



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ENGENHARIA QUÍMICA

LOQ4062– Laboratório de Engenharia Química III

Profa. Lívia Chaguri
E-mail: Ichaguri@usp.br

Caracterização de Partículas Sólidas

O que é um sólido particulado?

Um material composto de materiais sólidos de tamanho reduzido (partículas).

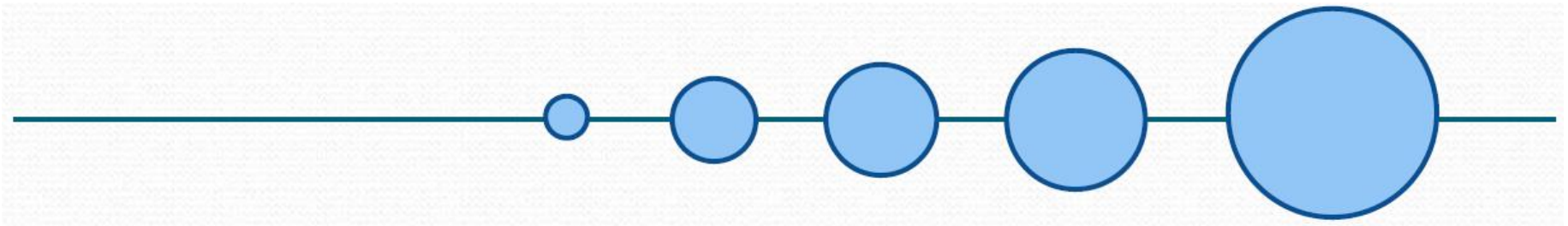


O tamanho pequeno das partículas pode ser uma característica natural do material ou pode ser devido a uma prévia fragmentação.



Tamanho de Partículas

Granulometria é o termo usado para caracterizar o tamanho das partículas de um material.



Distinguem-se pelo tamanho cinco tipos de sólidos particulados:

Pós	1 μm até 0,5 mm
Sólidos Granulares	0,5 a 10 mm
Blocos Pequenos	1 a 5 cm
Blocos Médios	5 a 15 cm
Blocos Grandes	> 15 cm

MATERIAIS HETEROGÊNEOS

- Material terá que ser separado em frações com partículas uniformes – métodos: **decantação, elutriação ou centrifugação.**
- Meio Prático: **peneiramento/tamisoamento**
- Material passa através de uma **série de peneiras com malhas progressivamente menores**, cada uma das quais retém uma parte da amostra.
- Operação: ***análise granulométrica*** - aplicável a partículas de diâmetros compreendidos entre 7 cm e 40 μm .

MATERIAIS HETEROGÊNEOS

A análise granulométrica: realizada com **peneiras padronizadas** quanto à abertura das malhas e à espessura dos fios de que são feitas.

Séries de Peneiras mais Importantes

- British Standard (BS)
- Institute of Mining and Metallurgy (IMM)
- National Bureau of Standards - Washington
- Tyler (Série Tyler) – A mais usada no Brasil



MATERIAIS HETEROGÊNEOS

- Sistema Tyler
- base é peneira de **200 fios por polegada** (200 mesh), feita com fios de 0,053 mm de espessura e abertura livre de 0,074 mm.
- Quando se passa de uma peneira para a imediatamente superior (por exemplo da de 200 mesh para a de 150 mesh), a área da abertura é multiplicada por 2 e, portanto, o lado da malha é multiplicado por $\sqrt{2}$



MATERIAIS HETEROGÊNEOS

O ensaio consiste em colocar a amostra sobre a peneira mais grossa a ser utilizada e **agitar em ensaio padronizado o conjunto de peneiras** colocadas umas sobre as outras na ordem decrescente da abertura das malhas.

Abaixo da última peneira há uma **panela que recolhe a fração mais fina** que consegue passar através de todas as peneiras da série.



MATERIAIS HETEROGÊNEOS

Malha	Abertura livre (mm)	Diâmetro do fio (mm)
3	6,680	1,78
4	4,699	1,65
6	3,327	0,914
8	2,362	0,813
10	1,651	0,899
14	1,168	0,635
20	0,833	0,437
28	0,589	0,318
35	0,417	0,310
48	0,295	0,234
65	0,208	0,183
100	0,147	0,107
150	0,104	0,066
200	0,074	0,053
Panela	< 0,074	< 0,053

Peneiras Tyler Padrão



MATERIAIS HETEROGÊNEOS

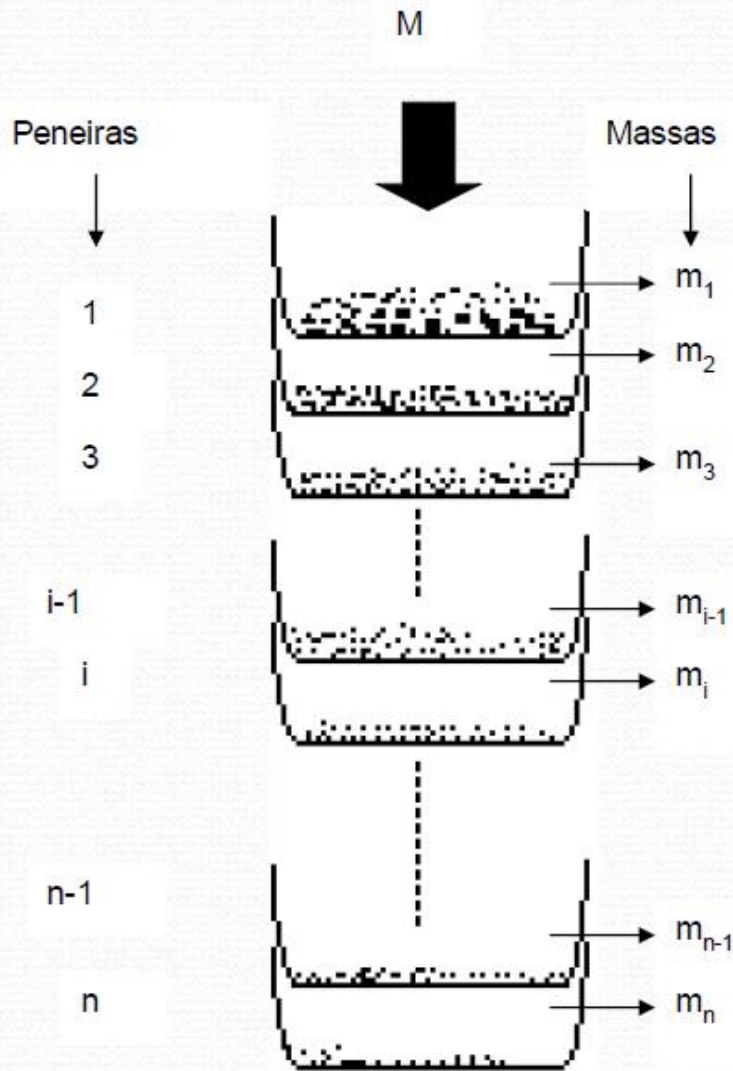


Figura 1: Frações recolhidas nas peneiras

As quantidades retidas em cada peneira e na panela são pesadas.

A fração de cada tamanho se calcula dividindo a massa retida na peneira pela massa total da amostra.

Fração retida em cada peneira:

$$x_i = \frac{m_i}{M}$$

MATERIAIS HETEROGÊNEOS

Esta fração (X_i) poderá ser caracterizada de dois modos:

1) Como a fração (X_i) que passou pela peneira $i-1$ e *ficou retida na peneira i* .

Se estas forem as peneiras 14 e 20, respectivamente, será a fração 14/20 ou $-14+20$.

2) Como a fração (X_i) representada pelas partículas de diâmetro igual a média aritmética das aberturas das malhas das peneiras i e $i-1$.

Exemplo ($-14/20$):

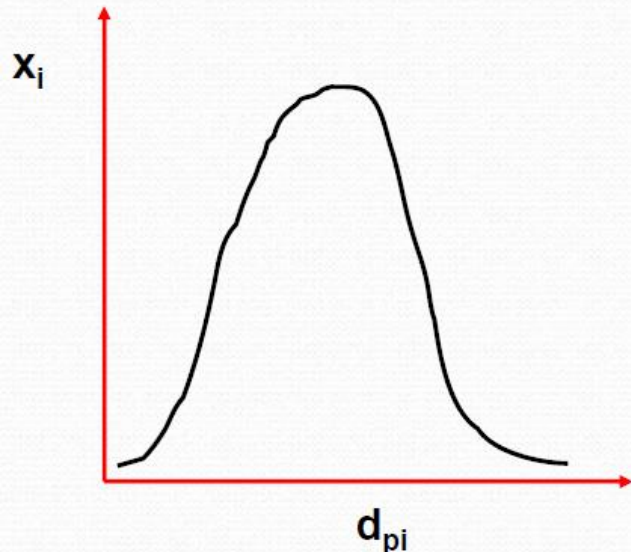
Malha	Abertura livre (mm)	Diâmetro do fio (mm)
14	1,168	0,635
20	0,833	0,437

$$\bar{D}_i = \frac{0,833 + 1,168}{2} = 1,000 \text{ mm}$$

MATERIAIS HETEROGÊNEOS

Quando temos **uma mistura de partículas de diversos diâmetros** - definir um **diâmetro médio** que represente esse material.

Uma mistura que contem frações com N_i partículas de diâmetro d_{pi} equivalente d_{eq} (se forem esféricas seria dp_i) pode apresentar uma distribuição granulométrica com a seguinte forma:



x_i = Fração mássica de partículas de diâmetro d_{pi}

Diâmetro médio da partícula

Série Tyler

$$\bar{D}_p = \frac{1}{\sum_i \frac{X_n}{a_n}} \quad (1)$$

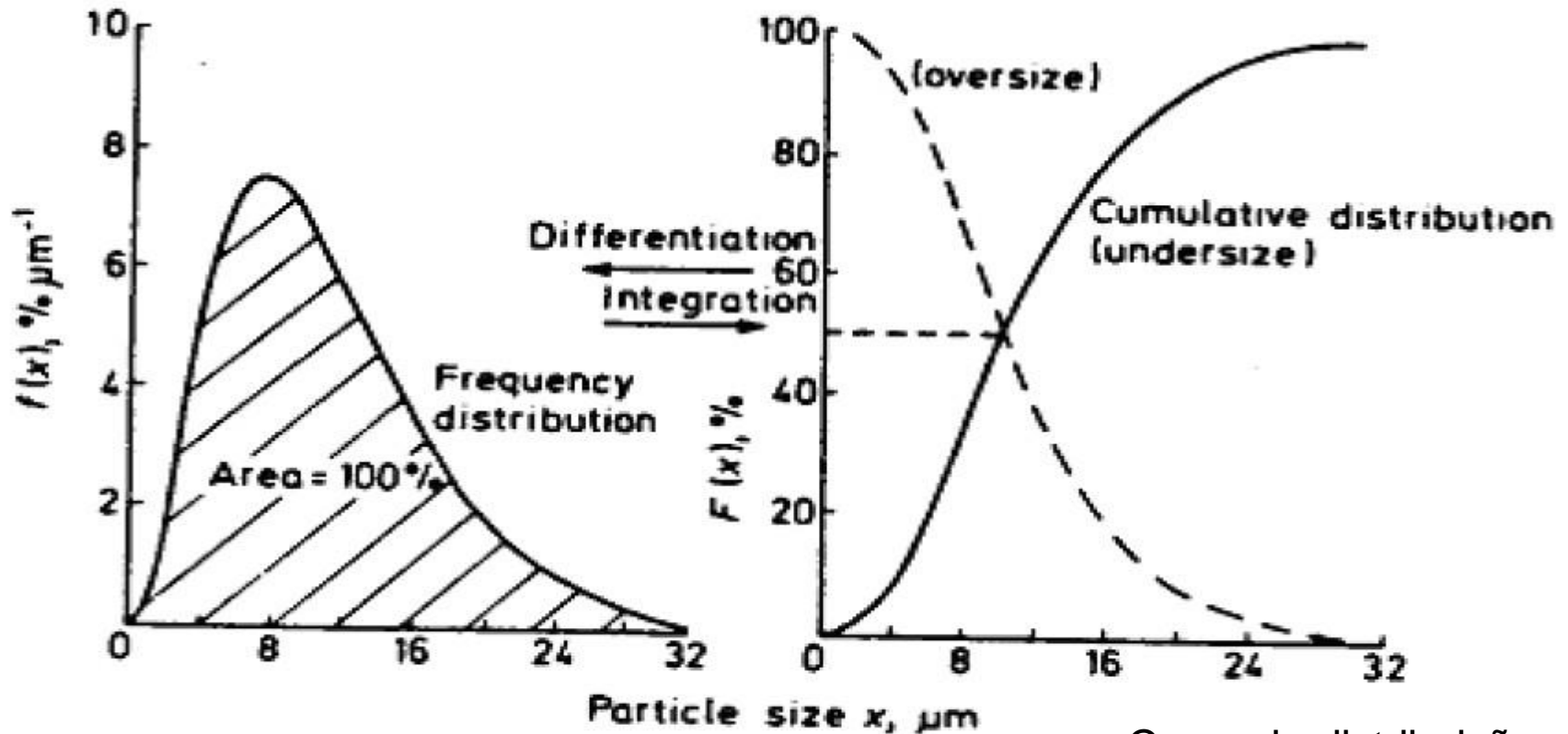
X_n é a fração mássica retida na peneira n (kg/kg total);

—

a_n é a média entre a abertura de duas peneiras (mm)

Análise granulométrica

- Independente da técnica de medida de tamanho da partícula, a distribuição de tamanhos ou granulometria é expressa, usualmente, em função da frequência relativa das partículas que detêm certo diâmetro.

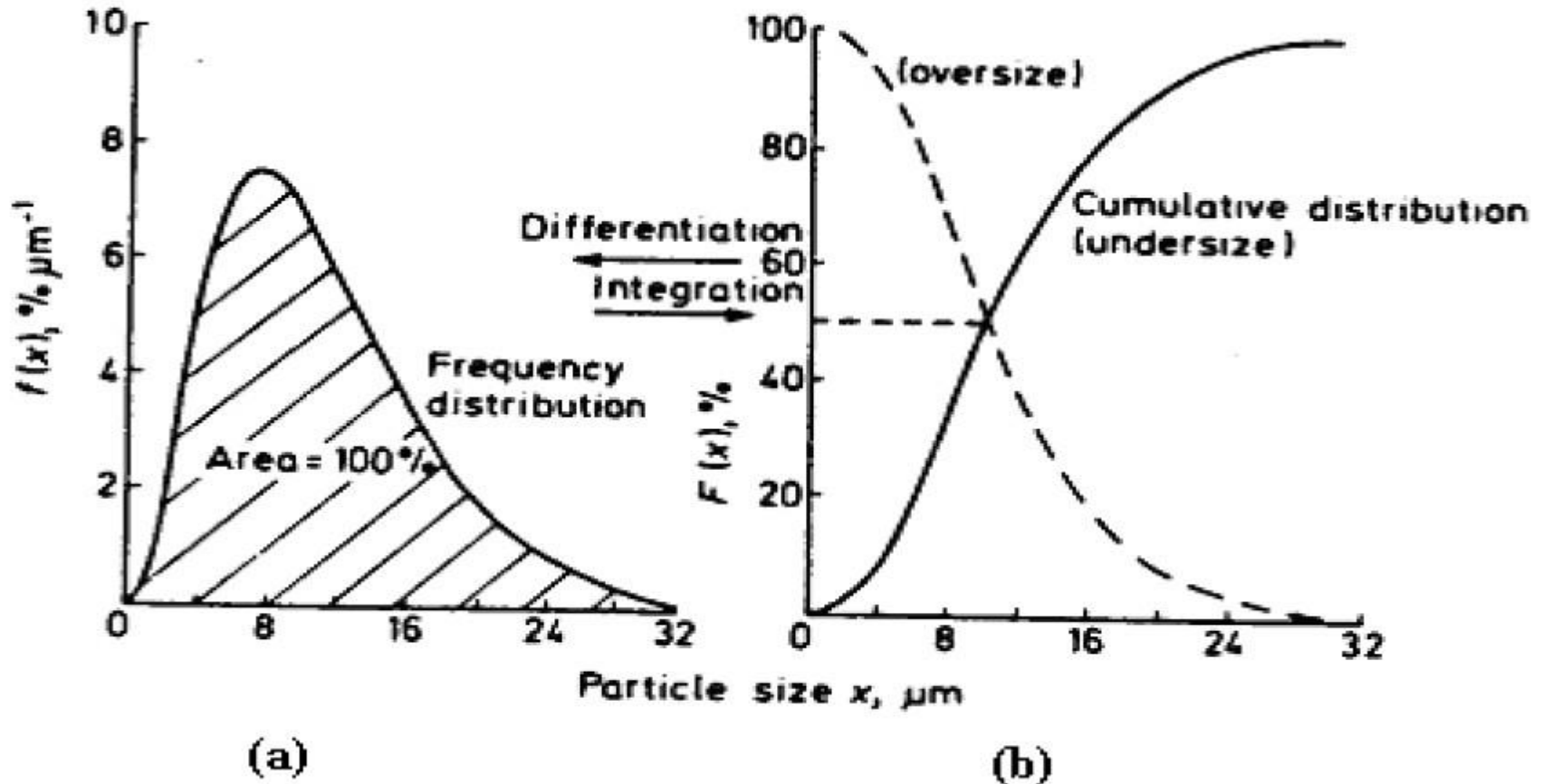


(a) Curva de frequência

(b) Curva de distribuição cumulativa

Análise granulométrica

- Distribuição de tamanhos ou granulometria - expressa pela fração cumulativa de partículas que possuem diâmetro maior e menor que um **valor médio** da partícula em um intervalo de 0 a 100 % de grandeza acumulada.



Análise granulométrica

Acumulado de Xn ou
100-sequencia de cada peneira

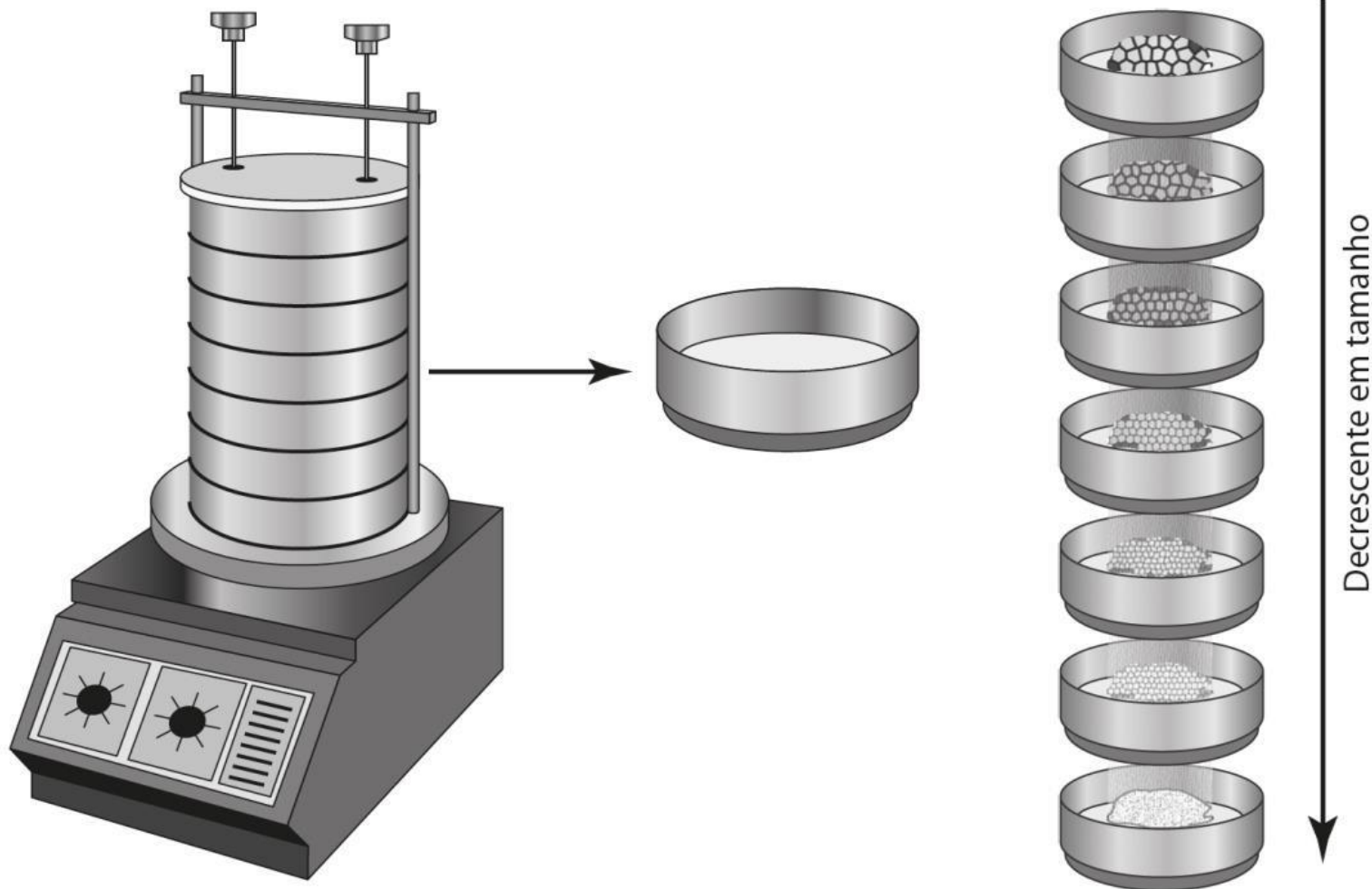
Peneiras (Mesh)	Xn (100%)	an médio (µm)	Frequencia (%) φ> (maior-passante)	Frequencia (%) φ< (menor-retido)
-65+80	0	213,5	100	0
-80+100	1,29	163,0	98,71	1,29
-100+120	5,93	137,0	92,78	7,22
-120+140	9,70	115,0	83,08	16,92
-140+170	14,16	96,5	68,92	31,08
-170+200	16,97	81,0	51,95	48,05
-200+230	15,21	68,5	36,74	63,26
-230+270	14,32	58,0	22,42	77,58
-270+325	11,21	48,5	11,21	88,79
-325+400	6,18	40,5	5,03	94,97
-400	5,03	18,5 fundo	0 (fundo)	100

Experimental

- Moer 500 g de argila seca (moedor de porcelana/pistilo)
- Pesar 350 g de argila seca (balança analítica 0,01 g).
- Montar e pesar as peneiras da **série Tyler: 400 a 35 Mesh.**
- Colocar a massa pesada da argila na Peneira. Fechar o sistema.
- Agitar as peneiras (mesa de agitação) por 20 min.
- Pesar cada peneira e o fundo.
- Limpar as peneiras com um pincel.



Agitar por 20 min o conjunto de peneiras



Agitador eletromagnético e peneiras para análise granulométrica

Distribuição das partículas nas peneiras

Figura 6.8 Representação de um peneiramento em escala de laboratório (baseada em BERTEL, 2006).

Dados Experimentais

Mesh Sistema Tyler	Massa retida (g)	X(n)%	Frequencia (%) $\phi>$	Frequencia (%) $\phi<$
35	84,67			
48	75,75			
65	59,53			
100	32,80			
115*	18,05			
150	15,34			
170*	12,98			
200	11,89			
270	10,01			
325	19,93			
Fundo	5,62			

Relatório

- Determinar diâmetro da partícula pela fórmula;
- Fazer curva de distribuição de tamanho ($X_n \times D_p$);
- Fazer curva cumulativa de tamanho maior e menor;
- Determinar diâmetro médio da partícula pelo gráfico;
- Classificar o material analisado (5 tipos de sólidos granulares);
- O material ou parte dele, poderia/deveria ser analisado por outra técnica? Qual?
- Analisar os resultados, descrever o comportamento dos resultados, erros, concluir sobre os resultados!
- Entrega: relatório e planilha de cálculo com dados experimentais via classroom

$$\bar{D}_p = \frac{1}{\sum_i \frac{X_n}{a_n}}$$

