97,80	99,7
32	105,00	99,8
33	113,00	99,9
34	122,00	100,0
Diâmetro médio:		48,45 microns

TESTE 31

TESTE:	31	HORA:	14:50
Temperatura ambiente (oC):	22	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	01/08/97
Condições operacionais:			
Inventário inicial no leito (g):	60000	Massa coletada no filtro (g):	321,87
Inventário final no leito (g):	60000	Altura do topo da coluna (m):	4,0
Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	82,73	Altura do leito estático (mm):	240
Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	70,64	Altura do leito expandido (mm):	350
Fluxo de arraste (kg/m2s):	0,27185	Temperatura do ar (oC):	49

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:

Coluna de fluidização 01 (mmCA man):

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	53(*)	z =	0,90	210
	0,10	328		1,33	206
	0,20	265		1,66	203
	0,30	245		2,33	197
	0,40	239		2,66	195
	0,50	231		3,33	193
	0,60	230		3,66	191
	0,70	212		4,33	-
	0,80	210		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	138
Saída	106
Perna	118

Medida de vazão do ar de fluidização:

Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	102(**)
Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	152
Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,45

Observações:

Altura da coluna de recirculação de sólidos: 700 mm

M sólidos encontrada no plenum após o teste: 1640 g

(**) mudança do controle da descarga de ar - uso da válvula 3.



Amostras: teste 31 - coletada pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.

Material: FCC

M (g) - 15 min.: 70,367 M (g) - 25 min.: 71,433

t (min): 10

n	Abert. peneiras (microns)	d _i (microns)	m _i 15 min (g)	m _i 25 min (g)	x _i 15 min (%)	x _i 25 min (%)	X _i 15 min (%)	X _i 25 min (%)	X _i médio (%)
1	< 38	19,0	0,975	1,254	1,39	1,76	1,39	1,76	1,59
2	38-45	41,5	5,011	5,939	7,12	8,31	8,51	10,07	9,29
3	45-53	49,0	9,120	8,408	12,96	11,77	21,47	21,84	21,65
4	53-65	59,0	10,955	15,006	15,57	21,01	37,04	42,85	39,94
5	65-75	70,0	24,434	14,415	34,72	20,18	71,76	63,03	67,39
6	75-88	81,5	14,726	20,727	20,93	29,02	92,69	92,04	92,36
7	88-105	96,5	5,146	5,684	7,31	7,96	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.: 62,44		
							25 min.: 61,89		
							médio: 62,17		
							Desvio (%): 0,89		

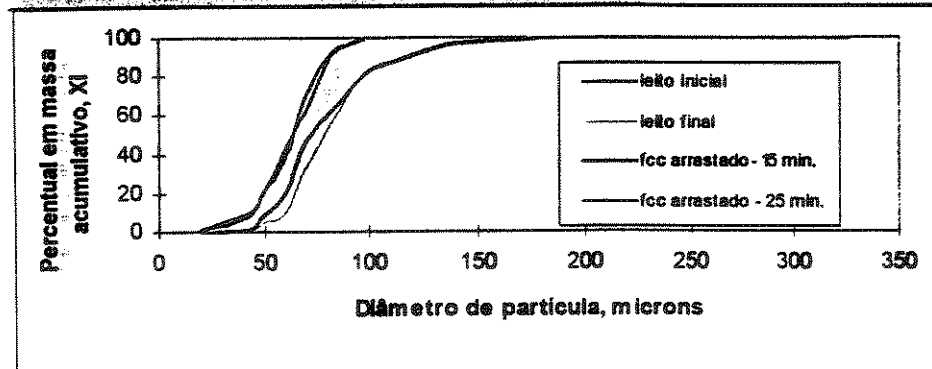
Amostras: teste 31 - leito denso inicial e final

Material: FCC

M (g) - inicial: 67,080 M (g) - final: 70,656

t (min): 10

n	Abert. peneiras (microns)	d _i (microns)	m _i inicial (g)	m _i final (g)	x _i inicial (%)	x _i final (%)	X _i inicial (%)	X _i final (%)
1	< 38	19,0	0,113	0,091	0,17	0,13	0,17	0,13
2	38-45	41,5	1,321	0,945	1,97	1,34	2,14	1,47
3	45-53	49,0	4,925	2,448	7,34	3,46	9,48	4,93
4	53-65	59,0	7,095	2,975	10,58	4,21	20,06	9,14
5	65-75	70,0	18,498	17,514	27,58	24,79	47,63	33,93
6	75-88	81,5	10,180	15,422	15,18	21,83	62,81	55,76
7	88-105	96,5	12,647	18,881	18,85	26,72	81,66	82,48
8	105-125	115,0	5,618	5,476	8,38	7,75	90,04	90,23
9	125-149	137,0	4,727	5,065	7,05	7,17	97,08	97,40
10	149-177	163,0	1,335	1,226	1,99	1,74	99,07	99,13
11	177-210	193,5	0,354	0,329	0,53	0,47	99,60	99,60
12	210-297	253,5	0,154	0,162	0,23	0,23	99,83	99,83
13	297-355	326,0	0,113	0,122	0,17	0,17	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial: 84,93	
							Final: 92,60	
							Desvio (%): -8,28	



Amostra: teste 31 - válv. amost.		Malvern
Material:	FCC	Difração a Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	7,15	0
2	7,69	0,1
3	14,80	0,4
4	15,90	0,8
5	17,10	1,4
6	18,40	2,3
7	19,80	3,3
8	21,30	4
9	22,90	4,4
10	24,60	4,5
11	26,40	4,5
12	28,40	4,5
13	30,60	4,5
14	32,90	4,8
15	35,40	5,8
16	38,00	8,5
17	40,90	13,5
18	44,00	20,1
19	47,30	28
20	50,80	36,5
21	54,70	45,4
22	58,80	54,3
23	63,20	63
24	68,00	71,1
25	73,10	78,7
26	78,60	85,6
27	84,50	91,6
28	90,90	95,9
29	97,80	98,2
30	105,00	99,2
31	113,00	99,6
32	122,00	99,8
33	131,00	99,9
34	141,00	100
35	151,00	100,0
Diâmetro médio:		56,75 microns

Maivern - difração a laser (via úmida)

Amostra: teste 31 - leito inicial			Amostra: teste 31 - leito final		
Material:	FCC		Material:	FCC	
n	d _i (microns)	X _i (%)	d _i (microns)	X _i (%)	
1	5,80	0,2	5,80	0,0	
2	6,24	0,2	6,24	0,0	
3	24,80	1	24,80	0,3	
4	26,70	1,3	26,70	0,5	
5	28,70	1,6	28,70	0,8	
6	30,80	2	30,80	1,1	
7	33,20	2,5	33,20	1,5	
8	35,70	3,1	35,70	2,1	
9	38,40	3,8	38,40	2,7	
10	41,20	4,6	41,20	3,6	
11	44,40	5,9	44,40	4,9	
12	47,70	7,8	47,70	7,0	
13	51,30	10,6	51,30	10,1	
14	55,20	14,4	55,20	14,3	
15	59,30	19,1	59,30	19,7	
16	63,80	24,6	63,80	25,9	
17	68,60	30,6	68,60	32,7	
18	73,80	37,1	73,80	40,1	
19	79,30	44,1	79,30	48,0	
20	85,30	51,4	85,30	56,1	
21	91,70	58,8	91,70	64,3	
22	98,60	66,1	98,60	72,1	
23	106,00	72,9	106,00	79,3	
24	114,00	78,8	114,00	85,4	
25	123,00	83,7	123,00	90,1	
26	132,00	87,7	132,00	93,6	
27	142,00	90,8	142,00	96,2	
28	153,00	93,2	153,00	98,0	
29	164,00	95,1	164,00	99,1	
30	176,00	96,6	176,00	99,7	
31	190,00	97,6	190,00	99,9	
32	204,00	98,4	204,00	100,0	
33	219,00	98,9	219,00	100,0	
34	236,00	99,3	236,00	100,0	
35	254,00	99,5	254,00	100,0	
36	273,00	99,6	273,00	100,0	
37	293,00	99,8	293,00	100,0	
38	315,00	99,9	315,00	100,0	
39	339,00	100	339,00	100,0	
Diâmetro médio:		84.16 microns			80.78 microns

Amostra: teste 31 - filtro		Malvern
Material:	FCC	Difração à Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	1,22	2,3
2	1,31	2,6
3	1,41	2,8
4	1,51	3,2
5	1,63	3,6
6	1,75	4,1
7	1,88	4,7
8	2,03	5,5
9	2,18	6,4
10	2,34	7,6
11	2,52	8,9
12	2,71	10,3
13	2,91	11,9
14	3,13	13,5
15	3,37	15,1
16	3,62	16,8
17	3,89	18,5
18	4,19	20,2
19	6,97	34,6
20	7,49	37
21	8,05	39,4
22	8,66	41,8
23	9,31	44,4
24	10,00	47
25	10,80	49,9
26	11,60	52,9
27	12,50	56,1
28	13,40	59,1
29	14,40	62,1
30	15,50	64,9
31	16,70	67,5
32	17,90	70,1
33	19,30	72,4
34	37,00	89,1
35	39,80	90,9
36	42,80	92,6
37	53,30	97,2
38	57,30	98,3
39	61,60	99,1
40	82,40	99,9
41	88,60	100
Diâmetro médio:		10.79 microns

TESTE 32

TESTE:	32	HORA:	11:30
Temperatura ambiente (oC):	22	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	04/08/97

Condições operacionais:

Inventário inicial no leito (g):	60000	Massa coletada no filtro (g):	87,24
Inventário final no leito (g):	60000	Altura do topo da coluna (m):	4,0
Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	0,35	Altura do leito estático (mm):	240
Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	0,35	Altura do leito expandido (mm):	350
Fluxo de arraste (kg/m ² s):	0,00141	Temperatura do ar (oC):	38

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:**Coluna de fluidização 01 (mmCA man):**

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	20(*)	z =	0,90	55
	0,10	182		1,33	54
	0,20	108		1,66	54
	0,30	59		2,33	54
	0,40	57		2,66	53
	0,50	57		3,33	52
	0,60	56		3,66	52
	0,70	55		4,33	50
	0,80	55		4,66	50

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	38
Saída	35
Perna	33

Medida de vazão do ar de fluidização:

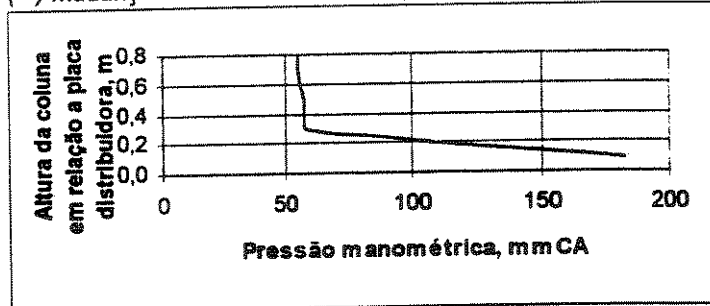
Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	138(**)
Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	28
Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,21

Observações:

Altura da coluna de recirculação de sólidos: 0 mm

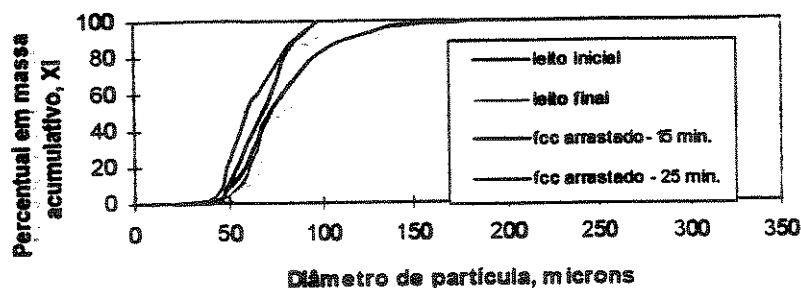
M sólidos encontrada no plenum após o teste: 1822 g

(**) mudança do controle da descarga de ar - uso da válvula 3.



Amostras: teste 32 - coletada pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.									Material: FCC
M (g) - 15 min.: 39,033			M (g) - 25 min.: 47,314			t (min): 10			
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi 15 min (g)	mi 25 min (g)	xi 15 min (%)	xi 25 min (%)	Xi 15 min (%)	Xi 25 min (%)	Xi médio (%)
1	< 38	19,0	0,024	0,155	0,06	0,33	0,06	0,33	0,20
2	38-45	41,5	0,417	2,179	1,07	4,61	1,13	4,93	3,03
3	45-53	49,0	4,900	9,974	12,55	21,08	13,68	26,01	19,85
4	53-65	59,0	8,209	12,508	21,03	26,44	34,71	52,45	43,58
5	65-75	70,0	8,403	8,056	21,53	17,03	56,24	69,48	62,86
6	75-88	81,5	11,285	8,848	28,91	18,70	85,15	88,18	86,67
7	88-105	96,5	5,795	5,594	14,85	11,82	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.: 68,60		
							25 min.: 62,43		
							médio: 65,52		
Desvio (%):							9,87		

Amostras: teste 32 - leito denso inicial e final									Material: FCC
M (g) - inicial: 75,702			M (g) - final: 79,519			t (min): 10			
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi inicial (g)	mi final (g)	xi inicial (%)	xi final (%)	Xi inicial (%)	Xi final (%)	
1	< 38	19,0	0,068	0,059	0,09	0,07	0,09	0,07	
2	38-45	41,5	1,263	0,906	1,67	1,14	1,76	1,21	
3	45-53	49,0	5,975	3,643	7,89	4,58	9,65	5,79	
4	53-65	59,0	10,207	8,811	13,48	11,08	23,13	16,88	
5	65-75	70,0	19,193	23,447	25,35	29,49	48,49	46,36	
6	75-88	81,5	12,973	14,337	17,14	18,03	65,62	64,39	
7	88-105	96,5	12,975	14,337	17,14	18,03	82,76	82,42	
8	105-125	115,0	6,335	7,094	8,37	8,92	91,13	91,34	
9	125-149	137,0	4,691	4,555	6,20	5,73	97,33	97,07	
10	149-177	163,0	1,377	1,564	1,82	1,97	99,15	99,04	
11	177-210	193,5	0,351	0,425	0,46	0,53	99,61	99,57	
12	210-297	253,5	0,160	0,197	0,21	0,25	99,82	99,82	
13	297-355	326,0	0,134	0,144	0,18	0,18	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial: 83,36		
							Final: 87,57		
Desvio (%):							-4,81		



Amostra: teste 32 - válv. amost.		Maivern
Material:	FCC	Difração à Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	1,88	0,1
2	2,03	0,1
3	3,89	1,9
4	4,19	2,3
5	4,50	2,9
6	4,84	3,5
7	5,21	4,3
8	5,60	5,2
9	6,02	6,1
10	6,48	6,9
11	6,97	7,7
12	7,49	8,5
13	8,05	9,3
14	8,66	10,3
15	9,31	11,5
16	10,00	13,3
17	10,80	15,7
18	11,60	18,6
19	12,50	21,9
20	13,40	24,9
21	14,40	27,4
22	15,50	29,4
23	16,70	31,1
24	17,90	32,6
25	19,30	34,3
26	20,70	36,4
27	22,30	39,3
28	24,00	43,1
29	25,80	48,1
30	27,70	53,9
31	29,80	60,2
32	32,00	66,5
33	34,40	72,5
34	37,00	78,0
35	39,80	82,9
36	42,80	87,2
37	46,10	90,9
38	49,50	94,2
39	53,30	96,8
40	57,30	98,6
41	76,60	99,9
42	82,40	100,0
Diâmetro médio:		26,39 microns

TESTE 33

TESTE:	33	HORA:	15:45
Temperatura ambiente (oC):	23	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	04/08/97
Condições operacionais:			
.Inventário inicial no leito (g):	60000	.Massa coletada no filtro (g):	127,00
.Inventário final no leito (g):	60000	.Altura do topo da coluna (m):	4,9
.Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	1,93	.Altura do leito estático (mm):	240
.Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	1,93	.Altura do leito expandido (mm):	350
.Fluxo de arraste (kg/m2s):	0,00708	.Temperatura do ar (oC):	46

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:

Coluna de fluidização 01 (mmCA man):

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	29(*)	z =	0,90	92
	0,10	217		1,33	92
	0,20	150		1,66	90
	0,30	104		2,33	90
	0,40	99		2,66	89
	0,50	98		3,33	89
	0,60	95		3,66	88
	0,70	94		4,33	88
	0,80	93		4,66	86

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	67
Saída	50
Perna	51

Medida de vazão do ar de fluidização:

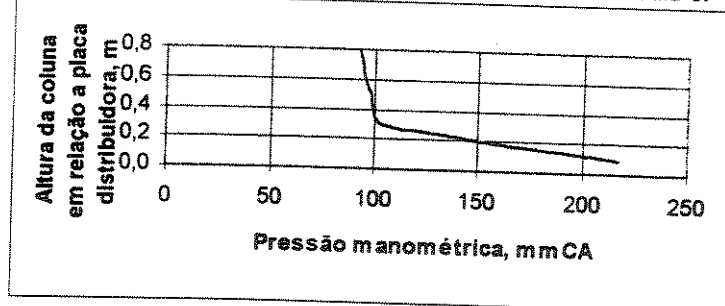
.Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	127(**)
.Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	56
.Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,27

Observações:

Altura da coluna de recirculação de sólidos: 0 mm

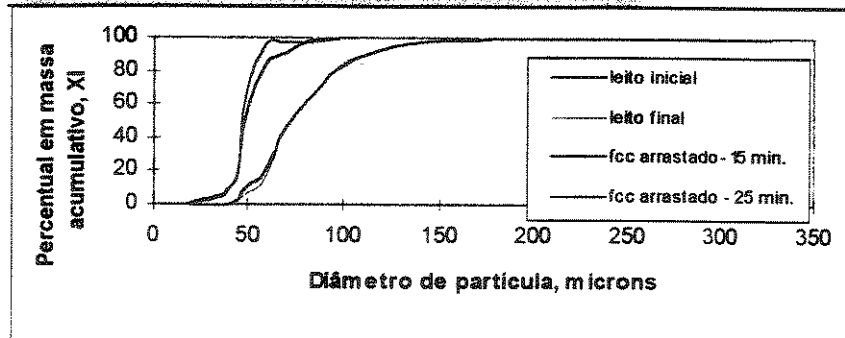
M sólidos encontrada no plenum após o teste: 2520 g

(**) mudança do controle da descarga de ar - uso da válvula 3.



Amostras: teste 33 - coletada pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.								Material:	FCC
M (g) - 15 min.:		66,407	M (g) - 25 min.:		61,029		t (min):		10
n	Abert.	di	mi	mi	xi	xi	Xi	Xi	Xi
	peneiras		15 min	25 min	15 min	25 min	15 min	25 min	médio
	(microns)	(microns)	(g)	(g)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	< 38	19,0	0,965	0,670	1,45	1,10	1,45	1,10	1,29
2	38-45	41,5	6,942	6,666	10,45	10,92	11,91	12,02	11,96
3	45-53	49,0	28,687	34,178	43,20	56,00	55,11	68,02	61,56
4	53-65	59,0	19,528	16,977	29,41	27,82	84,51	95,84	90,18
5	65-75	70,0	4,540	0,758	6,84	1,24	91,35	97,08	94,22
6	75-88	81,5	4,553	0,588	6,86	0,96	98,21	98,05	98,13
7	88-105	96,5	1,192	1,192	1,79	1,95	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.:	52,39	
							25 min.:	50,37	
							médio:	51,38	
Desvio (%):							4,00		

Amostras: teste 33 - leito denso inicial e final								Material:	FCC
M (g) - inicial:		77,227	M (g) - final:		72,668		t (min):		10
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi inicial (g)	mi final (g)	xi inicial (%)	xi final (%)	Xi inicial (%)	Xi final (%)	
1	< 38	19,0	0,071	0,056	0,09	0,08	0,09	0,08	
2	38-45	41,5	1,233	0,751	1,60	1,03	1,69	1,11	
3	45-53	49,0	6,637	4,393	8,59	6,05	10,28	7,16	
4	53-65	59,0	8,312	6,084	10,76	8,37	21,05	15,53	
5	65-75	70,0	19,595	22,955	25,37	31,59	46,42	47,12	
6	75-88	81,5	13,069	11,710	16,92	16,11	63,34	63,23	
7	88-105	96,5	14,192	14,490	18,38	19,94	81,72	83,17	
8	105-125	115,0	7,177	5,776	9,29	7,95	91,01	91,12	
9	125-149	137,0	4,765	4,285	6,17	5,90	97,18	97,02	
10	149-177	163,0	1,496	1,388	1,94	1,91	99,12	98,93	
11	177-210	193,5	0,379	0,409	0,49	0,56	99,61	99,49	
12	210-297	253,5	0,173	0,212	0,22	0,29	99,83	99,78	
13	297-355	326,0	0,128	0,159	0,17	0,22	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial:	84,92	
							Final:	86,97	
Desvio (%):							-2,35		



Malvern - difração a laser (via úmida)

Amostra: teste 33 - valv. amost.

Material: FCC

n	d _i (microns)	X _i (%)
1	5,80	2,1
2	6,24	2,5
3	10,40	4,5
4	11,20	5,3
5	12,00	6,4
6	12,90	7,9
7	13,90	9,4
8	14,90	10,6
9	16,00	11,3
10	21,40	12,4
11	23,10	12,9
12	24,80	13,6
13	26,70	15,1
14	28,70	17,8
15	30,80	22,7
16	33,20	29,6
17	35,70	38,0
18	38,40	47,3
19	41,20	56,7
20	44,40	65,5
21	47,70	73,3
22	51,30	80,0
23	55,20	85,2
24	59,30	89,2
25	63,80	92,1
26	68,60	94,3
27	73,80	95,9
28	79,30	97,1
29	85,30	97,9
30	91,70	98,5
31	98,60	99,0
32	106,00	99,3
33	114,00	99,5
34	123,00	99,6
35	132,00	99,7
36	142,00	99,8
37	153,00	99,9
38	164,00	99,9
39	176,00	99,9
40	190,00	99,9
41	204,00	100,0

Diâmetro médio: 39.16 microns

Malvern - difração a laser (via úmida)

Amostra: teste 33 - leito final

Material: FCC

n	d _i (microns)	X _i (%)
1	5,80	0,2
2	6,24	0,3
3	21,40	0,8
4	23,10	0,9
5	24,80	1,0
6	26,70	1,2
7	28,70	1,4
8	30,80	1,8
9	33,20	2,3
10	35,70	2,9
11	38,40	3,7
12	41,20	4,8
13	44,40	6,3
14	47,70	8,3
15	51,30	11,0
16	55,20	14,6
17	59,30	19,1
18	63,80	24,7
19	68,60	31,4
20	73,80	38,9
21	79,30	46,8
22	85,30	54,7
23	91,70	62,2
24	98,60	69,2
25	106,00	75,4
26	114,00	80,7
27	123,00	85,0
28	132,00	88,4
29	142,00	91,1
30	153,00	93,2
31	164,00	94,8
32	176,00	96,0
33	190,00	97,0
34	204,00	97,7
35	219,00	98,3
36	236,00	98,7
37	254,00	99,0
38	293,00	99,4
39	315,00	99,5
40	339,00	99,7
41	488,00	100,0

Diâmetro médio: 81.68 microns

TESTE 34

TESTE:	34	HORA:	9:50
Temperatura ambiente (oC):	20	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	05/08/97

Condições operacionais:

.Inventário inicial no leito (g):	60000	Massa coletada no filtro (g):	105,62
.Inventário final no leito (g):	58776	Altura do topo da coluna (m):	4,9
.Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	20,40	Altura do leito estático (mm):	240
.Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	19,34	Altura do leito expandido (mm):	350
.Fluxo de arraste (kg/m2s):	0,07048	Temperatura do ar (oC):	38

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:**Coluna de fluidização 01 (mmCA man):**

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	36(*)	z =	0,90	132
	0,10	248		1,33	130
	0,20	172		1,66	128
	0,30	148		2,33	126
	0,40	140		2,66	124
	0,50	137		3,33	123
	0,60	136		3,66	122
	0,70	133		4,33	122
	0,80	132		4,66	121

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	91
Saída	67
Perna	69

Medida de vazão do ar de fluidização:

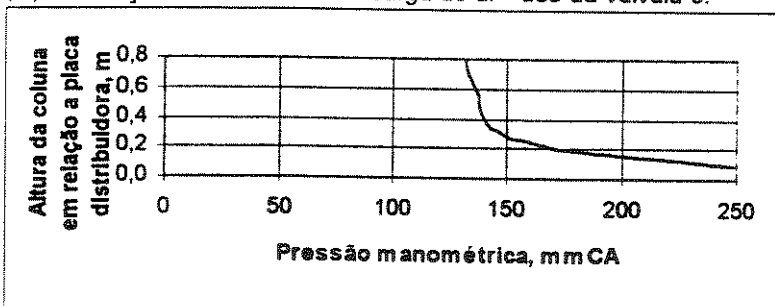
.Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	125(**)
.Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	92
.Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,35

Observações:

Altura da coluna de recirculação de sólidos: 700 mm

M sólidos encontrada no plenum após o teste: 2520 g

(**) mudança do controle da descarga de ar - uso da válvula 3.

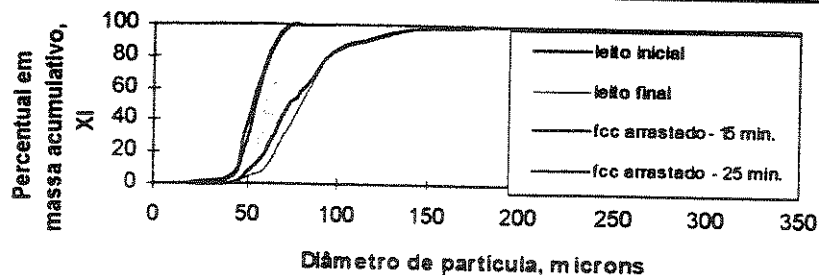


Amostras: teste 34 - coletada pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.

M (g) - 15 min.: 74,123		M (g) - 25 min.: 65,101		Material: FCC		t (min): 10			
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi 15 min (g)	mi 25 min (g)	xi 15 min (%)	xi 25 min (%)	Xi 15 min (%)	Xi 25 min (%)	Xi médio (%)
1	< 38	19,0	0,556	0,338	0,75	0,52	0,75	0,52	0,64
2	38-45	41,5	4,382	3,208	5,91	4,93	6,66	5,45	6,05
3	45-53	49,0	21,906	13,408	29,55	20,60	36,22	26,04	31,13
4	53-65	59,0	29,273	30,907	39,49	47,48	75,71	73,52	74,61
5	65-75	70,0	17,378	15,912	23,44	24,44	99,15	97,96	98,56
6	75-88	81,5	0,473	1,141	0,64	1,75	99,79	99,71	99,75
7	88-105	96,5	0,155	0,187	0,21	0,29	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.: 55,58		
							25 min.: 57,32		
							médio: 56,45		
Desvio (%):							-3,04		

Amostras: teste 34 - leito denso inicial e final

M (g) - inicial: 66,447		M (g) - final: 73,416		Material: FCC		t (min): 10			
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi inicial (g)	mi final (g)	xi inicial (%)	xi final (%)	Xi inicial (%)	Xi final (%)	
1	< 38	19,0	0,093	0,086	0,14	0,12	0,14	0,12	
2	38-45	41,5	0,968	0,815	1,46	1,11	1,60	1,23	
3	45-53	49,0	4,111	2,605	6,19	3,55	7,78	4,78	
4	53-65	59,0	7,977	4,064	12,01	5,54	19,79	10,31	
5	65-75	70,0	17,782	16,458	26,76	22,42	46,55	32,73	
6	75-88	81,5	10,508	17,878	15,81	24,35	62,36	57,08	
7	88-105	96,5	14,122	18,660	21,25	25,42	83,62	82,50	
8	105-125	115,0	5,051	5,499	7,60	7,49	91,22	89,99	
9	125-149	137,0	3,970	5,273	5,97	7,18	97,19	97,17	
10	149-177	163,0	1,282	1,375	1,93	1,87	99,12	99,04	
11	177-210	193,5	0,338	0,362	0,51	0,49	99,63	99,54	
12	210-297	253,5	0,145	0,182	0,22	0,25	99,85	99,78	
13	297-355	326,0	0,100	0,159	0,15	0,22	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial: 84,41		
							Final: 92,46		
Desvio (%):							-8,70		



Amostra: teste 34 - válv. amosl.		Malvern
Material:	FCC	Difração à Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	5,75	0,1
2	6,18	0,2
3	6,65	0,6
4	7,15	0,9
5	7,69	1,3
6	8,27	1,5
7	8,89	1,6
8	9,56	1,6
9	10,30	1,6
10	11,10	1,6
11	11,90	1,6
12	12,80	1,6
13	13,70	1,7
14	14,80	1,9
15	15,90	2,6
16	17,10	3,8
17	18,40	5,7
18	19,80	7,8
19	21,30	9,3
20	22,90	10
21	24,60	10,1
22	26,40	10,1
23	28,40	10,2
24	30,60	10,3
25	32,90	10,4
26	35,40	11,4
27	38,00	15,7
28	40,90	24,2
29	44,00	35,4
30	47,30	47,6
31	50,80	59,6
32	54,70	70,3
33	58,80	78,9
34	63,20	85,5
35	68,00	90,3
36	73,10	93,8
37	78,60	96,3
38	84,50	98,1
39	90,90	99,1
40	97,80	99,6
41	105,00	99,8
42	113,00	99,9
43	122,00	100
Diâmetro médio:		47.94 microns

Malvern - difração a laser (via úmida)

Amostra: teste 34 - leito inicial			Amostra: teste 34 - leito final	
Material:	FCC		Material:	FCC
n	d _i (microns)	X _i (%)	d _i (microns)	X _i (%)
1	5,80	0,2	5,80	0,0
2	6,24	0,2	6,24	0,0
3	14,90	0,5	14,90	0,1
4	16,00	0,5	16,00	0,1
5	17,20	0,5	17,20	0,1
6	18,50	0,5	18,50	0,1
7	19,90	0,6	19,90	0,1
8	21,40	0,6	21,40	0,2
9	23,10	0,7	23,10	0,3
10	24,80	0,9	24,80	0,5
11	26,70	1,1	26,70	0,7
12	28,70	1,4	28,70	1,0
13	30,80	1,8	30,80	1,3
14	33,20	2,3	33,20	1,7
15	35,70	2,9	35,70	2,2
16	38,40	3,6	38,40	2,8
17	41,20	4,4	41,20	3,6
18	44,40	5,6	44,40	4,8
19	47,70	7,4	47,70	6,7
20	51,30	10	51,30	9,5
21	55,20	13,6	55,20	13,4
22	59,30	18,2	59,30	18,3
23	63,80	23,8	63,80	24,1
24	68,60	30,2	68,60	30,7
25	73,80	37,3	73,80	37,8
26	79,30	44,7	79,30	45,4
27	85,30	52,2	85,30	53,3
28	91,70	59,5	91,70	61,1
29	98,60	66,3	98,60	68,6
30	106,00	72,6	106,00	75,5
31	114,00	78,2	114,00	81,3
32	123,00	82,8	123,00	86,0
33	132,00	86,6	132,00	89,7
34	142,00	89,8	142,00	92,4
35	153,00	92,3	153,00	94,5
36	164,00	94,3	164,00	96,1
37	176,00	95,8	176,00	97,3
38	190,00	97	190,00	98,1
39	204,00	97,9	204,00	98,8
40	339,00	100	339,00	100,0
Diâmetro médio:		83.50 microns	82.77 microns	

Amostra: teste 34 - filtro		Malvern
Material:	FCC	Difração à Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	1,22	12,1
2	1,31	12,4
3	1,41	12,9
4	1,51	13,4
5	1,63	14,3
6	1,75	15,7
7	1,88	17,5
8	2,03	19,9
9	2,18	23
10	2,34	26,6
11	2,52	30,7
12	2,71	35,2
13	2,91	40
14	3,13	44,9
15	3,37	49,7
16	3,62	54,4
17	3,89	58,8
18	4,19	62,9
19	4,50	66,6
20	4,84	70,1
21	5,21	73,4
22	5,60	76,5
23	6,02	79,3
24	6,48	81,9
25	6,97	84,2
26	7,49	86,2
27	8,05	88,1
28	8,66	89,9
29	9,31	91,6
30	10,00	93,1
31	10,80	94,6
32	11,60	95,9
33	12,50	97
34	13,40	97,9
35	14,40	98,6
36	15,50	99,1
37	16,70	99,4
38	17,90	99,6
39	19,30	99,8
40	20,70	99,9
41	22,30	100
Diâmetro médio:		3,38 microns

TESTE 35

TESTE:	35	HORA:	15:35
Temperatura ambiente (oC):	20	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	05/08/97
Condições operacionais:			
.Inventário inicial no leito (g):	60000	.Massa coletada no filtro (g):	145,26
.Inventário final no leito (g):	59486	.Altura do topo da coluna (m):	4,9
.Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	36,57	.Altura do leito estático (mm):	240
.Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	36,57	.Altura do leito expandido (mm):	350
.Fluxo de arraste (kg/m ² s):	0,12963	.Temperatura do ar (oC):	38

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:

Coluna de fluidização 01 (mmCA man):

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	44(*)	z =	0,90	168
	0,10	289		1,33	165
	0,20	216		1,66	163
	0,30	187		2,33	161
	0,40	177		2,66	159
	0,50	173		3,33	157
	0,60	172		3,66	155
	0,70	170		4,33	153
	0,80	169		4,66	153

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	113
Saída	87
Perna	92

Medida de vazão do ar de fluidização:

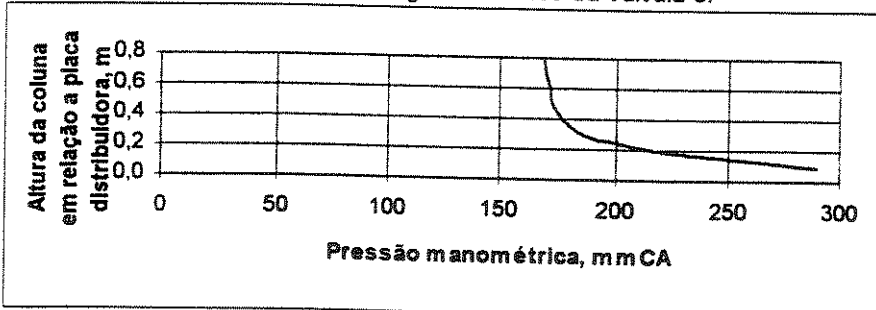
.Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	117(**)
.Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	116
.Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,39

Observações:

Altura da coluna de recirculação de sólidos: 700 mm

M sólidos encontrada no plenum após o teste: 2427 g

(**) mudança do controle da descarga de ar - uso da válvula 3.

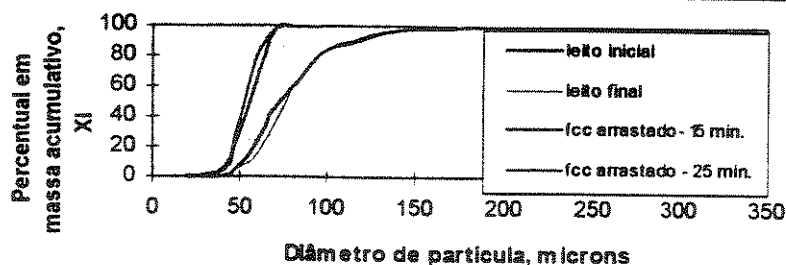


Amostras: teste 35 - coletada pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.

M (g) - 15 min.:		68,364		M (g) - 25 min.:		67,998		Material:	FCC
								t (min):	10
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi 15 min (g)	mi 25 min (g)	xi 15 min (%)	xi 25 min (%)	Xi 15 min (%)	Xi 25 min (%)	Xi médio (%)
1	< 38	19,0	0,480	0,438	0,70	0,64	0,70	0,64	0,68
2	38-45	41,5	3,366	4,765	4,92	7,01	5,63	7,65	6,64
3	45-53	49,0	15,418	19,600	22,55	28,82	28,18	36,48	32,33
4	53-65	59,0	22,505	27,651	32,92	40,66	61,10	77,14	69,12
5	65-75	70,0	25,331	14,357	37,05	21,11	98,15	98,25	98,20
6	75-88	81,5	0,967	0,989	1,41	1,45	99,57	99,71	99,64
7	88-105	96,5	0,297	0,198	0,43	0,29	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.:	57,97	
							25 min.:	55,47	
							médio:	56,72	
							Desvio (%):	4,51	

Amostras: teste 35 - leito denso inicial e final

M (g) - inicial:		66,925		M (g) - final:		68,736		Material:	FCC
								t (min):	10
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi inicial (g)	mi final (g)	xi inicial (%)	xi final (%)	Xi inicial (%)	Xi final (%)	
1	< 38	19,0	0,093	0,020	0,14	0,03	0,14	0,03	
2	38-45	41,5	1,187	1,025	1,77	1,49	1,91	1,52	
3	45-53	49,0	4,499	3,472	6,72	5,05	8,64	6,57	
4	53-65	59,0	8,268	4,797	12,35	6,98	20,99	13,55	
5	65-75	70,0	16,866	15,515	25,20	22,57	46,19	36,12	
6	75-88	81,5	11,322	18,034	16,92	26,24	63,11	62,36	
7	88-105	96,5	13,205	13,843	19,73	20,14	82,84	82,50	
8	105-125	115,0	5,002	4,769	7,47	6,94	90,31	89,44	
9	125-149	137,0	4,553	5,319	6,80	7,74	97,12	97,17	
10	149-177	163,0	1,323	1,293	1,98	1,88	99,09	99,06	
11	177-210	193,5	0,346	0,358	0,52	0,52	99,61	99,58	
12	210-297	253,5	0,155	0,175	0,23	0,25	99,84	99,83	
13	297-355	326,0	0,106	0,116	0,16	0,17	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial:	84,39	
							Final:	89,94	
							Desvio (%):	-6,17	



Malvern - difração a laser (via úmida)

Amostra: teste 35 - valv. amost.

Material: FCC

n	d _i (microns)	X _i (%)
1	5,80	1,5
2	6,24	1,5
3	13,90	1,5
4	14,90	2,0
5	16,00	3,1
6	17,20	4,5
7	18,50	5,8
8	19,90	6,9
9	21,40	7,6
10	23,10	8,0
11	24,80	8,3
12	26,70	8,7
13	28,70	9,3
14	30,80	10,2
15	33,20	12,0
16	35,70	15,3
17	38,40	20,5
18	41,20	28,1
19	44,40	37,8
20	47,70	48,5
21	51,30	59,4
22	55,20	69,6
23	59,30	78,6
24	63,80	85,8
25	68,60	91,0
26	73,80	94,4
27	79,30	96,4
28	85,30	97,7
29	91,70	98,6
30	98,60	99,2
31	106,00	99,6
32	114,00	99,8
33	123,00	99,9
34	132,00	100,0

Diâmetro médio: 48.17 microns

Malvern - difração a laser (via úmida)

Amostra: teste 35 - leite final

Material: FCC

n	d _i (microns)	X _i (%)
1	5,80	0,1
2	6,24	0,1
3	13,90	0,2
4	14,90	0,3
5	16,00	0,3
6	17,20	0,3
7	18,50	0,4
8	19,90	0,4
9	21,40	0,5
10	23,10	0,5
11	24,80	0,7
12	26,70	0,8
13	28,70	1,1
14	30,80	1,6
15	33,20	2,2
16	35,70	3,0
17	38,40	4,0
18	41,20	5,3
19	44,40	6,9
20	47,70	9,1
21	51,30	12,1
22	55,20	15,8
23	59,30	20,6
24	63,80	26,5
25	68,60	33,4
26	73,80	41,1
27	79,30	49,2
28	85,30	57,1
29	91,70	64,7
30	98,60	71,6
31	106,00	77,7
32	114,00	82,7
33	123,00	86,8
34	132,00	89,9
35	142,00	92,3
36	153,00	94,1
37	164,00	95,5
38	176,00	96,6
39	190,00	97,4
40	204,00	98,1
41	219,00	98,6
42	236,00	99,0
43	488,00	100,0

Diâmetro médio: 79.91 microns

TESTE 36

TESTE:	36	HORA:	10:00
Temperatura ambiente (oC):	20	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	06/08/97

Condições operacionais:

Inventário inicial no leito (g):	60000	Massa coletada no filtro (g):	180,35
Inventário final no leito (g):	60000	Altura do topo da coluna (m):	4,9
Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	73,11	Altura do leito estático (mm):	240
Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	73,11	Altura do leito expandido (mm):	350
Fluxo de arraste (kg/m ² s):	0,25893	Temperatura do ar (oC):	38

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:**Coluna de fluidização 01 (mmCA man):****Altura em relação ao distribuidor de ar, m:**

z =	-0,10	55(*)	z =	0,90	238
	0,10	352		1,33	235
	0,20	290		1,66	233
	0,30	265		2,33	230
	0,40	254		2,66	228
	0,50	249		3,33	225
	0,60	244		3,66	223
	0,70	240		4,33	221
	0,80	239		4,66	219

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	160
Salda	125
Perna	134

Medida de vazão do ar de fluidização:

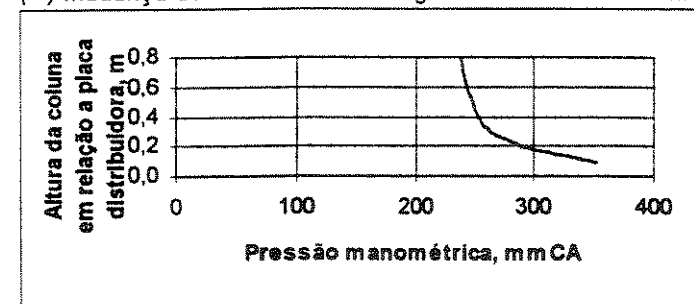
Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	115(**)
Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	153
Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,45

Observações:

Altura da coluna de recirculação de sólidos: 780 mm

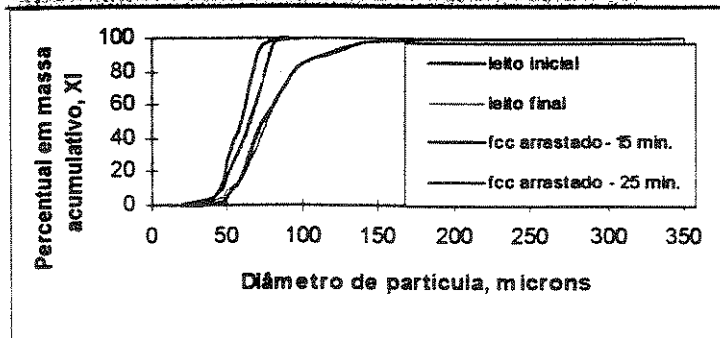
M sólidos encontrada no plenum após o teste: g

(**) mudança do controle da descarga de ar - uso da válvula 3.



Amstras: teste 36 - coletada pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.								Material:	FCC
M (g) - 15 min.:		65,644	M (g) - 25 min.:		67,152		t (min):		10
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi 15 min (g)	mi 25 min (g)	xi 15 min (%)	xi 25 min (%)	Xi 15 min (%)	Xi 25 min (%)	Xi médio (%)
1	< 38	19,0	0,484	0,503	0,74	0,75	0,74	0,75	0,75
2	38-45	41,5	3,197	3,267	4,87	4,87	5,61	5,61	5,61
3	45-53	49,0	14,327	8,427	21,83	12,55	27,43	18,16	22,80
4	53-65	59,0	16,221	13,093	24,71	19,50	52,14	37,66	44,90
5	65-75	70,0	26,965	18,952	41,08	28,22	93,22	65,88	79,55
6	75-88	81,5	3,810	22,290	5,80	33,19	99,03	99,08	99,05
7	88-105	96,5	0,640	0,620	0,97	0,92	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.:	59,22	
							25 min.:	63,97	
							médio:	61,60	
							Desvio (%):	-7,42	

Amstras: teste 36 - leito denso inicial e final								Material:	FCC
M (g) - inicial:		59,871	M (g) - final:		75,727		t (min):		10
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi inicial (g)	mi final (g)	xi inicial (%)	xi final (%)	Xi inicial (%)	Xi final (%)	
1	< 38	19,0	0,052	0,257	0,09	0,34	0,09	0,34	
2	38-45	41,5	0,588	2,052	0,98	2,71	1,07	3,05	
3	45-53	49,0	3,223	5,366	5,38	7,09	6,45	10,14	
4	53-65	59,0	6,634	4,908	11,08	6,48	17,53	16,62	
5	65-75	70,0	16,863	15,297	28,17	20,20	45,70	36,82	
6	75-88	81,5	9,663	18,908	16,14	24,97	61,84	61,79	
7	88-105	96,5	12,649	15,596	21,13	20,60	82,97	82,38	
8	105-125	115,0	4,234	7,011	7,07	9,26	90,04	91,64	
9	125-149	137,0	4,277	4,530	7,14	5,98	97,18	97,62	
10	149-177	163,0	1,170	1,195	1,95	1,58	99,13	99,20	
11	177-210	193,5	0,301	0,338	0,50	0,45	99,64	99,64	
12	210-297	253,5	0,128	0,151	0,21	0,20	99,85	99,84	
13	297-355	326,0	0,089	0,118	0,15	0,16	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial:	86,12	
							Final:	87,26	
							Desvio (%):	-1,31	



Amostra: teste 36 - valv. amost.		Malvern
Material:	FCC	Difração à Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	6,18	0,1
2	6,65	0,2
3	7,15	0,3
4	7,69	0,4
5	8,27	0,5
6	8,89	0,5
7	9,56	0,6
8	10,30	0,6
9	11,10	0,6
10	11,90	0,6
11	12,80	0,7
12	13,70	0,8
13	14,80	1,2
14	15,90	1,8
15	17,10	2,7
16	18,40	3,9
17	19,80	5,2
18	21,30	6,3
19	22,90	6,9
20	24,60	7,1
21	26,40	7,1
22	28,40	7,1
23	30,60	7,1
24	32,90	7,5
25	35,40	9
26	38,00	13
27	40,90	19,9
28	44,00	28,9
29	47,30	39
30	50,80	49,2
31	54,70	58,9
32	58,80	67,6
33	63,20	75,1
34	68,00	81,4
35	73,10	86,8
36	78,60	91,3
37	84,50	95
38	151,00	100,0
Diâmetro médio:		51.12 microns

Malvern - difração a laser (via úmida)

Amostra: teste 36 - leito inicial			Amostra: teste 36 - leito final		
Material:	FCC		Material:	FCC	
n	d _i (microns)	X _i (%)	d _i (microns)	X _i (%)	
1	5,80	0,2	5,80	0,0	
2	6,24	0,2	6,24	0,0	
3	12,00	0,4	12,00	0,0	
4	12,90	0,4	12,90	0,0	
5	13,90	0,4	13,90	0,0	
6	14,90	0,4	14,90	0,0	
7	16,00	0,5	16,00	0,1	
8	17,20	0,5	17,20	0,1	
9	18,50	0,5	18,50	0,1	
10	19,90	0,6	19,90	0,1	
11	21,40	0,6	21,40	0,1	
12	23,10	0,7	23,10	0,2	
13	24,80	0,9	24,80	0,4	
14	26,70	1,1	26,70	0,6	
15	28,70	1,4	28,70	0,9	
16	30,80	1,9	30,80	1,3	
17	33,20	2,4	33,20	1,8	
18	35,70	3	35,70	2,5	
19	38,40	3,6	38,40	3,2	
20	41,20	4,4	41,20	4,2	
21	44,40	5,5	44,40	5,5	
22	47,70	7,2	47,70	7,6	
23	51,30	9,7	51,30	10,7	
24	55,20	13,3	55,20	14,8	
25	59,30	18	59,30	20,0	
26	63,80	23,7	63,80	25,9	
27	68,60	30,3	68,60	32,5	
28	73,80	37,5	73,80	39,5	
29	79,30	45,1	79,30	46,8	
30	85,30	52,6	85,30	54,2	
31	91,70	59,8	91,70	61,5	
32	98,60	66,6	98,60	68,4	
33	106,00	72,7	106,00	74,8	
34	114,00	78,1	114,00	80,4	
35	123,00	82,6	123,00	84,9	
36	132,00	86,4	132,00	88,6	
37	142,00	89,5	142,00	91,6	
38	153,00	92	153,00	93,8	
39	164,00	94,1	164,00	95,6	
40	176,00	95,6	176,00	97,0	
41	190,00	96,8	190,00	97,9	
42	204,00	97,7	204,00	98,6	
43	219,00	98,4	219,00	99,1	
44	339,00	100	339,00	100,0	
Diâmetro médio:		83.16 microns			81.84 microns
Amostra: teste 36 - filtro			Malvern		

Material:	FCC	Difração à Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	1,22	9
2	1,31	9,3
3	1,41	9,6
4	1,51	10
5	1,63	10,7
6	1,75	11,7
7	1,88	13,1
8	2,03	15
9	2,18	17,4
10	2,34	20,1
11	2,52	23,3
12	2,71	26,8
13	2,91	30,5
14	3,13	34,3
15	3,37	38,2
16	3,62	41,9
17	3,89	45,6
18	4,19	49,2
19	4,50	52,7
20	4,84	56,2
21	5,21	59,9
22	5,60	63,6
23	6,02	67,3
24	6,48	70,9
25	6,97	74,5
26	7,49	77,9
27	8,05	81,1
28	8,66	84,2
29	9,31	87,1
30	10,00	89,8
31	10,80	92,1
32	11,60	94,1
33	12,50	95,8
34	13,40	97,2
35	14,40	98,2
36	15,50	98,9
37	16,70	99,3
38	17,90	99,6
39	19,30	99,8
40	20,70	99,9
41	22,30	100
Diâmetro médio:	4.26 microns	

TESTE 37

TESTE:	37	HORA:	11:30
Temperatura ambiente (oC):	21	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	14/07/97

Condições operacionais:

Inventário inicial no leito (g):	30000	Massa coletada no filtro (g):	109,9
Inventário final no leito (g):	30000	Altura do topo da coluna (m):	1,0
Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	16,02	Altura do leito estático (mm):	120
Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	17,23	Altura do leito expandido (mm):	250
Fluxo de arraste (kg/m ² s):	0,05901	Temperatura do ar (oC):	39

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:**Coluna de fluidização 01 (mmCA man):**

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	17(*)	z =	0,90	78
	0,10	101		1,33	-
	0,20	81		1,66	-
	0,30	81		2,33	-
	0,40	81		2,66	-
	0,50	81		3,33	-
	0,60	79		3,66	-
	0,70	78		4,33	-
	0,80	78		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

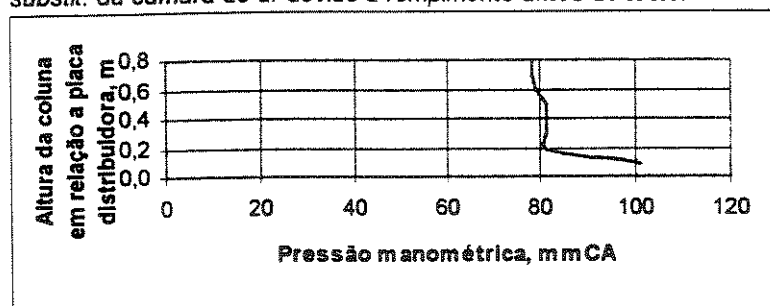
Entrada	60
Saída	49
Perna	55

Medida de vazão do ar de fluidização:

Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	21
Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	56
Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,27

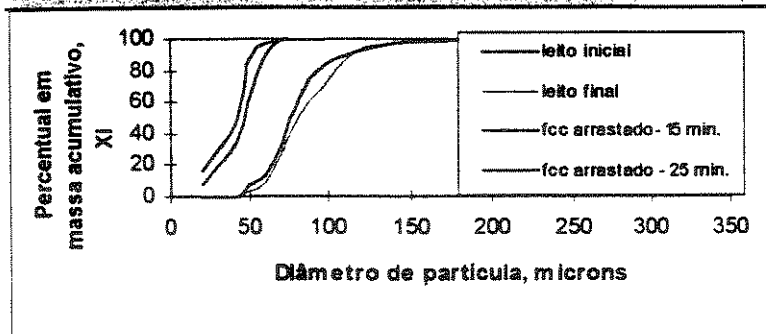
Observações:

Altura da coluna de recirculação de sólidos: 0 mm

Massa de sólidos encontrada no plenum após o teste: 620 g
substit. da câmara de ar devido à rompimento antes do teste.

Amostras: teste 37 - coleta pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.									
M (g) - 15 min.: 71,520		M (g) - 25 min.: 75,137		Material: FCC		t (min): 10			
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi 15 min (g)	mi 25 min (g)	xi 15 min (%)	xi 25 min (%)	Xi 15 min (%)	Xi 25 min (%)	Xi médio (%)
1	< 38	19,0	11,710	5,900	16,37	7,85	16,37	7,85	12,18
2	38-45	41,5	22,640	19,680	31,66	26,19	48,03	34,04	41,04
3	45-53	49,0	28,190	20,770	39,42	27,64	87,44	61,69	74,57
4	53-65	59,0	7,020	20,970	9,82	27,91	97,26	89,60	93,43
5	65-75	70,0	1,860	7,610	2,60	10,13	99,86	99,72	99,79
6	75-88	81,5	0,090	0,197	0,13	0,26	99,99	99,99	99,99
7	88-105	96,5	0,010	0,010	0,01	0,01	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.: 37,96		
							25 min.: 44,85		
							médio: 41,41		
Desvio (%):							-15,36		

Amostras: teste 37 - leito denso inicial e final									
M (g) - inicial: 71,727		M (g) - final: 58,483		Material: FCC		t (min): 10			
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi inicial (g)	mi final (g)	xi inicial (%)	xi final (%)	Xi inicial (%)	Xi final (%)	
1	< 38	19,0	0,079	0,069	0,00	0,02	0,00	0,02	
2	38-45	41,5	1,006	0,731	0,35	0,16	0,35	0,17	
3	45-53	49,0	5,660	3,541	6,79	3,47	7,14	3,64	
4	53-65	59,0	7,953	5,101	6,91	5,59	14,05	9,24	
5	65-75	70,0	20,712	12,885	19,60	17,14	33,65	26,38	
6	75-88	81,5	11,928	12,008	29,91	26,74	63,56	53,12	
7	88-105	96,5	15,686	16,611	19,23	15,88	82,78	69,00	
8	105-125	115,0	6,203	4,655	9,89	23,79	92,68	92,79	
9	125-149	137,0	4,988	3,464	4,74	5,07	97,42	97,86	
10	149-177	163,0	1,441	1,043	1,65	1,35	99,07	99,21	
11	177-210	193,5	0,394	0,302	0,54	0,42	99,60	99,64	
12	210-297	253,5	0,172	0,159	0,23	0,20	99,83	99,84	
13	297-355	326,0	0,127	0,124	0,17	0,16	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial: 88,90		
							Final: 110,13		
Desvio (%):							-19,28		



TESTE 38

TESTE:	38	HORA:	09:55
Temperatura ambiente (oC):	17	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	22/07/97

Condições operacionais:

.Inventário inicial no leito (g):	35000	.Massa coletada no filtro (g):	89,11
.Inventário final no leito (g):	34896	.Altura do topo da coluna (m):	1,0
.Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	12,39	.Altura do leito estático (mm):	140
.Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	13,66	.Altura do leito expandido (mm):	250
.Fluxo de arraste (kg/m2s):	0,04624	.Temperatura do ar (oC):	37

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:**Coluna de fluidização 01 (mmCA man):**

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	19(*)	z =	0,90	74
	0,10	100		1,33	-
	0,20	80		1,66	-
	0,30	80		2,33	-
	0,40	80		2,66	-
	0,50	80		3,33	-
	0,60	75		3,66	-
	0,70	75		4,33	-
	0,80	74		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	61
Saída	50
Perna	52

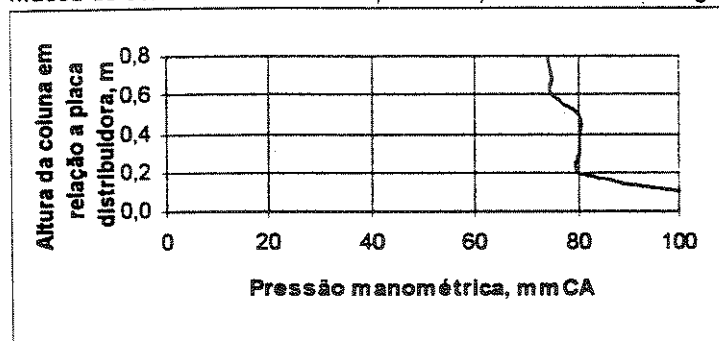
Medida de vazão do ar de fluidização:

.Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	22
.Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	56
.Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,27

Observações:

Altura da coluna de recirculação de sólidos: 0 mm

Massa de sólidos encontrada no plenum após o teste: 12160 g

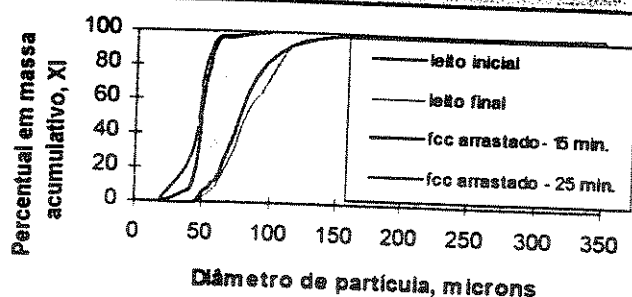


Amostras: teste 38 - coleta pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.

M (g) - 15 min.: 59,115		M (g) - 25 min.: 58,613		Material: FCC		t (min): 10			
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi 15 min (g)	mi 25 min (g)	xi 15 min (%)	xi 25 min (%)	Xi 15 min (%)	Xi 25 min (%)	Xi médio (%)
1	< 38	19,0	0,634	1,537	1,07	2,62	1,07	2,62	1,86
2	38-45	41,5	6,008	15,950	10,16	27,21	11,24	29,83	20,54
3	45-53	49,0	28,533	26,787	48,27	45,70	59,50	75,54	67,52
4	53-65	59,0	20,116	12,405	34,03	21,16	93,53	96,70	95,12
5	65-75	70,0	1,798	0,829	3,04	1,41	96,57	98,11	97,34
6	75-88	81,5	1,043	0,717	1,76	1,22	98,34	99,34	98,84
7	88-105	96,5	0,983	0,388	1,66	0,66	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.: 51,40		
							25 min.: 47,01		
							médio: 49,21		
Desvio (%):							9,34		

Amostras: teste 38 - leito denso inicial e final

M (g) - inicial: 71,727		M (g) - final: 58,483		Material: FCC		t (min): 10			
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi inicial (g)	mi final (g)	xi inicial (%)	xi final (%)	Xi inicial (%)	Xi final (%)	
1	< 38	19,0	0,176	0,166	0,00	0,02	0,00	0,02	
2	38-45	41,5	1,550	2,025	0,35	0,16	0,35	0,17	
3	45-53	49,0	7,386	6,537	6,79	3,47	7,14	3,64	
4	53-65	59,0	9,945	7,868	6,91	5,59	14,05	9,24	
5	65-75	70,0	21,478	21,696	19,60	17,14	33,65	26,38	
6	75-88	81,5	13,292	12,647	29,91	26,74	63,56	53,12	
7	88-105	96,5	13,419	13,606	19,23	15,88	82,78	69,00	
8	105-125	115,0	7,821	6,946	9,89	23,79	92,68	92,79	
9	125-149	137,0	4,853	4,259	4,74	5,07	97,42	97,86	
10	149-177	163,0	1,457	1,414	1,65	1,35	99,07	99,21	
11	177-210	193,5	0,412	0,451	0,54	0,42	99,60	99,64	
12	210-297	253,5	0,172	0,212	0,23	0,20	99,83	99,84	
13	297-355	326,0	0,140	0,140	0,17	0,16	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial: 88,90		
							Final: 110,13		
Desvio (%):							-19,28		



TESTE 39

TESTE:	39	HORA:	10:00
Temperatura ambiente (oC):	21	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	11/07/97
Condições operacionais:			
.Inventário inicial no leito (g):	40000	.Massa coletada no filtro (g):	342,02
.Inventário final no leito (g):	39920	.Altura do topo da coluna (m):	1,0
.Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	15,36	.Altura do leito estático (mm):	160
.Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	14,00	.Altura do leito expandido (mm):	250
.Fluxo de arraste (kg/m2s):	0,05259	.Temperatura do ar (oC):	39

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:**Coluna de fluidização 01 (mmCA man):**

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	24(*)	z =	0,90	111
	0,10	142		1,33	-
	0,20	117		1,66	-
	0,30	115		2,33	-
	0,40	115		2,66	-
	0,50	113		3,33	-
	0,60	112		3,66	-
	0,70	111		4,33	-
	0,80	111		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	99
Saída	86
Perna	89

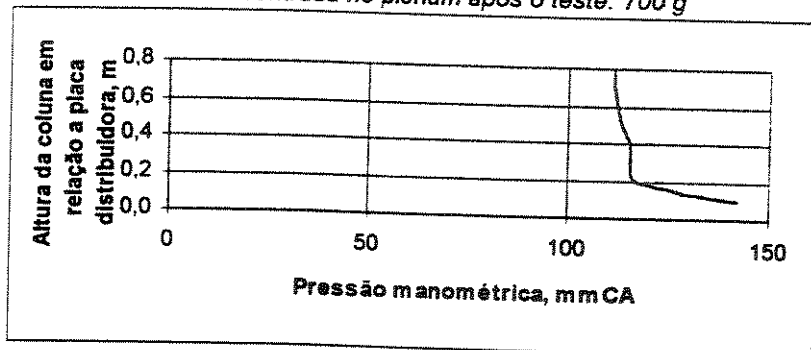
Medida de vazão do ar de fluidização:

.Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	28
.Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	56
.Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,30

Observações:

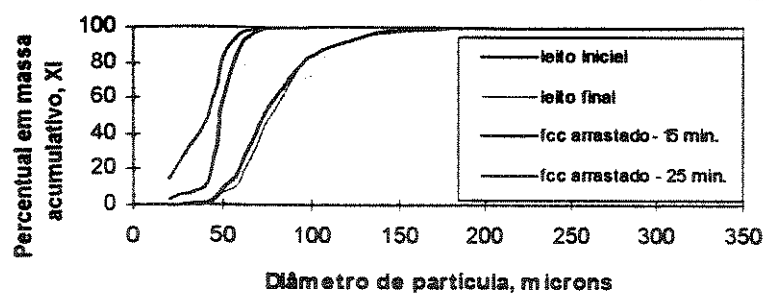
Altura da coluna de recirculação de sólidos: 0 mm

Massa de sólidos encontrada no plenum após o teste: 700 g



Amostras: teste 39 - coletada pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.								Material:	FCC
M (g) - 15 min.: 69,955		M (g) - 25 min.: 61,842						t (min):	10
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi 15 min (g)	mi 25 min (g)	xi 15 min (%)	xi 25 min (%)	Xi 15 min (%)	Xi 25 min (%)	Xi médio (%)
1	< 38	19,0	2,175	9,064	3,11	14,66	3,11	14,66	9,00
2	38-45	41,5	7,132	21,771	10,20	35,20	13,30	49,86	31,58
3	45-53	49,0	30,322	19,749	43,35	31,93	56,65	81,80	69,22
4	53-65	59,0	22,335	9,149	31,93	14,79	88,58	96,59	92,58
5	65-75	70,0	7,481	1,749	10,69	2,83	99,27	99,42	99,34
6	75-88	81,5	0,395	0,281	0,56	0,45	99,84	99,87	99,85
7	88-105	98,5	0,115	0,079	0,16	0,13	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.:	50,09	
							25 min.:	38,92	
							médio:	44,50	
							Desvio (%):	28,70	

Amostras: teste 39 - leito denso inicial e final								Material:	FCC
M (g) - inicial: 68,424		M (g) - final: 71,065						t (min):	10
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi inicial (g)	mi final (g)	xi inicial (%)	xi final (%)	Xi inicial (%)	Xi final (%)	
1	< 38	19,0	0,132	0,097	0,19	0,14	0,19	0,14	
2	38-45	41,5	1,050	0,978	1,53	1,38	1,73	1,51	
3	45-53	49,0	4,815	4,034	7,04	5,68	8,76	7,19	
4	53-65	59,0	8,029	3,685	11,73	5,19	20,50	12,37	
5	65-75	70,0	17,881	18,918	26,13	26,62	46,63	39,00	
6	75-88	81,5	11,695	13,564	17,09	19,09	63,72	58,08	
7	88-105	98,5	13,328	17,207	19,48	24,21	83,20	82,30	
8	105-125	115,0	5,600	6,220	8,18	8,75	91,39	91,05	
9	125-149	137,0	3,960	4,182	5,79	5,88	97,17	96,93	
10	149-177	163,0	1,314	1,427	1,92	2,01	99,09	98,94	
11	177-210	193,5	0,342	0,395	0,50	0,56	99,59	99,50	
12	210-297	253,5	0,158	0,194	0,23	0,27	99,82	99,77	
13	297-355	326,0	0,120	0,164	0,18	0,23	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial:	84,00	
							Final:	90,13	
							Desvio (%):	-6,80	



TESTE 40

TESTE:	40	HORA:	15:25
Temperatura ambiente (oC):	23	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	15/07/97

Condições operacionais:

. Inventário inicial no leito (g):	45000	. Massa coletada no filtro (g):	138,39
. Inventário final no leito (g):	45050	. Altura do topo da coluna (m):	1,0
. Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	15,21	. Altura do leito estático (mm):	180
. Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	14,54	. Altura do leito expandido (mm):	250
. Fluxo de arraste (kg/m ² s):	0,05288	. Temperatura do ar (oC):	44

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:**Coluna de fluidização 01 (mmCA man):**

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	21(*)	z =	0,90	77
	0,10	155		1,33	-
	0,20	83		1,66	-
	0,30	82		2,33	-
	0,40	82		2,66	-
	0,50	81		3,33	-
	0,60	80		3,66	-
	0,70	79		4,33	-
	0,80	77		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	61
Saída	49
Perna	51

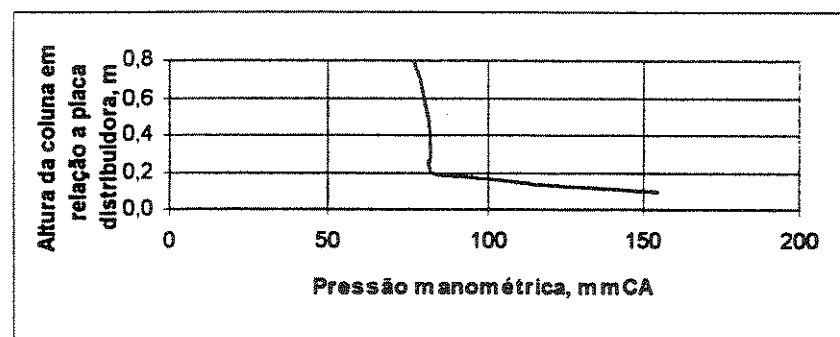
Medida de vazão do ar de fluidização:

. Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	25
. Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	56
. Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,27

Observações:

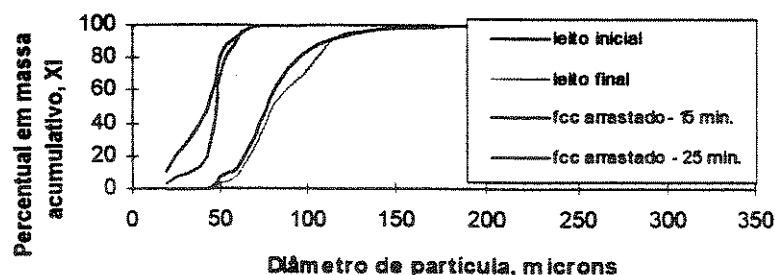
Altura da coluna de recirculação de sólidos: 0 mm

Massa de sólidos encontrada no plenum após o teste: 1200 g



Amostras: teste 40 - coietada pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.							Material:	FCC	
M (g) - 15 min.: 72,584		M (g) - 25 min.: 69,437					t (min):	10	
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi 15 min (g)	mi 25 min (g)	xi 15 min (%)	xi 25 min (%)	Xi 15 min (%)	Xi 25 min (%)	Xi médio (%)
1	< 38	19,0	7,760	2,850	10,69	4,10	10,69	4,10	7,44
2	38-45	41,5	26,970	10,760	37,16	15,50	47,85	19,60	33,72
3	45-53	49,0	23,700	33,540	32,65	48,30	80,50	67,90	74,20
4	53-65	59,0	9,910	17,000	13,65	24,48	94,15	92,39	93,27
5	65-75	70,0	3,800	4,890	5,24	7,04	99,39	99,43	99,41
6	75-88	81,5	0,400	0,360	0,55	0,52	99,94	99,95	99,94
7	88-105	96,5	0,044	0,037	0,06	0,05	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.:	41,02	
							25 min.:	47,67	
							médio:	44,34	
							Desvio (%):	-13,96	

Amostras: teste 40 - leite denso inicial e final							Material:	FCC	
M (g) - inicial: 71,727		M (g) - final: 58,483					t (min):	10	
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi inicial (g)	mi final (g)	xi inicial (%)	xi final (%)	Xi inicial (%)	Xi final (%)	
1	< 38	19,0	0,227	0,224	0,00	0,02	0,00	0,02	
2	38-45	41,5	1,742	1,705	0,35	0,16	0,35	0,17	
3	45-53	49,0	5,865	4,483	6,79	3,47	7,14	3,64	
4	53-65	59,0	7,217	6,092	6,91	5,59	14,05	9,24	
5	65-75	70,0	17,744	14,948	19,60	17,14	33,65	26,38	
6	75-88	81,5	10,068	12,181	29,91	26,74	63,56	53,12	
7	88-105	96,5	10,942	12,189	19,23	15,88	82,78	69,00	
8	105-125	115,0	6,642	5,868	9,89	23,79	92,68	92,79	
9	125-149	137,0	3,960	3,606	4,74	5,07	97,42	97,86	
10	149-177	163,0	1,084	1,024	1,65	1,35	99,07	99,21	
11	177-210	193,5	0,306	0,330	0,54	0,42	99,60	99,64	
12	210-297	253,5	0,145	0,167	0,23	0,20	99,83	99,84	
13	297-355	326,0	0,088	0,125	0,17	0,16	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial:	88,90	
							Final:	110,13	
							Desvio (%):	-19,28	



TESTE 41

TESTE:	41	HORA:	14:55
Temperatura ambiente (oC):	23	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	11/07/97

Condições operacionais:

Inventário inicial no leito (g):	50000	Massa coletada no filtro (g):	151,06
Inventário final no leito (g):	49988	Altura do topo da coluna (m):	1,0
Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	15,32	Altura do leito estático (mm):	200
Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	13,00	Altura do leito expandido (mm):	350
Fluxo de arraste (kg/m ² s):	0,05038	Temperatura do ar (oC):	42

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:**Coluna de fluidização 01 (mmCA man):****Altura em relação ao distribuidor de ar, m:**

z =	-0,10	22(*)	z =	0,90	79
	0,10	169		1,33	-
	0,20	99		1,66	-
	0,30	83		2,33	-
	0,40	82		2,66	-
	0,50	82		3,33	-
	0,60	81		3,66	-
	0,70	80		4,33	-
	0,80	79		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	65
Saída	53
Perna	54

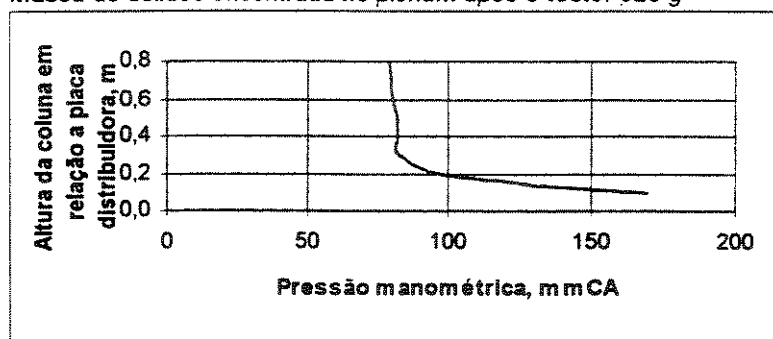
Medida de vazão do ar de fluidização:

Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	27
Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	56
Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,27

Observações:

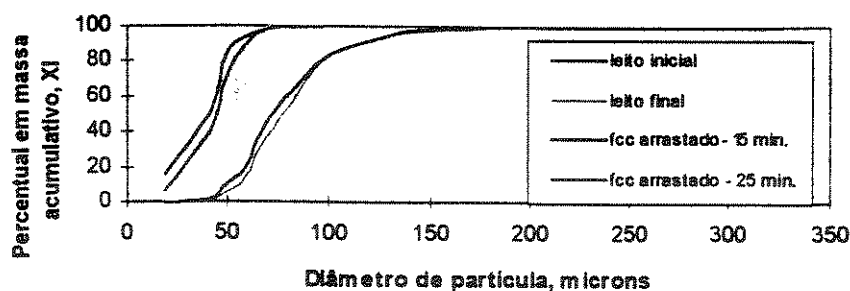
Altura da coluna de recirculação de sólidos: 0 mm

Massa de sólidos encontrada no plenum após o teste: 620 g



Amostras: teste 41 - coletada pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.								Material:	FCC
M (g) - 15 min.:		60,395	M (g) - 25 min.:		67,302		t (min):		10
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi 15 min (g)	mi 25 min (g)	xi 15 min (%)	xi 25 min (%)	Xi 15 min (%)	Xi 25 min (%)	Xi médio (%)
1	< 38	19,0	9,937	4,841	16,45	7,19	16,45	7,19	11,89
2	38-45	41,5	20,633	21,963	34,16	32,63	50,62	39,83	45,22
3	45-53	49,0	20,832	20,842	34,49	30,97	85,11	70,79	77,95
4	53-65	59,0	5,258	13,071	8,71	19,42	93,82	90,22	92,02
5	65-75	70,0	3,214	6,016	5,32	8,94	99,14	99,15	99,15
6	75-88	81,5	0,406	0,501	0,67	0,74	99,81	99,90	99,85
7	88-105	96,5	0,115	0,068	0,19	0,10	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.:	38,07	
							25 min.:	44,17	
							médio:	41,12	
Desvio (%):							-13,82		

Amostras: teste 41 - leito denso inicial e final								Material:	FCC
M (g) - inicial:		56,453	M (g) - final:		76,979		t (min):		10
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi inicial (g)	mi final (g)	xi inicial (%)	xi final (%)	Xi inicial (%)	Xi final (%)	
1	< 38	19,0	0,126	0,087	0,22	0,11	0,22	0,11	
2	38-45	41,5	1,291	0,744	2,29	0,97	2,51	1,08	
3	45-53	49,0	4,252	3,611	7,53	4,69	10,04	5,77	
4	53-65	59,0	5,395	5,763	9,56	7,49	19,60	13,26	
5	65-75	70,0	15,853	19,330	28,08	25,11	47,68	38,37	
6	75-88	81,5	8,717	14,115	15,44	18,34	63,12	56,70	
7	88-105	96,5	10,411	19,133	18,44	24,85	81,56	81,56	
8	105-125	115,0	5,413	7,072	9,59	9,19	91,15	90,75	
9	125-149	137,0	3,443	4,906	6,10	6,37	97,25	97,12	
10	149-177	163,0	1,054	1,531	1,87	1,99	99,12	99,11	
11	177-210	193,5	0,279	0,379	0,49	0,49	99,61	99,60	
12	210-297	253,5	0,125	0,175	0,22	0,23	99,83	99,83	
13	297-355	326,0	0,094	0,133	0,17	0,17	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial:	84,76	
							Final:	91,48	
Desvio (%):							-7,34		



Amostra: teste 41 - leito ini.			Malvern	Amostra: teste 41 - leito fin.			Malvern
Material:	FCC		Difração à Laser	Material:	FCC		Difração à Laser
n	d _i (microns)		X _i (%)	n	d _i (microns)		X _i (%)
1	5,80		0,0	1	5,80		0,0
2	6,24		0,0	2	6,24		0,0
3	17,20		0,1	3	17,20		0,1
4	18,50		0,1	4	18,50		0,1
5	19,90		0,1	5	19,90		0,1
6	21,40		0,1	6	21,40		0,2
7	23,10		0,1	7	23,10		0,3
8	24,80		0,3	8	24,80		0,5
9	26,70		0,5	9	26,70		0,7
10	28,70		0,8	10	28,70		1,0
11	30,80		1,1	11	30,80		1,3
12	33,20		1,5	12	33,20		1,7
13	35,70		2,1	13	35,70		2,2
14	38,40		2,7	14	38,40		2,8
15	41,20		3,6	15	41,20		3,6
16	44,40		4,9	16	44,40		4,8
17	47,70		7,0	17	47,70		6,7
18	51,30		10,1	18	51,30		9,5
19	55,20		14,3	19	55,20		13,4
20	59,30		19,7	20	59,30		18,3
21	63,80		25,9	21	63,80		24,1
22	68,60		32,7	22	68,60		30,7
23	73,80		40,1	23	73,80		37,8
24	79,30		48,0	24	79,30		45,4
25	85,30		56,1	25	85,30		53,3
26	91,70		64,3	26	91,70		61,1
27	98,60		72,1	27	98,60		68,6
28	106,00		79,3	28	106,00		75,5
29	114,00		85,4	29	114,00		81,3
30	123,00		90,1	30	123,00		86,0
31	132,00		93,6	31	132,00		89,7
32	142,00		96,2	32	142,00		92,4
33	153,00		98,0	33	153,00		94,5
34	164,00		99,1	34	164,00		96,1
35	176,00		99,7	35	176,00		97,3
36	190,00		99,9	36	190,00		98,1
37	273,00		100,0	37	392,00		100,0
Diâmetro médio:		80,78 microns		Diâmetro médio:		82,77 microns	

Amostra: teste 41 - válv. amost.		Malvern
Material:	FCC	Difração à Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	7,15	0,0
2	7,69	0,1
3	14,80	0,4
4	15,90	0,8
5	17,10	1,4
6	18,40	2,3
7	19,80	3,3
8	21,30	4,0
9	22,90	4,4
10	24,60	4,5
11	26,40	4,5
12	28,40	4,5
13	30,60	4,5
14	32,90	4,8
15	35,40	5,8
16	38,00	8,5
17	40,90	13,5
18	44,00	20,1
19	47,30	28,0
20	50,80	36,5
21	54,70	45,4
22	58,80	54,3
23	63,20	63,0
24	68,00	71,1
25	73,10	78,7
26	78,60	85,6
27	84,50	91,6
28	90,90	95,9
29	97,80	98,2
30	105,00	99,2
31	113,00	99,6
32	122,00	99,8
33	131,00	99,9
34	141,00	100,0
35	151,00	100,0
Diâmetro médio:		56,75 microns

Amostra: teste 41 - filtro		Malvern
Material:	FCC	Difração à Laser
n	d _i (microns)	X _i (%)
1	1,22	2,3
2	1,31	2,6
3	2,18	6,4
4	2,34	7,6
5	2,52	8,9
6	2,71	10,3
7	2,91	11,9
8	3,13	13,5
9	3,37	15,1
10	3,62	16,8
11	3,89	18,5
12	4,19	20,2
13	4,50	22,0
14	4,84	23,8
15	5,21	25,8
16	5,60	27,9
17	6,02	30,1
18	6,48	32,3
19	6,97	34,6
20	7,49	37,0
21	8,05	39,4
22	8,66	41,8
23	9,31	44,4
24	10,00	47,0
25	10,80	49,9
26	11,60	52,9
27	12,50	56,1
28	13,40	59,1
29	14,40	62,1
30	15,50	64,9
31	16,70	67,5
32	17,90	70,1
33	19,30	72,4
34	20,70	74,7
35	22,30	76,8
36	24,00	78,7
37	25,80	80,5
38	27,70	82,2
39	29,80	83,9
40	42,80	92,6
41	46,10	94,3
42	49,50	95,8
43	88,60	100,0
Diâmetro médio:		10,79 microns

TESTE 42

TESTE:	42	HORA:	9:45
Temperatura ambiente (oC):	21	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	02/07/97
Condições operacionais:			
.Inventário inicial no leito (g):	55000	.Massa coletada no filtro (g):	516,6
.Inventário final no leito (g):	55908	.Altura do topo da coluna (m):	1,0
.Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	20,85	.Altura do leito estático (mm):	220
.Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	19,49	.Altura do leito expandido (mm):	350
.Fluxo de arraste (kg/m2s):	0,07235	.Temperatura do ar (oC):	50

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:**Coluna de fluidização 01 (mmCA man):**

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	25(*)	z =	0,90	66
	0,10	109		1,33	-
	0,20	106		1,66	-
	0,30	75		2,33	-
	0,40	72		2,66	-
	0,50	71		3,33	-
	0,60	70		3,66	-
	0,70	67		4,33	-
	0,80	66		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	49
Saída	40
Perna	43

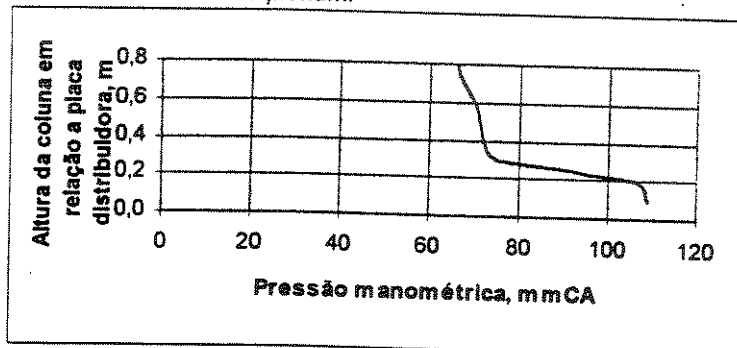
Medida de vazão do ar de fluidização:

.Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	28
.Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	56
.Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,3

Observações:

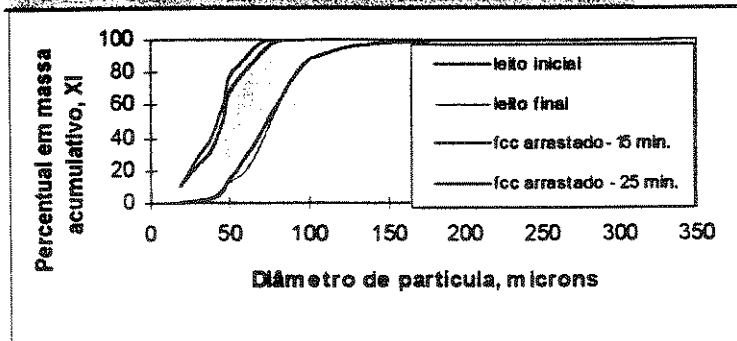
Altura da coluna de recirculação de sólidos: abaixo do tubo de acrílico.

Acúmulo de sólidos no plenum.



Amostras: teste 42 - coletada pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.								Material:	FCC
M (g) - 15 min.: 65,155		M (g) - 25 min.: 72,420						t (min):	10
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi 15 min (g)	mi 25 min (g)	xi 15 min (%)	xi 25 min (%)	Xi 15 min (%)	Xi 25 min (%)	Xi médio (%)
1	< 38	19,0	6,886	8,425	10,57	11,63	10,57	11,63	11,26
2	38-45	41,5	18,222	25,966	27,97	35,85	38,54	47,49	43,01
3	45-53	49,0	18,077	21,153	27,74	29,21	66,28	76,70	71,49
4	53-65	59,0	9,682	9,176	14,86	12,67	81,14	89,37	85,25
5	65-75	70,0	7,685	7,176	11,79	9,91	92,94	99,28	96,11
6	75-88	81,5	4,530	0,475	6,95	0,66	99,89	99,93	99,91
7	88-105	96,5	0,073	0,049	0,11	0,07	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.: 43,42		
							25 min.: 41,03		
							médio: 42,22		
Desvio (%):							5,83		

Amostras: teste 42 - leito denso inicial e final								Material:	FCC
M (g) - inicial: 75,919		M (g) - final: 65,216						t (min):	10
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi inicial (g)	mi final (g)	xi inicial (%)	xi final (%)	Xi inicial (%)	Xi final (%)	
1	< 38	19,0	0,621	0,445	0,82	0,68	0,82	0,68	
2	38-45	41,5	3,356	2,069	4,42	3,17	5,24	3,85	
3	45-53	49,0	7,140	5,227	9,40	8,01	14,64	11,87	
4	53-65	59,0	10,516	5,308	13,85	8,14	28,49	20,01	
5	65-75	70,0	12,464	11,339	16,42	17,39	44,91	37,40	
6	75-88	81,5	14,965	16,274	19,71	24,95	64,62	62,35	
7	88-105	96,5	15,216	15,637	20,04	23,98	84,67	86,33	
8	105-125	115,0	6,732	5,203	8,87	7,98	93,53	94,31	
9	125-149	137,0	3,017	2,278	3,97	3,49	97,51	97,80	
10	149-177	163,0	1,172	0,937	1,54	1,44	99,05	99,23	
11	177-210	193,5	0,386	0,277	0,51	0,42	99,56	99,66	
12	210-297	253,5	0,181	0,122	0,24	0,19	99,80	99,85	
13	297-355	326,0	0,153	0,100	0,20	0,15	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial: 78,48		
							Final: 82,17		
Desvio (%):							-4,49		



TESTE 43

TESTE:	43	HORA:	14:57
Temperatura ambiente (oC):	23	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	27/06/97
Condições operacionais:			
Inventário inicial no leito (g):	70000	Massa coletada no filtro (g):	99,26
Inventário final no leito (g):	70103	Altura do topo da coluna (m):	1,0
Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	19,73	Altura do leito estático (mm):	280
Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	18,38	Altura do leito expandido (mm):	350
Fluxo de arraste (kg/m2s):	0,06759	Temperatura do ar (oC):	45

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:**Coluna de fluidização 01 (mmCA man):****Altura em relação ao distribuidor de ar, m:**

z =	-0,10	27(*)	z =	0,90	60
	0,10	183		1,33	-
	0,20	141		1,66	-
	0,30	66		2,33	-
	0,40	67		2,66	-
	0,50	64		3,33	-
	0,60	64		3,66	-
	0,70	60		4,33	-
	0,80	59		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	34
Salida	26
Perna	34

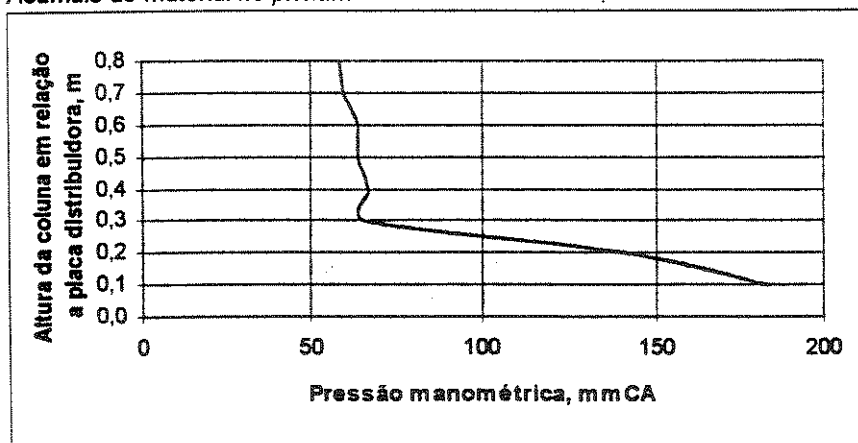
Medida de vazão do ar de fluidização:

Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	31
Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	57
Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,3

Observações:

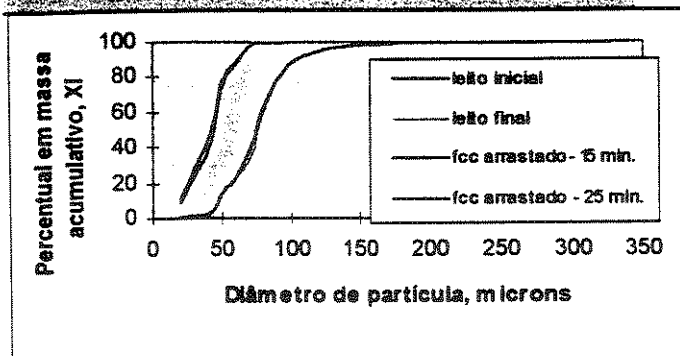
Altura da coluna de recirculação de sólidos: abaixo do tubo de acrílico.

Acúmulo de material no plenum



Amostras: teste 43 - coletada pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.							Material:	FCC	
M (g) - 15 min.:		62,530	M (g) - 25 min.:		57,659	t (min):	10		
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi 15 min (g)	mi 25 min (g)	xi 15 min (%)	xi 25 min (%)	Xi 15 min (%)	Xi 25 min (%)	Xi médio (%)
1	< 38	19,0	7,336	5,001	11,73	8,67	11,73	8,67	10,23
2	38-45	41,5	23,489	19,745	37,56	34,24	49,30	42,92	46,11
3	45-53	49,0	17,240	17,925	27,57	31,09	76,87	74,01	75,44
4	53-65	59,0	7,293	7,689	11,66	13,34	88,53	87,34	87,94
5	65-75	70,0	6,411	6,587	10,25	11,42	98,78	98,77	98,77
6	75-88	81,5	0,672	0,605	1,07	1,05	99,86	99,81	99,84
7	88-105	96,5	0,089	0,107	0,14	0,19	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.:	40,91	
							25 min.:	43,10	
							médio:	42,01	
							Desvio (%):	-5,07	

Amostras: teste 43 - leito denso inicial e final							Material:	FCC
M (g) - inicial:		70,332	M (g) - final:		64,386		t (min):	10
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi inicial (g)	mi final (g)	xi inicial (%)	xi final (%)	Xi inicial (%)	Xi final (%)
1	< 38	19,0	0,408	0,469	0,58	0,73	0,58	0,73
2	38-45	41,5	2,400	2,710	3,41	4,21	3,99	4,94
3	45-53	49,0	6,781	5,419	9,64	8,42	13,63	13,35
4	53-65	59,0	6,975	6,133	9,92	9,53	23,55	22,88
5	65-75	70,0	12,623	8,393	17,95	13,04	41,50	35,91
6	75-88	81,5	17,378	18,120	24,71	28,14	66,21	64,06
7	88-105	96,5	14,583	14,423	20,73	22,40	86,94	86,46
8	105-125	115,0	5,326	5,279	7,57	8,20	94,51	94,66
9	125-149	137,0	2,346	2,100	3,34	3,26	97,85	97,92
10	149-177	163,0	0,905	0,826	1,29	1,28	99,14	99,20
11	177-210	193,5	0,299	0,286	0,43	0,44	99,56	99,65
12	210-297	253,5	0,166	0,123	0,24	0,19	99,80	99,84
13	297-355	326,0	0,142	0,105	0,20	0,16	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial:	79,12
							Final:	80,86
							Desvio (%):	-2,15



TESTE 44

TESTE:	44	HORA:	14:00
Temperatura ambiente (oC):	22	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	30/06/97
Condições operacionais:			
.Inventário inicial no leito (g):	80000	.Massa coletada no filtro (g):	36,08
.Inventário final no leito (g):	80000(*)	.Altura do topo da coluna (m):	1,0
.Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	21,42	.Altura do leito estático (mm):	320
.Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	22,26	.Altura do leito expandido (mm):	450
.Fluxo de arraste (kg/m2s):	0,07731	.Temperatura do ar (oC):	50

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:**Coluna de fluidização 01 (mmCA man):**

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	30(*)	z =	0,90	60
	0,10	140		1,33	-
	0,20	140		1,66	-
	0,30	96		2,33	-
	0,40	65		2,66	-
	0,50	65		3,33	-
	0,60	60		3,66	-
	0,70	60		4,33	-
	0,80	60		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	45
Salda	37
Perna	41

Medida de vazão do ar de fluidização:

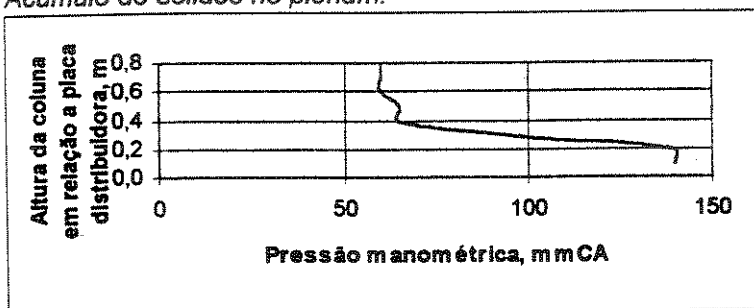
.Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	32
.Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	56
.Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,3

Observações:

Altura da coluna de recirculação de sólidos: abaixo do tubo de acrílico.

(*) Não foi possível realizar o balanço de massa total - descarte sem pesagem.

Acúmulo de sólidos no plenum.



Amostras: teste 44 - coletada pela válvula de amost. aos 25 e 27 min.							Material:	FCC	
M (g) - 25 min.:		63,983	M (g) - 27 min.:		63,983		t (min):	10	
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi 25 min (g)	mi 27 min (g)	xi 25 min (%)	xi 27 min (%)	Xi 25 min (%)	Xi 27 min (%)	Xi médio (%)
1	< 38	19,0	6,972	6,972	10,90	10,90	10,90	10,90	10,91
2	38-45	41,5	20,831	20,831	32,56	32,56	43,45	43,45	43,45
3	45-53	49,0	20,708	20,708	32,36	32,36	75,82	75,82	75,82
4	53-65	59,0	7,714	7,714	12,06	12,06	87,87	87,87	87,87
5	65-75	70,0	6,422	6,422	10,04	10,04	97,91	97,91	97,91
6	75-88	81,5	1,157	1,157	1,81	1,81	99,72	99,72	99,72
7	88-105	96,5	0,179	0,179	0,28	0,28	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							25 min.:	41,82	
							27 min.:	41,82	
							médio:	41,82	
Desvio (%):							0,00		

Amostras: teste 44 - leite denso inicial e final							Material:	FCC
M (g) - inicial:		70,753	M (g) - final:		68,996		t (min):	10
n	Abert. peneiras (microns)	d _i (microns)	m _i inicial (g)	m _i final (g)	x _i inicial (%)	x _i final (%)	X _i inicial (%)	X _i final (%)
1	< 38	19,0	0,551	0,763	0,78	1,11	0,78	1,11
2	38-45	41,5	2,404	3,150	3,40	4,57	4,18	5,67
3	45-53	49,0	5,431	6,040	7,68	8,75	11,85	14,43
4	53-65	59,0	5,472	7,723	7,73	11,19	19,59	25,62
5	65-75	70,0	11,436	8,692	16,16	12,60	35,75	38,22
6	75-88	81,5	18,243	16,846	25,78	24,42	61,53	62,63
7	88-105	96,5	16,160	15,843	22,84	22,96	84,37	85,59
8	105-125	115,0	6,633	5,845	9,37	8,47	93,75	94,07
9	125-149	137,0	2,595	2,466	3,67	3,57	97,42	97,64
10	149-177	163,0	1,158	1,002	1,64	1,45	99,05	99,09
11	177-210	193,5	0,384	0,343	0,54	0,50	99,60	99,59
12	210-297	253,5	0,173	0,156	0,24	0,23	99,84	99,82
13	297-355	326,0	0,113	0,127	0,16	0,18	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial:	82,71
							Final:	79,74
							Desvio (%):	3,73

Obs.: foram coletadas amostras pela válvula aos 15, 25 e 27 min.. Contudo, apenas as duas últimas amostras foram passíveis de análise.

TESTE 45

TESTE:	45	HORA:	10:10
Temperatura ambiente (oC):	18	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	01/07/97
Condições operacionais:			
.Inventário inicial no leito (g):	90000	.Massa coletada no filtro (g):	76,94
.Inventário final no leito (g):	90103	.Altura do topo da coluna (m):	1,0
.Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	20,12	.Altura do leito estático (mm):	360
.Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	20,04	.Altura do leito expandido (mm):	450
.Fluxo de arraste (kg/m2s):	0,07117	.Temperatura do ar (oC):	50

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:**Coluna de fluidização 01 (mmCA man):**

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	32(*)	z =	0,90	58
	0,10	235		1,33	-
	0,20	147		1,66	-
	0,30	113		2,33	-
	0,40	70		2,66	-
	0,50	64		3,33	-
	0,60	61		3,66	-
	0,70	60		4,33	-
	0,80	59		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	39
Saída	29
Perna	31

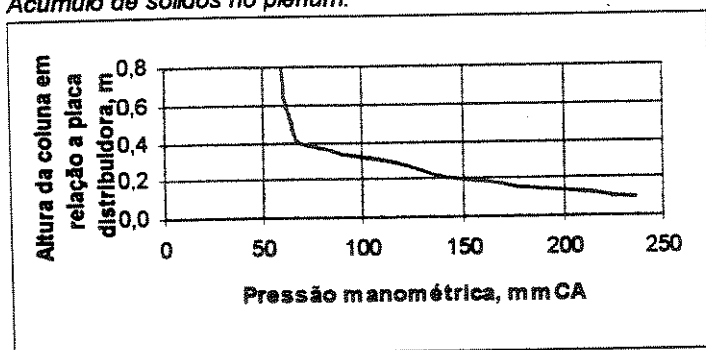
Medida de vazão do ar de fluidização:

.Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	36
.Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	57
.Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,3

Observações:

Altura da coluna de recirculação de sólidos: 720 mm.

Acúmulo de sólidos no plenum.



Amostras: teste 45 - coletada pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.									Material: FCC
M (g) - 15 min.: 64,381			M (g) - 25 min.: 58,722			t (min): 10			
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi 15 min (g)	mi 25 min (g)	xi 15 min (%)	xi 25 min (%)	Xi 15 min (%)	Xi 25 min (%)	Xi médio (%)
1	< 38	19,0	4,080	8,847	6,34	15,07	6,34	15,07	10,72
2	38-45	41,5	20,713	18,324	32,17	31,20	38,51	46,27	42,39
3	45-53	49,0	19,221	19,219	29,86	32,73	68,36	79,00	73,68
4	53-65	59,0	10,251	6,855	15,92	11,67	84,29	90,67	87,48
5	65-75	70,0	8,612	4,506	13,38	7,67	97,66	98,35	98,01
6	75-88	81,5	1,288	0,724	2,00	1,23	99,66	99,58	99,62
7	88-105	96,5	0,216	0,247	0,34	0,42	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.: 45,31		
							25 min.: 39,37		
							médio: 42,34		
							Desvio (%): 15,07		

Amostras: teste 45 - leite denso inicial e final									Material: FCC
M (g) - inicial: 71,747			M (g) - final: 59,709			t (min): 10			
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi inicial (g)	mi final (g)	xi inicial (%)	xi final (%)	Xi inicial (%)	Xi final (%)	
1	< 38	19,0	0,616	0,486	0,86	0,81	0,86	0,81	
2	38-45	41,5	2,822	2,202	3,93	3,69	4,79	4,50	
3	45-53	49,0	6,306	4,119	8,79	6,90	13,58	11,40	
4	53-65	59,0	7,715	5,608	10,75	9,39	24,33	20,79	
5	65-75	70,0	12,031	10,541	16,77	17,65	41,10	38,45	
6	75-88	81,5	15,204	15,458	21,19	25,89	62,29	64,34	
7	88-105	96,5	17,194	12,806	23,96	21,45	86,26	85,78	
8	105-125	115,0	5,724	4,903	7,98	8,21	94,24	93,99	
9	125-149	137,0	2,537	2,152	3,54	3,60	97,77	97,60	
10	149-177	163,0	0,990	0,880	1,38	1,47	99,15	99,07	
11	177-210	193,5	0,325	0,299	0,45	0,50	99,61	99,57	
12	210-297	253,5	0,166	0,150	0,23	0,25	99,84	99,82	
13	297-355	326,0	0,117	0,105	0,16	0,18	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial: 79,25		
							Final: 81,71		
							Desvio (%): -3,02		

TESTE 46

TESTE:	46	HORA:	15:00
Temperatura ambiente (oC):	21	Pressão ambiente (bar):	1,0
Duração (min):	30	Data:	01/07/97
Condições operacionais:			
.Inventário inicial no leito (g):	100000	.Massa coletada no filtro (g):	380,21
.Inventário final no leito (g):	100086	.Altura do topo da coluna (m):	1,0
.Taxa de arraste (g/s) - 15 min.:	21,43	.Altura do leito estático (mm):	400
.Taxa de arraste (g/s) - 25 min.:	20,82	.Altura do leito expandido (mm):	550
.Fluxo de arraste (kg/m2s):	0,07546	.Temperatura do ar (oC):	50

Distribuição de pressão ao longo do sistema experimental:**Coluna de fluidização 01 (mmCA man):**

Altura em relação ao distribuidor de ar, m:

z =	-0,10	35(*)	z =	0,90	70
	0,10	262		1,33	-
	0,20	230		1,66	-
	0,30	138		2,33	-
	0,40	117		2,66	-
	0,50	80		3,33	-
	0,60	76		3,66	-
	0,70	71		4,33	-
	0,80	71		4,66	-

(*) mmHg

Pressão ao longo do ciclone (mmCA man):

Entrada	50
Saída	40
Perna	45

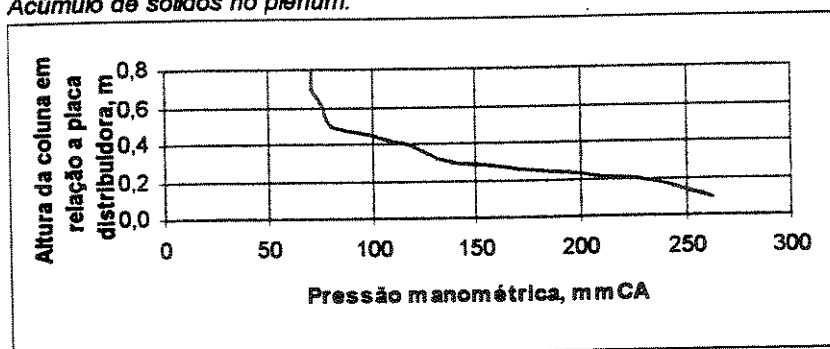
Medida de vazão do ar de fluidização:

.Pressão à montante da placa de orifício (mmHg man):	39
.Diferença de pressão na placa de orifício (mmCA):	56
.Velocidade superficial de fluidização (m/s):	0,3

Observações:

Altura da coluna de recirculação de sólidos: 1005 mm.

Acúmulo de sólidos no plenum.



Amostras: teste 46 - coleta pela válvula de amost. aos 15 e 25 min.

Material: FCC

Amostras: teste 40 - Córrea para teste de		M (g) - 15 min.: 72,828		M (g) - 25 min.: 70,279				t (min): 10	
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi 15 min (g)	mi 25 min (g)	xi 15 min (%)	xi 25 min (%)	Xi 15 min (%)	Xi 25 min (%)	Xi médio (%)
1	< 38	19,0	3,772	5,962	5,18	8,48	5,18	8,48	
2	38-45	41,5	21,512	19,224	29,54	27,35	34,72	35,84	35,28
3	45-53	49,0	17,495	15,141	24,02	21,54	58,74	57,38	58,06
4	53-65	59,0	11,934	13,300	16,39	18,92	75,13	76,31	75,72
5	65-75	70,0	10,156	9,747	13,95	13,87	89,07	90,17	89,62
6	75-88	81,5	7,105	6,494	9,76	9,24	98,83	99,42	99,12
7	88-105	98,5	0,854	0,411	1,17	0,58	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):							15 min.:	48,00	
							25 min.:	45,80	
							médio:	46,90	
Desvio (%):								4,81	

Amostras: teste 46 - leito denso inicial e final

Material: FCC

M (g) - inicial:		87,669	M (g) - final:		72,045				t (min):
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi inicial (g)	mi final (g)	xi inicial (%)	xi final (%)	Xi inicial (%)	Xi final (%)	
1	< 38	19,0	0,771	0,127	0,88	0,18	0,88	0,18	
2	38-45	41,5	3,558	1,653	4,06	2,29	4,94	2,47	
3	45-53	49,0	6,768	5,268	7,72	7,31	12,66	9,78	
4	53-65	59,0	8,933	7,803	10,19	10,83	22,85	20,61	
5	65-75	70,0	17,675	12,082	20,16	16,77	43,01	37,38	
6	75-88	81,5	18,969	17,300	21,64	24,01	64,65	61,40	
7	88-105	96,5	17,526	17,046	19,99	23,66	84,64	85,06	
8	105-125	115,0	8,330	6,500	9,50	9,02	94,14	94,08	
9	125-149	137,0	3,094	2,543	3,53	3,53	97,67	97,61	
10	149-177	163,0	1,322	1,127	1,51	1,56	99,18	99,17	
11	177-210	193,5	0,381	0,334	0,43	0,46	99,61	99,64	
12	210-297	253,5	0,179	0,153	0,20	0,21	99,81	99,85	
13	297-355	326,0	0,163	0,109	0,19	0,15	100,00	100,00	
Diâmetro médio de Sauter (microns):							Inicial:	80,13	
							Final:	84,98	
Desvio (%):								-5,71	

Amostras: teste 46 - leito denso final						Material:	FCC	t (min):	10		
M (g) - 100 mm:			64,321	M (g) - 200 mm:			60,847	M (g) - 300 mm:			72,933
n	Abert. peneiras (microns)	di (microns)	mi 100 (g)	mi 200 (g)	mi 300 (g)	xi 100 (%)	xi 200 (%)	xi 300 (%)	Xi 100 (%)	Xi 200 (%)	Xi 300 (%)
1	< 38	19,0	0,553	0,000	0,083	0,86	0,00	0,11	0,86	0,00	0,11
2	38-45	41,5	0,842	0,189	0,976	1,31	0,31	1,34	2,17	0,31	1,45
3	45-53	49,0	5,076	1,977	5,642	7,89	3,25	7,74	10,06	3,56	9,19
4	53-65	59,0	5,433	3,165	12,476	8,45	5,20	17,11	18,51	8,76	26,29
5	65-75	70,0	6,643	8,270	16,832	10,33	13,59	23,08	28,84	22,35	49,37
6	75-88	81,5	17,069	11,431	9,885	26,54	18,79	13,55	55,37	41,14	62,93
7	88-105	98,5	16,972	23,392	13,345	26,39	38,44	18,30	81,76	79,58	81,22
8	105-125	115,0	7,583	8,428	9,668	11,79	13,85	13,26	93,55	93,43	94,48
9	125-149	137,0	2,583	2,454	2,499	4,02	4,03	3,43	97,56	97,47	97,91
10	149-177	163,0	0,975	0,986	1,007	1,52	1,62	1,38	99,08	99,09	99,29
11	177-210	193,5	0,322	0,299	0,299	0,50	0,49	0,41	99,58	99,58	99,70
12	210-297	253,5	0,160	0,149	0,139	0,25	0,24	0,19	99,83	99,82	99,89
13	297-355	326,0	0,110	0,107	0,082	0,17	0,18	0,11	100,00	100,00	100,00
Diâmetro médio de Sauter (microns):									100 mm:	87,63	
									200 mm:	101,52	
									300 mm:	90,46	
									média:	93,20	
Desvio Padrão (microns):										3,46	

