



**Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de Lorena**

**LABORATÓRIO DE
ENGENHARIA QUÍMICA III
LOQ4062 – Turma 20251N3 – Engenharia Química**



**APRESENTAÇÃO
DA DISCIPLINA**

PROF. ANTONIO CARLOS DA SILVA

OBJETIVOS DA DISCIPLINA

Proporcionar aos alunos a realização de experimentos práticos relacionados aos conceitos teóricos de Operações Unitárias I, II e III. As atividades no laboratório incluirão a montagem dos equipamentos, a leitura dos dados e a interpretação de resultados no campo das operações unitárias. desenvolver a capacidade de trabalho em grupo, colocando o aluno em contato com equipamentos de engenharia, cujas atividades poderão incluir a montagem e/ou utilização de equipamentos existentes.

Nos experimentos, os alunos farão as verificações necessárias para o desenvolvimento dos cálculos e interpretação de resultados, sobre operações unitárias.

EXPERIMENTOS

- 1: Cominuição e classificação de sólidos (peneiração).
- 2: Filtração.
- 3: Agitação de líquidos.
- 4: Trocadores de calor.
- 5: Destilação.
- 6: Evaporação.
- 7: Absorção.
- 8: Extração líquido-líquido.

CONDUÇÃO DA DISCIPLINA

- Serão abordados os seis experimentos da ementa ao longo do semestre, em quatro aulas experimentais. Para cada experimento os alunos deverão apresentar o relatório do experimento.
- Na aula inicial serão apresentados os fundamentos dos primeiros experimentos. Os experimentos serão realizados no Laboratório de Engenharia, próximo à Biblioteca.
- Será dada pelo professor uma explicação inicial do experimento na bancada.



CONDUÇÃO DA DISCIPLINA

- A cada aula experimental, poderão participar um ou dois grupos. Quando estiverem presentes dois grupos, cada grupo realizará um experimento diferente.
- Deverão ser constituídos 3 grupos de 4 alunos (os trabalhos requerem a participação da equipe).
- Constituição dos grupos: livre.
- A cada experimento realizado o Grupo deverá elaborar um relatório. O relatório deverá ser enviado ao professor até o dia da próxima aula da disciplina (através do e-mail do professor: antoniocsilva@usp.br) .

CONDUÇÃO DA DISCIPLINA

- Para cada experimento, deverá ser apresentado um relatório, seguindo modelo que será disponibilizado.
- O Relatório deve conter os seguintes tópicos:
 - Capa (contendo o logo da EEL, Título do Experimento, Componentes do Grupo, identificação da Turma e Ano)
 - Introdução (contendo uma descrição do experimento)
 - Fundamentação Teórica (descrição dos fundamentos dos fenômenos envolvidos, baseada em referências bibliográficas, contendo ilustrações e equações aplicáveis)

CONDUÇÃO DA DISCIPLINA

- O Relatório deverá conter os seguintes tópicos:
 - Equipamentos e instrumentos empregados (com fotos)
 - Procedimento experimental (descrição dos procedimentos transcritos do roteiro a ser disponibilizado pelo professor)
 - Resultados (apresentações dos cálculos realizados segundo indicação do roteiro do professor, quando apropriado ilustrado por tabelas e gráficos)

CONDUÇÃO DA DISCIPLINA

- O Relatório deve conter os seguintes tópicos:
 - Conclusão (com análise dos resultados obtidos em relação aos resultados esperados e discussão de possíveis fatores responsáveis pelas discrepâncias, como erros experimentais, limitação dos equipamentos e instrumentos, condições ambientais, etc.)

CONDUÇÃO DA DISCIPLINA

- **Notas:**
- **P1 – será uma média aritmética das notas atribuídas aos 4 relatórios (serão corrigidos quanto ao cumprimento de todos os itens do relatório conforme modelo, conteúdo dos itens)**
- **P2 – prova a ser aplicada ao final do semestre, versando sobre os experimentos realizados**
- **Nota Final: $(\text{Nota P1}) \cdot 0,6 + (\text{Nota P2}) \cdot 0,4$**

CONDUÇÃO DA DISCIPLINA

- **Observações:**
- **Será exigida presença no dia da realização do experimento.**
- **Caso o aluno falte, a nota do relatório do experimento será a do Grupo dividida por dois (considere que metade da nota é referente à realização do experimento e metade referente ao relatório)**

CONDUÇÃO DA DISCIPLINA

- Prova da Disciplina: dia 10/06/2025 – 19:00 h
- Duração: 90 minutos
- Questões conceituais e questões de cálculos semelhantes aos dos relatórios.

PROGRAMAÇÃO DE AULAS DE LEQ III - Turma 20251N3

Aula		Grupo I Cindy Aimi Yamamoto Salazar Laís da Costa Motta Pinto Pedro Henrique Cunha de Almeida Stella Sobrinho Lacerda	Grupo II Gabriela Mayumi Lencina Takamine Giovanna Ebihara Ziemba Vera Vinicius Gomes Palhares Maria Rita Fadel da Silva	Grupo III André Conti Ortigossa João Marcos Ribeiro Farah Silva Matheus Antonio dos Santos Silva Veronica Aparecida Molena
1	25/fev	Aula inicial /Aula Teórica - Fundamentos Peneiração e Redução de Tamanho		
2	11/mar	Experimento 1: Peneiração e Redução de Tamanho		
3	18/mar	Entrega Relatório 1	Experimento 1: Peneiração e Redução de Tamanho	
4	25/mar		Entrega Relatório 1	Experimento 1: Peneiração e Redução de Tamanho
5	01/abr	Aula Teórica - Fundamentos Filtração e Troca de Calor		
6	08/abr	Aula Teórica - Fundamentos Agitação e Destilação		
7	22/abr	Experimento 2: Filtração		Entrega Relatório 1
8	29/abr	Entrega Relatório 2	Experimento 2: Filtração	
9	06/mai		Entrega Relatório 2	Experimento 2: Filtração
10	13/mai	Experimento 3: Agitação e Trocador de Calor	Experimento 4: Destilação	Entrega Relatório 2
11	20/mai	Entrega Relatório 3	Experimento 3: Agitação e Trocador de Calor	Experimento 4: Destilação
12	27/mai	Experimento 4: Destilação	Entrega Relatórios 3 e 4	Experimento 3: Agitação e Trocador de Calor
13	03/jun	Entrega Relatório 4		Entrega Relatórios 3 e 4
14	10/jun	PROVA FINAL		
15	24/jun	Divulgação das Notas		

FUNDAMENTOS DOS EXPERIMENTOS

(Aulas de 11, 18 e 25 de março)





Aula experimental 1

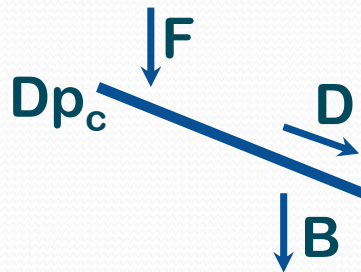
Sólidos particulados: peneiração

PENEIRAÇÃO

- **Separação de partículas de acordo com o tamanho**
- **Peneiras industriais: barras metálicas, telas, chapas metálicas perfuradas ou com ranhuras**
- **Materiais utilizados: aço, aço inox, bronze, níquel, nylon, fibras sintéticas, ligas metálicas**

PENEIRAÇÃO

➤ Quando se utiliza uma peneira:



F ... Taxa de alimentação

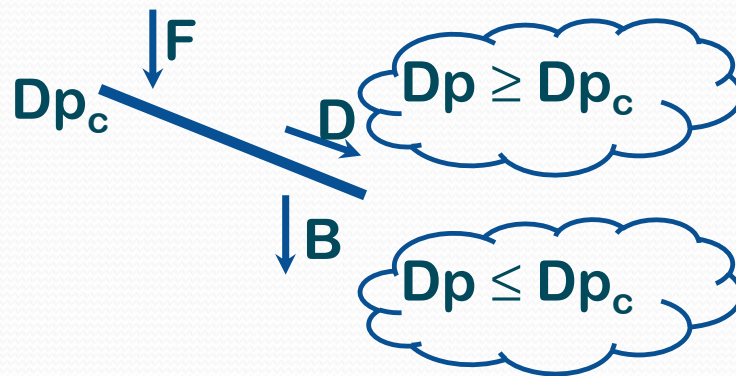
D ... Fluxo de partículas da fração retida

B ... Fluxo de partículas da fração passante

Dp_c ... Abertura da peneira

PENEIRAÇÃO

➤ Quando se utiliza uma peneira:

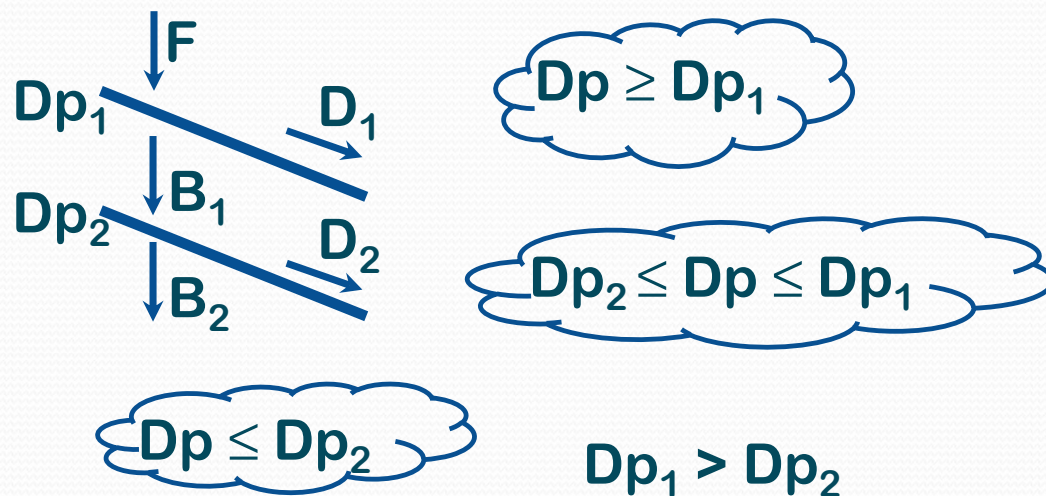


Dp ... Tamanho das partículas da fração

As Frações D e B são ditas **desuniformes**, pois só se conhece um dos limites de tamanho

PENEIRAÇÃO

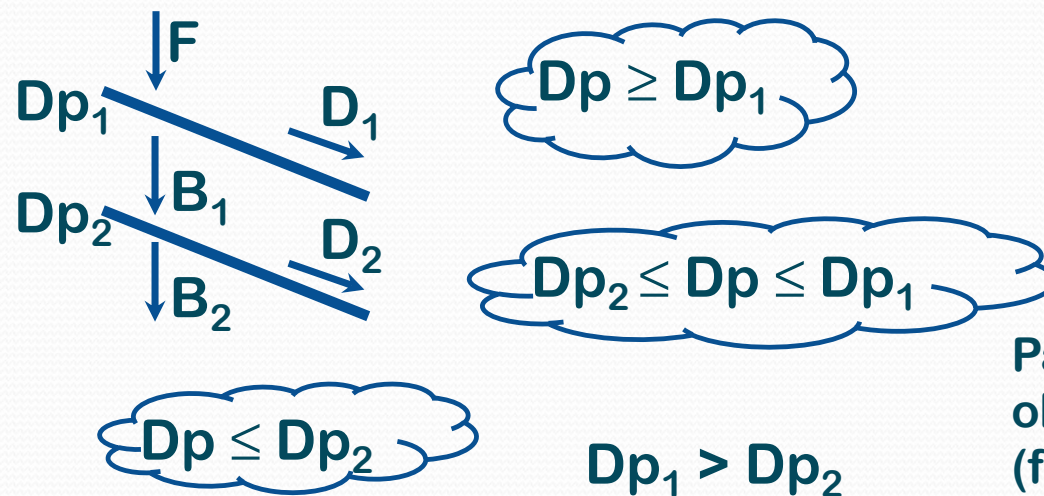
➤ Quando se utilizam duas peneiras:



As Frações D_1 e B_2 são ditas **desuniformes**, pois só se conhece um dos limites de tamanho
A fração D_2 é dita **uniforme**, pois são conhecidos dois limites de tamanho

PENEIRAÇÃO

➤ Quando se utilizam duas peneiras:



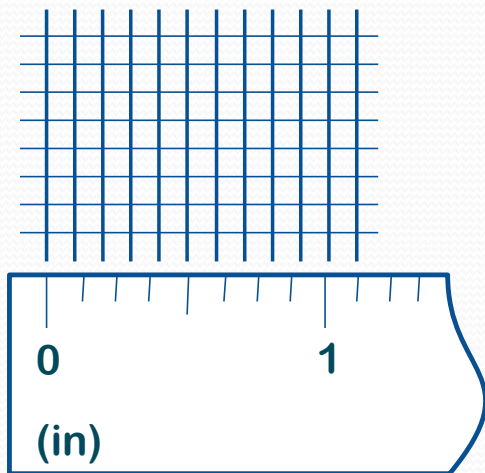
D_2 é o produto da peneiração

D_1 é o rejeito grosso
 B_2 é o rejeito fino

Para um conjunto de n peneiras, são obtidas **2** frações desuniformes (fração retida na primeira peneira e fração que passa por todas as peneiras) e **$[n-1]$** frações uniformes

PENEIRAÇÃO

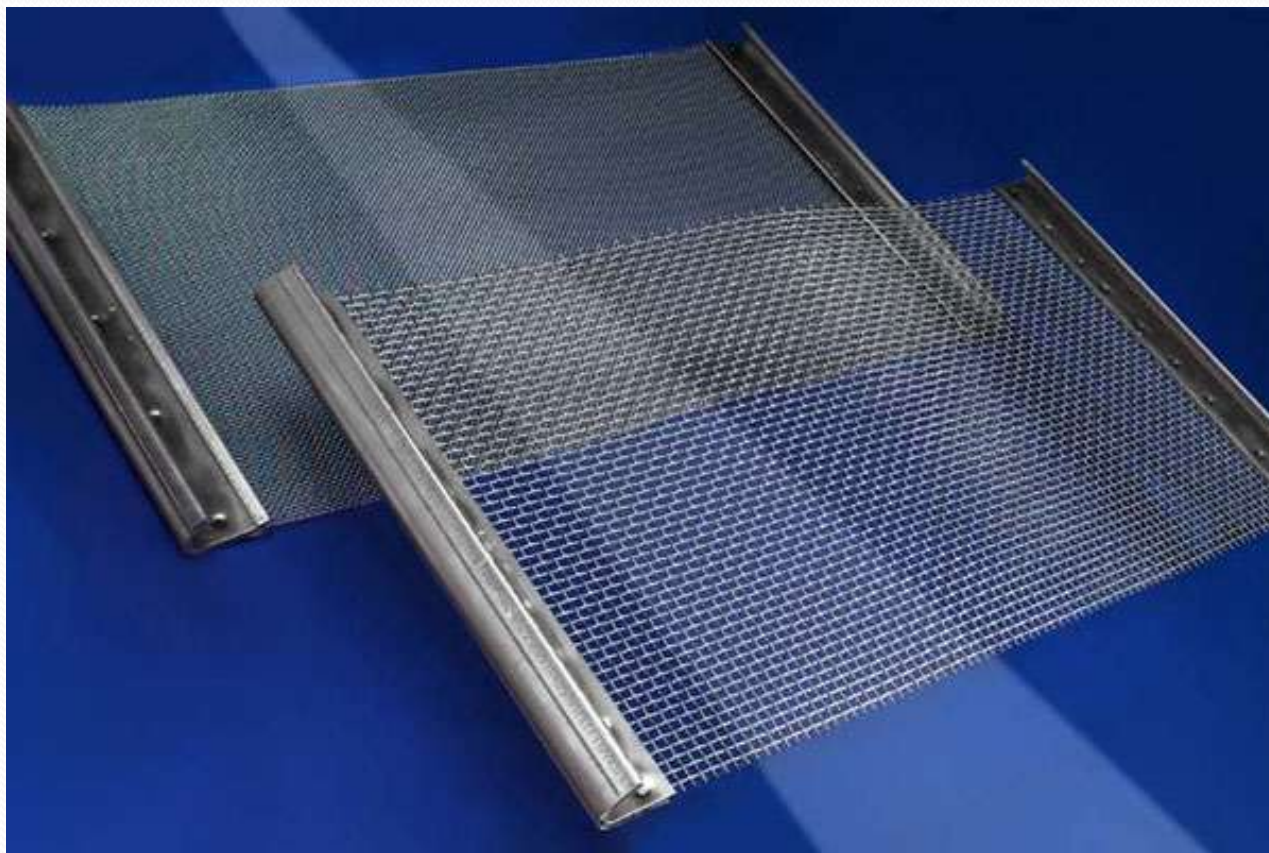
- Especificação das peneiras: **número de malhas** ou **mesh** que é o número de aberturas por polegada linear



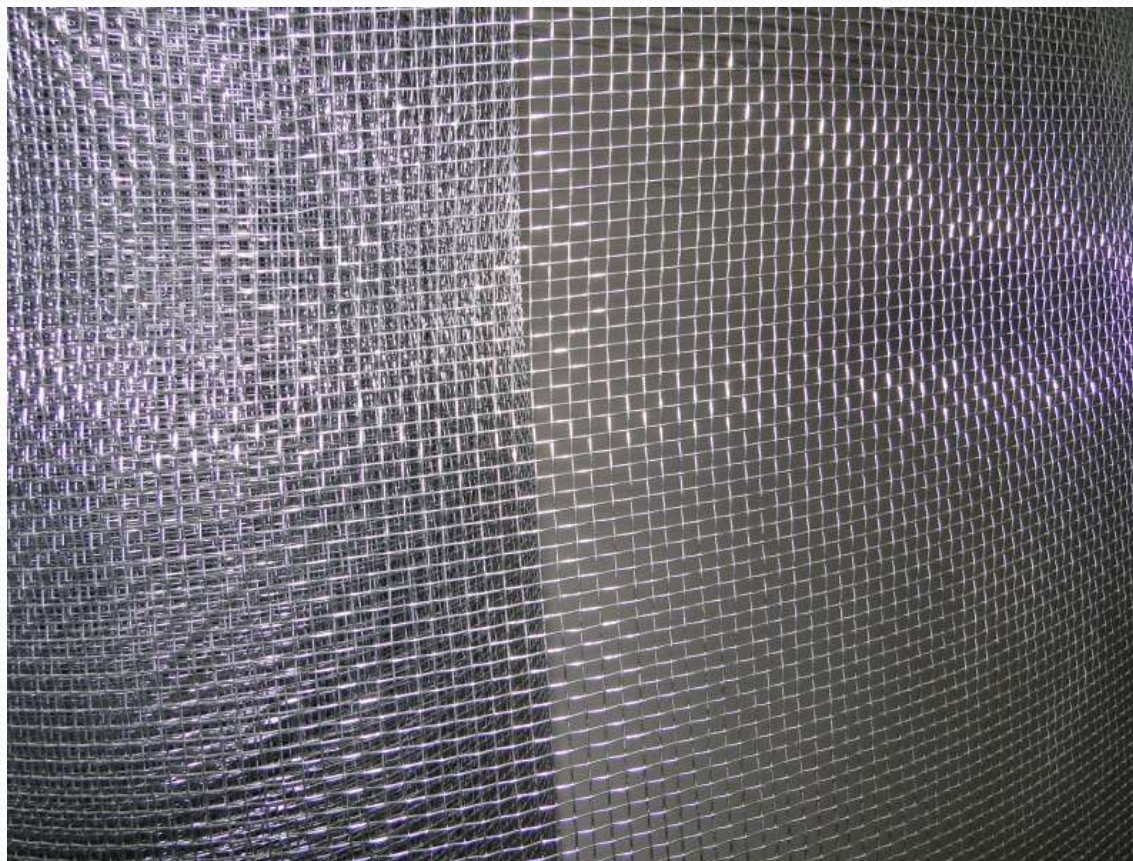
As peneiras industriais variam de 10 in a 100 malhas.

As peneiras de laboratório (ensaio de granulometria) chegam a 400 malhas.

PENEIRAÇÃO



PENEIRAÇÃO



PENEIRAÇÃO

- **As peneiras devem ter tamanhos padronizados**
- **Séries padrão:**
 - **número de malhas especificado**
 - **diâmetro do arame e aberturas especificadas**
 - **relação definida entre os tamanhos das aberturas de duas peneiras consecutivas**

PENEIRAÇÃO

- **Série Tyler:** baseada numa peneira de 200 malhas com arame de 0,0021 in de diâmetro e abertura de 0,0029 in, com relação entre aberturas igual a $\sqrt[4]{2}$.
- **Série U.S. Standard = Série ABNT**

Série padrão Intervalo = $\sqrt{2}$ Abertura em in	Intervalo = $\sqrt[4]{2}$			
	Abertura em in	Abertura em mm	Nº de malhas	Diâm. arame, in
1,050	1,050	26,67	-	0,148
	0,883	22,43	-	0,135
0,742	0,742	18,85	-	0,135
	0,624	15,85	-	0,120
0,525	0,525	13,33	-	0,105
	0,441	11,20	-	0,105
0,371	0,371	9,423	-	0,092
	0,312	7,925	2,5	0,088
0,263	0,263	6,680	3	0,070
	0,221	5,613	3,5	0,065
0,185	0,185	4,699	4	0,065
	0,156	3,962	5	0,044
0,131	0,131	3,327	6	0,036
	0,110	2,794	7	0,0326
0,093	0,093	2,362	8	0,032
	0,078	1,981	9	0,033
0,065	0,065	1,651	10	0,035
	0,055	1,397	12	0,028
0,046	0,046	1,168	14	0,025
	0,039	0,991	16	0,0235
0,0328	0,0328	0,833	20	0,0172
	0,0276	0,701	24	0,0141
0,0232	0,0232	0,589	28	0,0125
	0,0195	0,495	32	0,0118
0,0164	0,0164	0,417	35	0,0122
	0,0138	0,351	42	0,0100
0,0116	0,0116	0,295	48	0,0092
	0,0097	0,248	60	0,0070
0,0082	0,0082	0,208	65	0,0072
	0,0069	0,175	80	0,0056
0,0058	0,0058	0,147	100	0,0042
	0,0049	0,124	115	0,0038
0,0041	0,0041	0,104	150	0,0026
	0,0035	0,088	170	0,0024

PENEIRAS DE LABORATÓRIO





ANÁLISE GRANULOMÉTRICA



ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

- É realizada em equipamentos de laboratório.
- Uma amostra do material a ser analisado é colocada na peneira mais grossa das escolhidas. O conjunto é agitado por um intervalo de tempo definido, suficiente para haver separação completa das partículas. Pesa-se as quantidades retidas em cada peneira.



ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

- Os resultados são apresentados na forma de tabelas ou gráficos, representando a “distribuição de tamanho” ou “granulometria” das partículas.
- Os resultados podem ser apresentados nas formas “diferencial” ou “acumulativa”, relacionando tamanho de partículas com frações mássicas.

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Análise	Diferencial	Acumulativa
Massas retidas	Frações mássicas retidas entre cada duas peneiras	Frações mássicas retidas em cada peneira se utilizadas separadamente
Tamanho de partículas	Tamanho médio das partículas igual à média entre as aberturas das duas peneiras	Tamanho das partículas igual à abertura da peneira

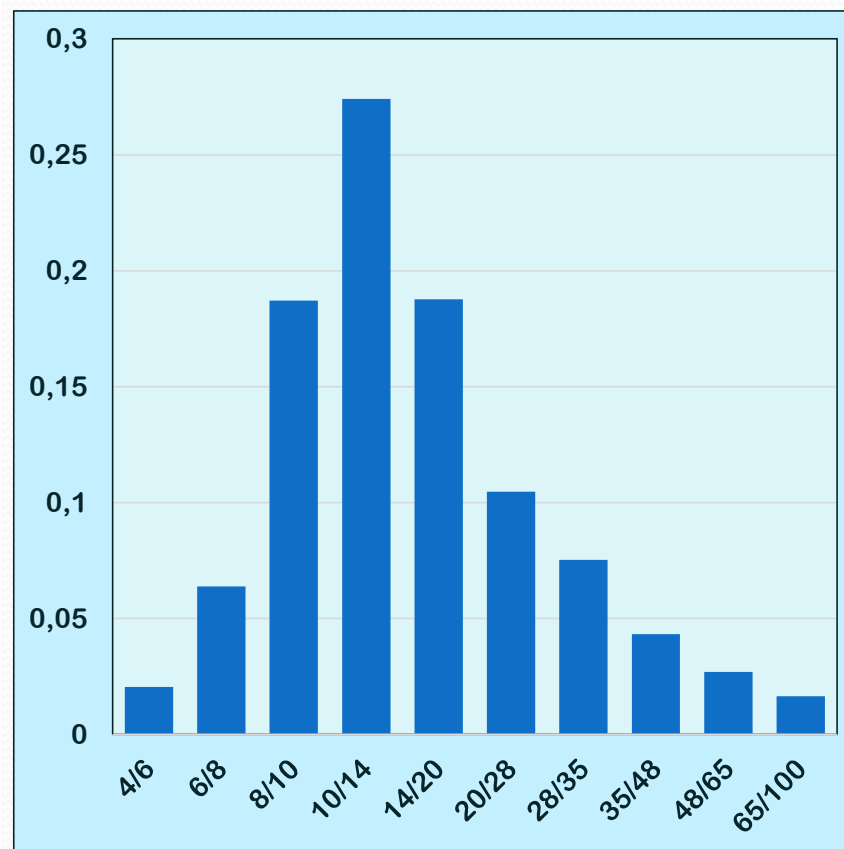
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DIFERENCIAL

Peneira (malha)	Abertura Serie Tyler (mm)	Massa retida (g)
4	4,699	0,00
6	3,327	2,05
8	2,362	6,38
10	1,651	18,72
14	1,168	27,42
20	0,833	18,77
28	0,589	10,47
35	0,417	7,53
48	0,295	4,32
65	0,208	2,70
100	0,147	1,64

Peneira (malha)	Dp (mm)	$\Delta\phi$
4/6	4,0130	0,0205
6/8	2,8445	0,0638
8/10	2,0065	0,1872
10/14	1,4095	0,2742
14/20	1,0005	0,1877
20/28	0,7110	0,1047
28/35	0,5030	0,0753
35/48	0,3560	0,0432
48/65	0,2515	0,0270
65/100	0,1775	0,0164

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DIFERENCIAL

Peneira (malha)	Abertura Serie Tyler (mm)	Massa retida (g)
4	4,699	0,00
6	3,327	2,05
8	2,362	6,38
10	1,651	18,72
14	1,168	27,42
20	0,833	18,77
28	0,589	10,47
35	0,417	7,53
48	0,295	4,32
65	0,208	2,70
100	0,147	1,64



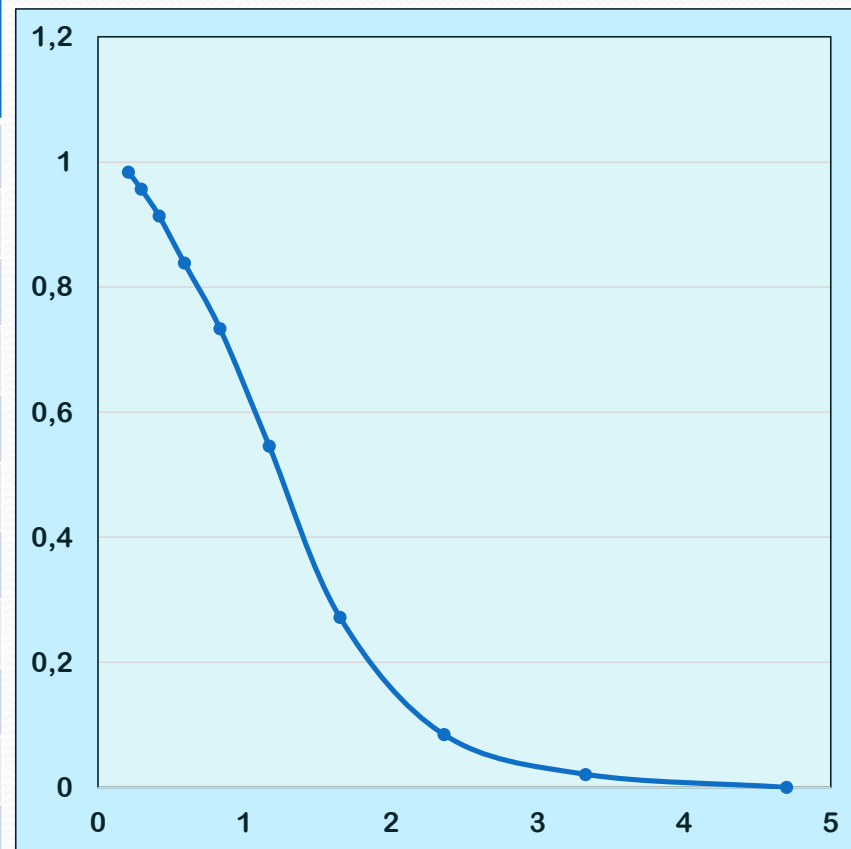
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA ACUMULATIVA

Peneira (malha)	Abertura Serie Tyler (mm)	Massa retida (g)
4	4,699	0,00
6	3,327	2,05
8	2,362	6,38
10	1,651	18,72
14	1,168	27,42
20	0,833	18,77
28	0,589	10,47
35	0,417	7,53
48	0,295	4,32
65	0,208	2,70
100	0,147	1,64

Peneira (malha)	Dp (mm)	ϕ
4	4,699	0,0000
6	3,327	0,0205
8	2,362	0,0843
10	1,651	0,2715
14	1,168	0,5457
20	0,833	0,7334
28	0,589	0,8381
35	0,417	0,9134
48	0,295	0,9566
65	0,208	0,9836
100	0,147	1,0000

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA ACUMULATIVA

Peneira (malha)	Abertura Serie Tyler (mm)	Massa retida (g)
4	4,699	0,00
6	3,327	2,05
8	2,362	6,38
10	1,651	18,72
14	1,168	27,42
20	0,833	18,77
28	0,589	10,47
35	0,417	7,53
48	0,295	4,32
65	0,208	2,70
100	0,147	1,64



EQUIPAMENTO DE PENEIRAÇÃO DO LABORATÓRIO DE ENGENHARIA QUÍMICA





Aula experimental 1

**Sólidos particulados:
redução de tamanho
(cominuição)**

REDUÇÃO DE TAMANHO

➤ Finalidades:

- Aumentar a reatividade de materiais sólidos
- Reduzir o volume de materiais fibrosos
- Separar ingredientes indesejáveis

REDUÇÃO DE TAMANHO

➤ Meios de Redução:

- **Compressão:** gera produtos grossos. Exemplo: quebrador de nozes



REDUÇÃO DE TAMANHO

➤ Meios de Redução:

- **Impacto:** gera produtos grossos, médios e finos. Exemplo: marreta



REDUÇÃO DE TAMANHO

➤ Meios de Redução:

- **Atrito ou fricção:** gera produtos finos. Exemplo: lima



REDUÇÃO DE TAMANHO

➤ Meios de Redução:

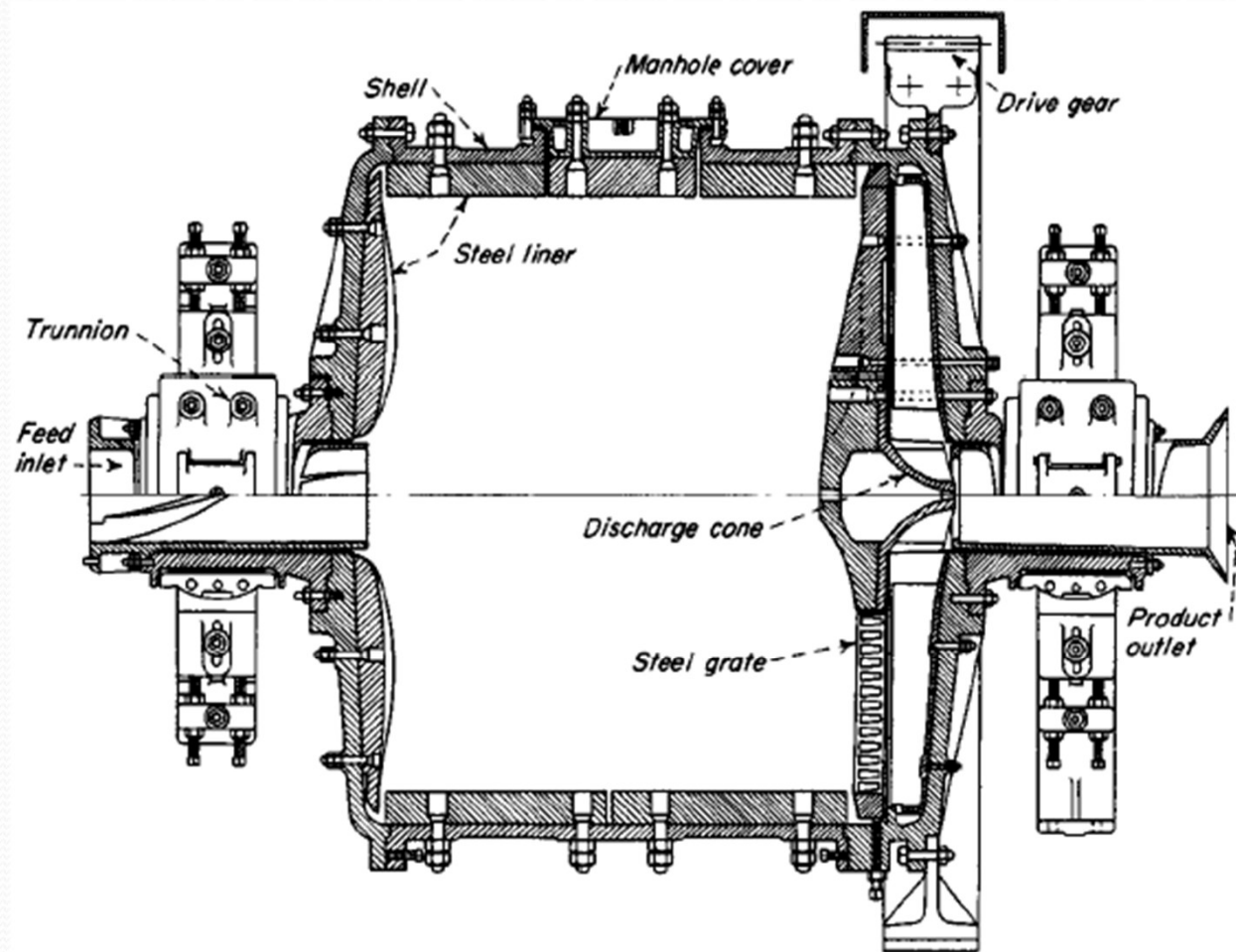
- **Corte:** gera produtos com tamanho e forma definidos. Exemplo:
tesoura



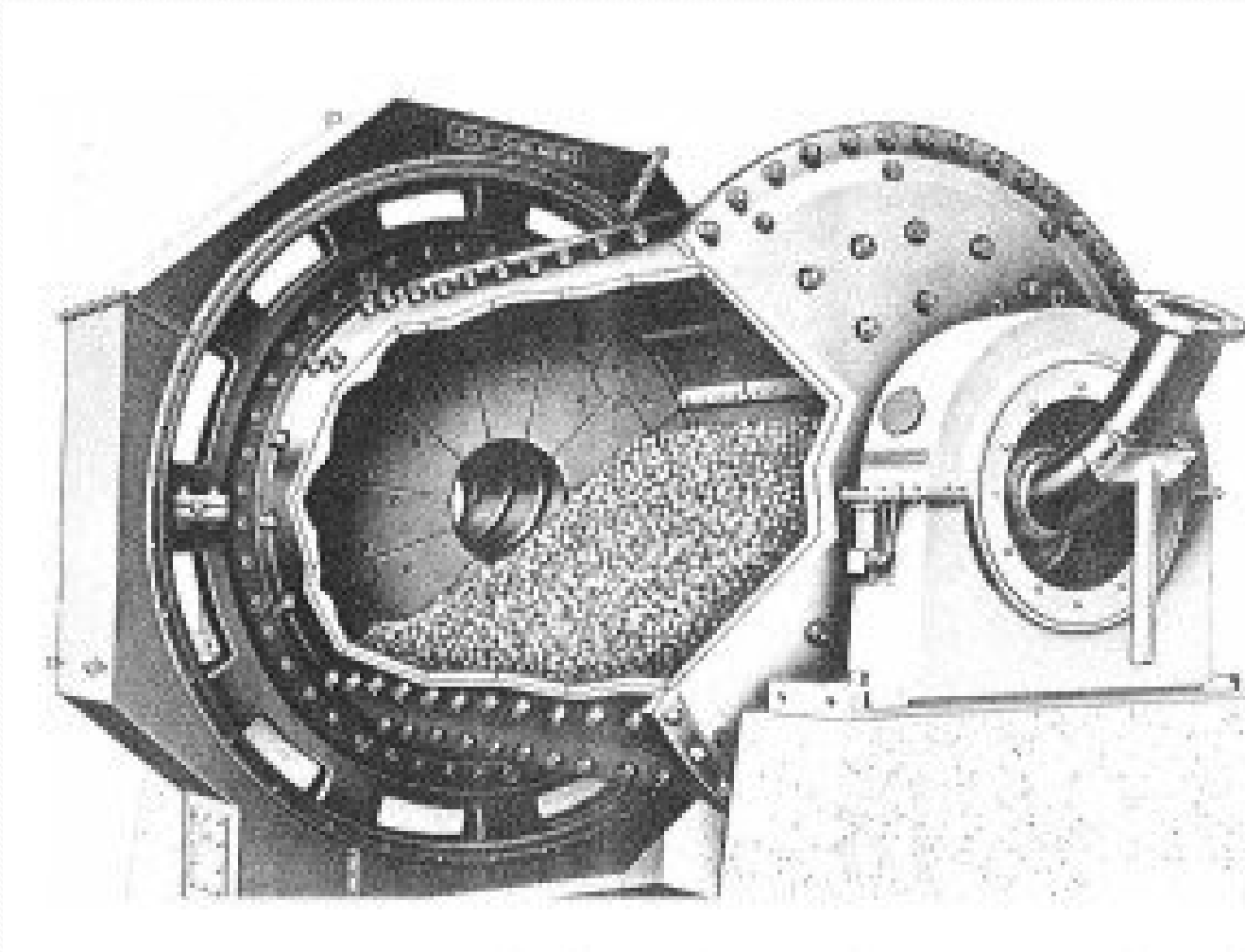
EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS

- **Britadores:** operam a baixas velocidades, predominantemente por compressão, gerando partículas grossas
- **Moinhos:** gera partículas finas, operando por compressão, atrito ou impacto

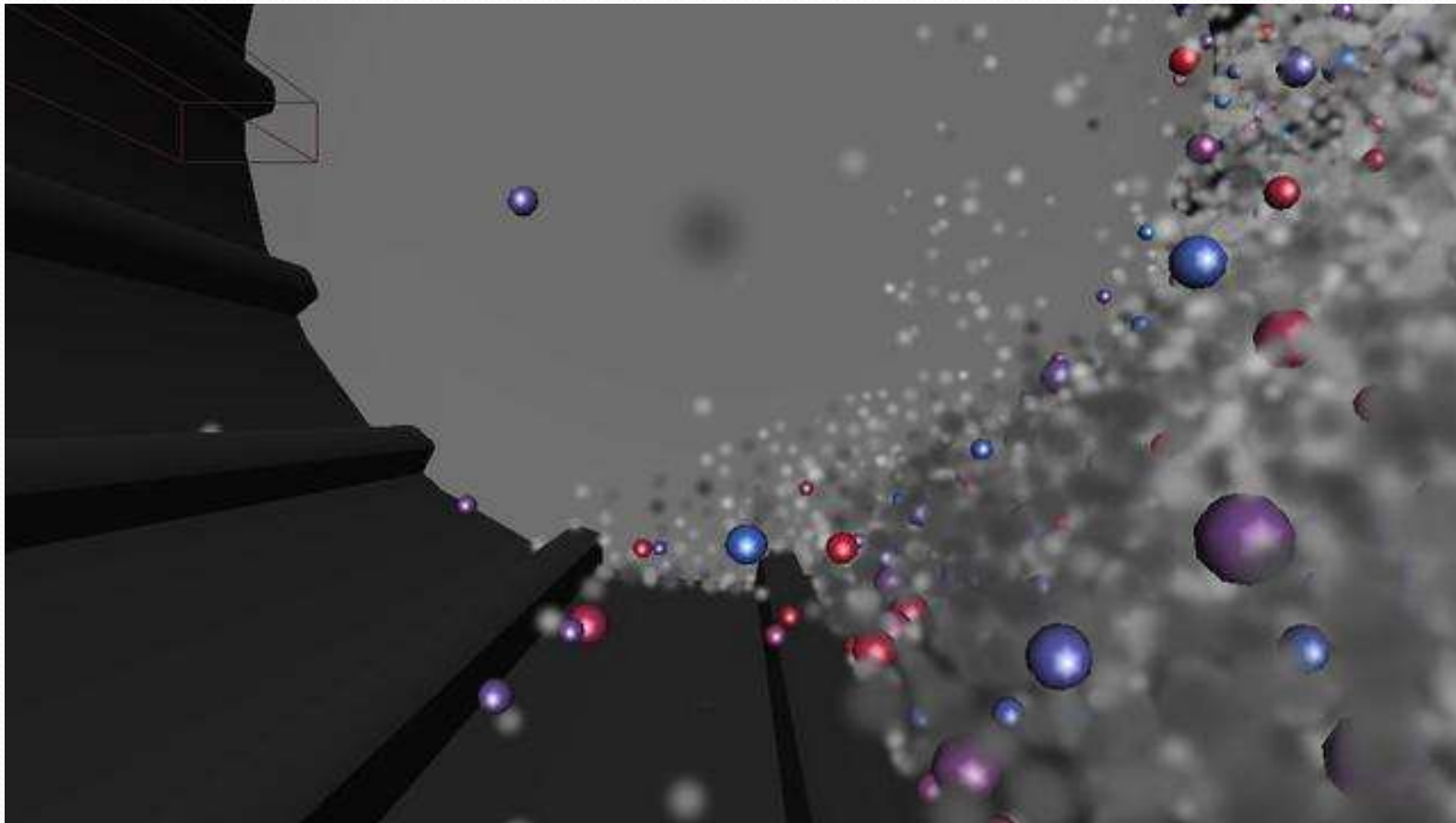
MOINHO DE BOLAS



MOINHO DE BOLAS



MOINHO DE BOLAS



MOINHO DE BOLAS

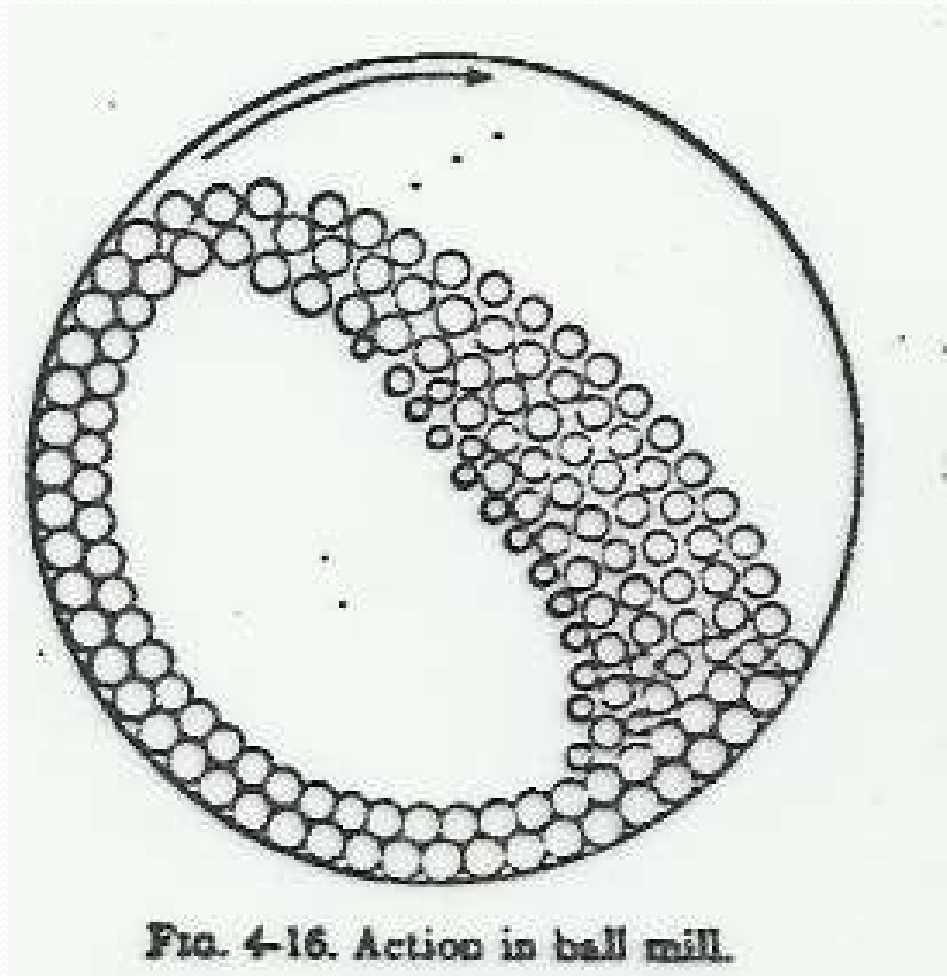
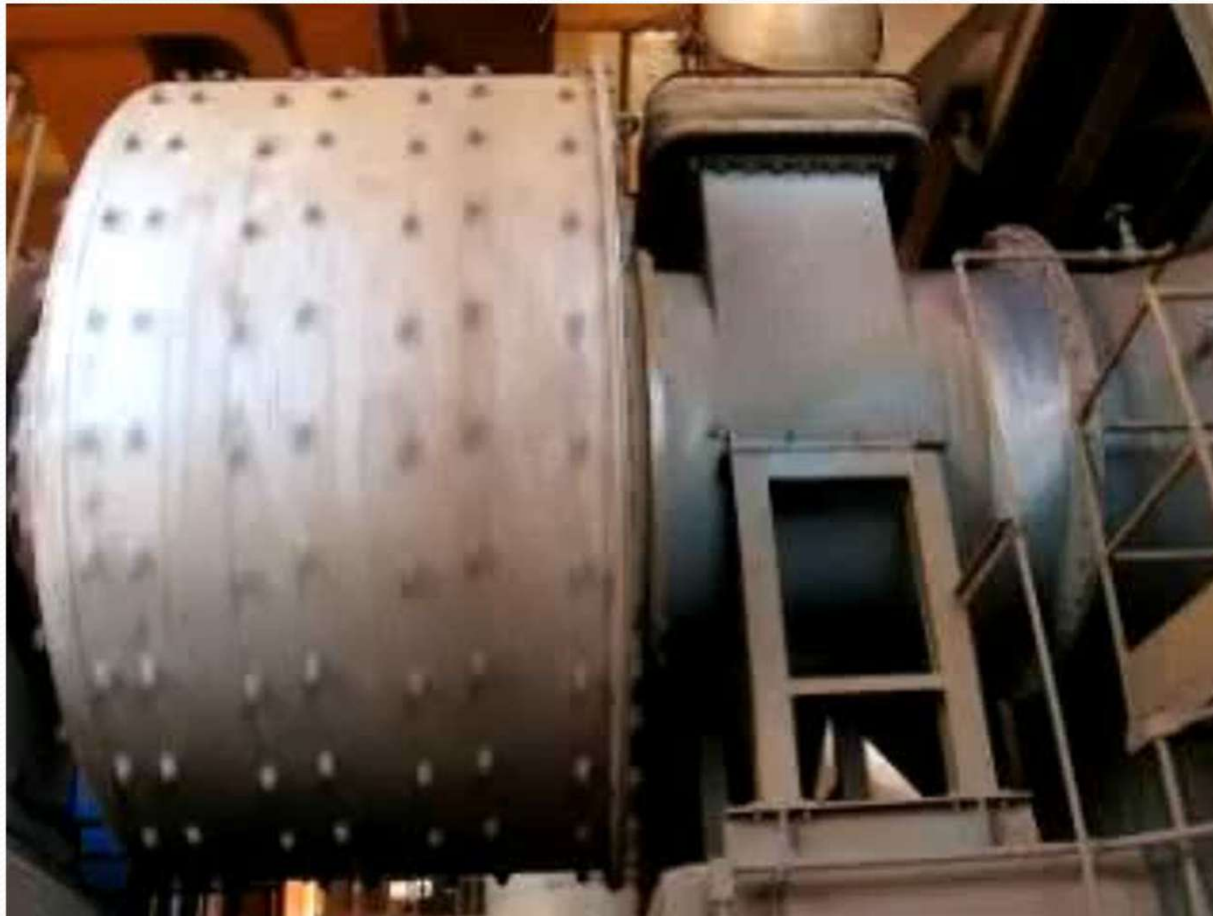


FIG. 4-16. Action in ball mill.

MOINHO DE BOLAS



MOINHO DE BOLAS



MOINHO DE BOLAS DO LABORATÓRIO DE ENGENHARIA



MOINHO DE BOLAS DO LABORATÓRIO DE ENGENHARIA

