



Laboratório de Ciência e Tecnologia do Vácuo

1º SEMESTRE DE 2024

Nilberto H. Medina
medina@if.usp.br



Resumo Histórico

- O que é VÁCUO?
 - no dicionário: *um lugar onde não contém nada; espaço imaginário ou real não ocupado por coisa alguma*
 - no cotidiano: “presença” do nada.

É possível criar um espaço de ausência total de matéria? Existe o vazio absoluto?

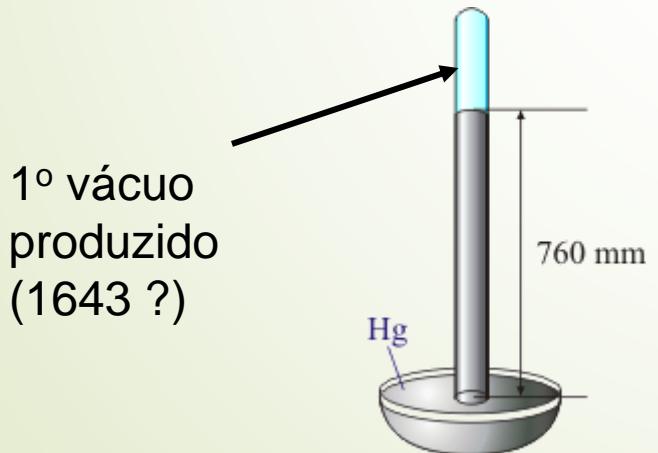
Resp.: Não, aparentemente.

Definição dada pela American Vacuum Society:

É um dado espaço preenchido com gás a uma pressão abaixo da atmosférica ($< 2,5 \times 10^{19}$ moléculas/cm³).

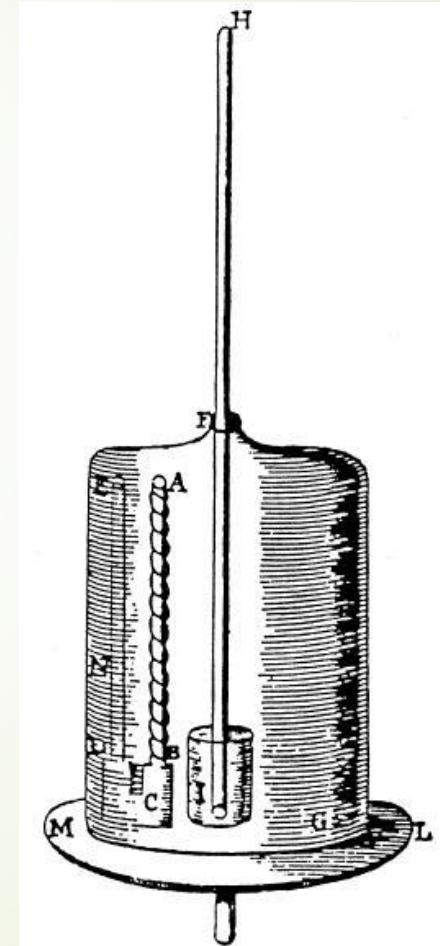
Resumo Histórico

- ▶ Na Grécia antiga, filósofos debatiam sobre a existência do vazio absoluto.
- ▶ “A natureza tem horror ao vácuo...”
Aristóteles (384 – 322 a.C.)
- ▶ Século XVII – Galileo Galilei, Torricelli e o barômetro de tubo fechado.



Resumo Histórico

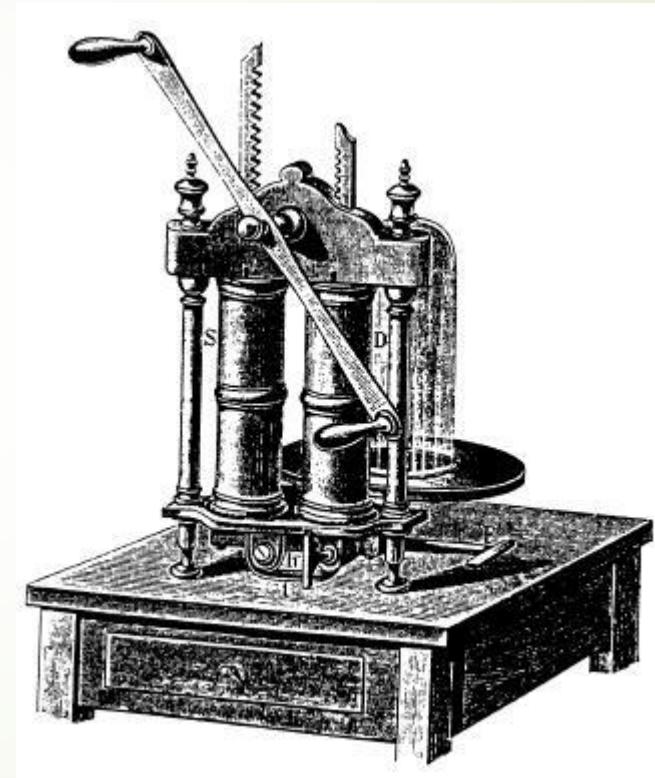
- 1660 – Primeira notícia da medida de um sistema em baixa pressão (~ 6 Torr) – Boyle
- Vácuo torna-se interesse do grande público.
Desenvolvimento para o entretenimento.



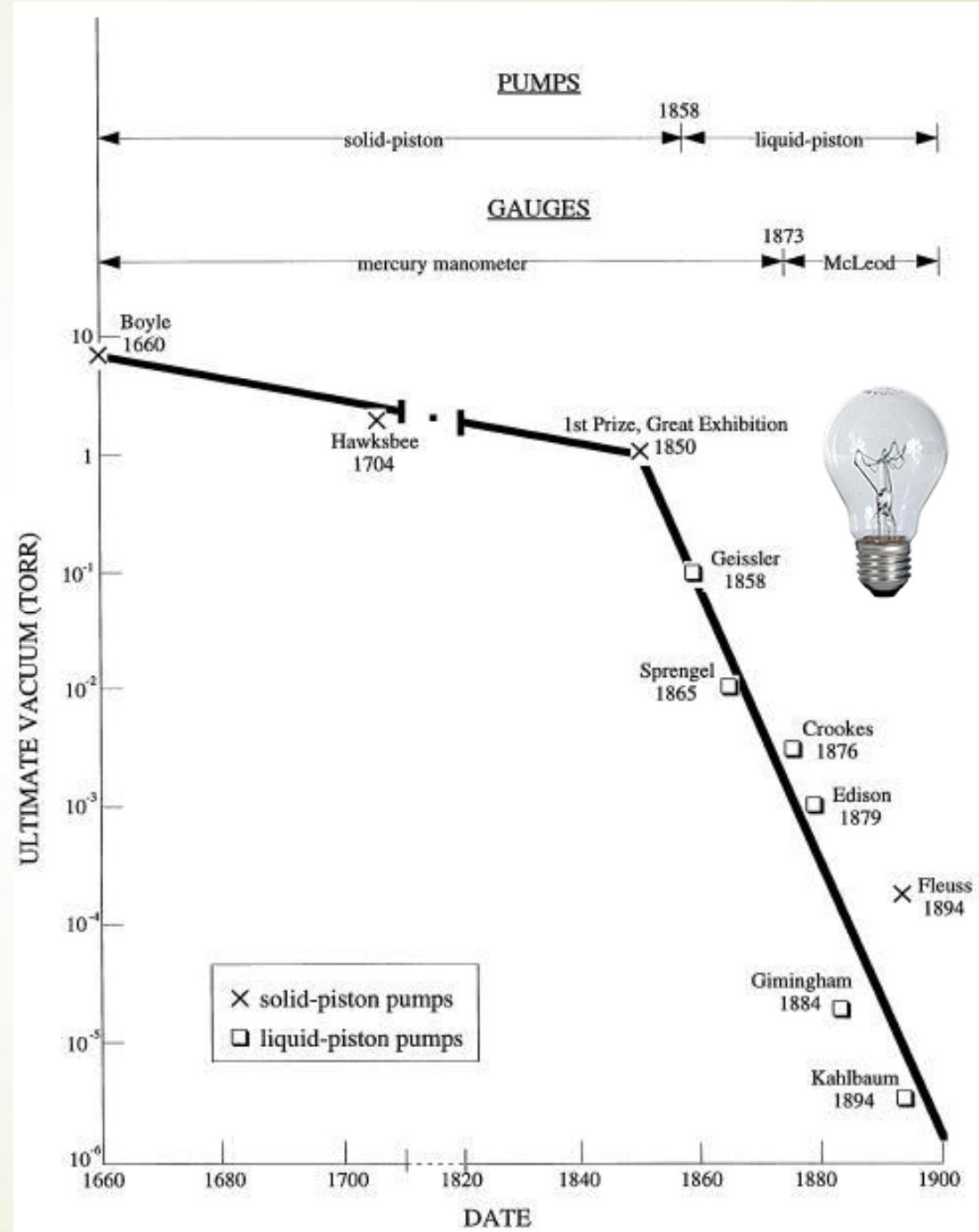
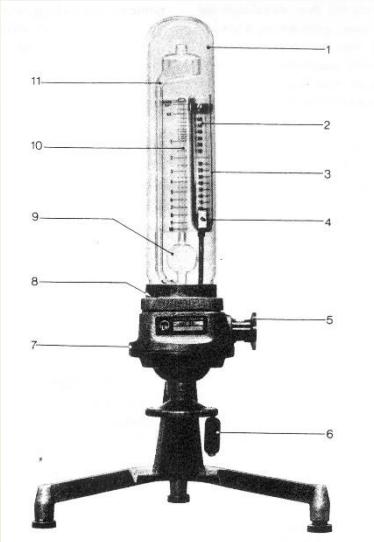


Joseph Wright's painting (1768) of a popular after-dinner demonstration of the effects of vacuum on a small animal. The effects of the lack of atmosphere on a cockatoo is being observed and air was then admitted just in time (in most cases) to save the creature's life.

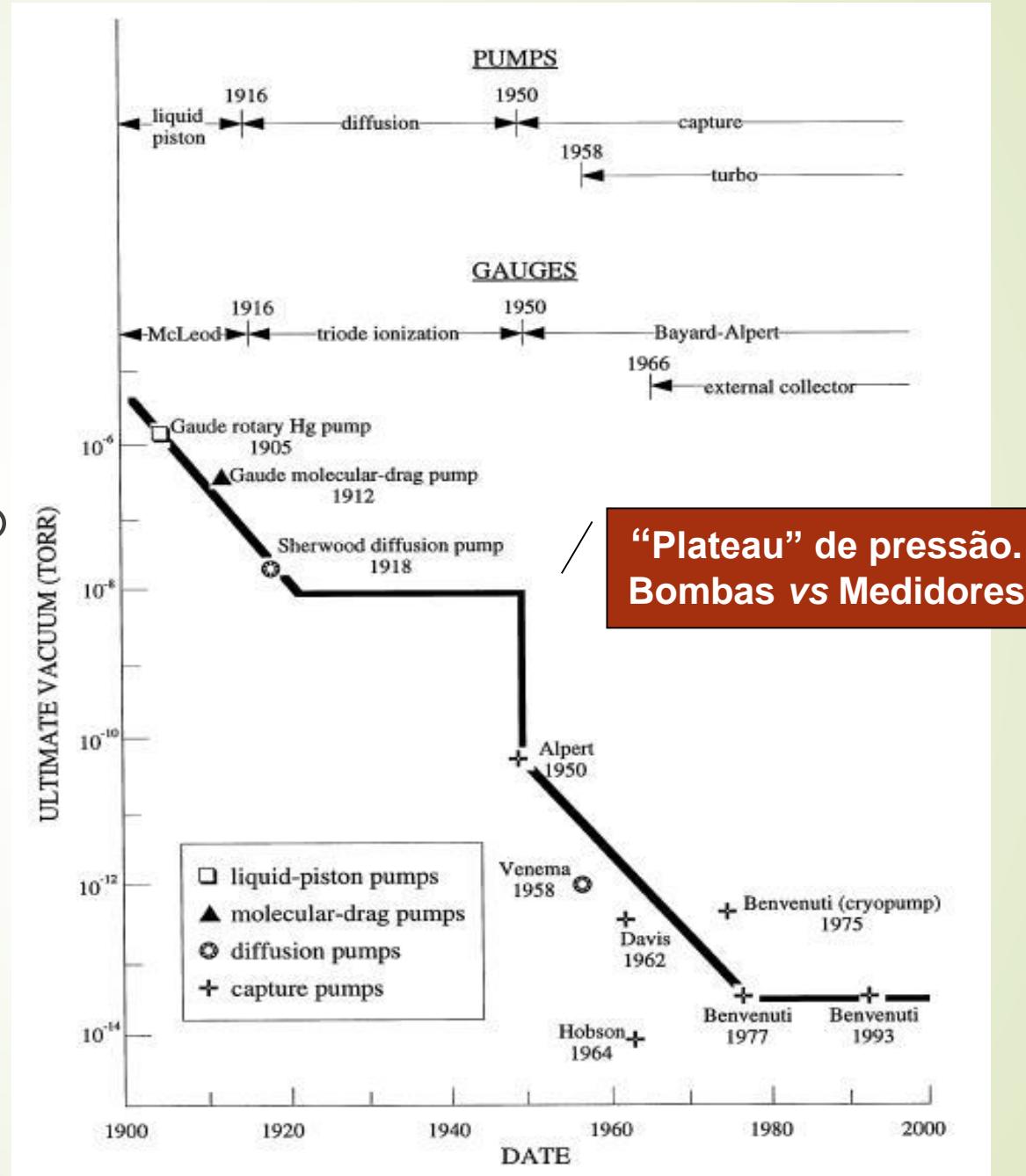
- Maiores esforços concentravam-se no desenvolvimento das bombas de vácuo
- 1850 – Bombas de pistão duplo começam a ser comercializados.
- Emprego da tecnologia de vácuo na indústria



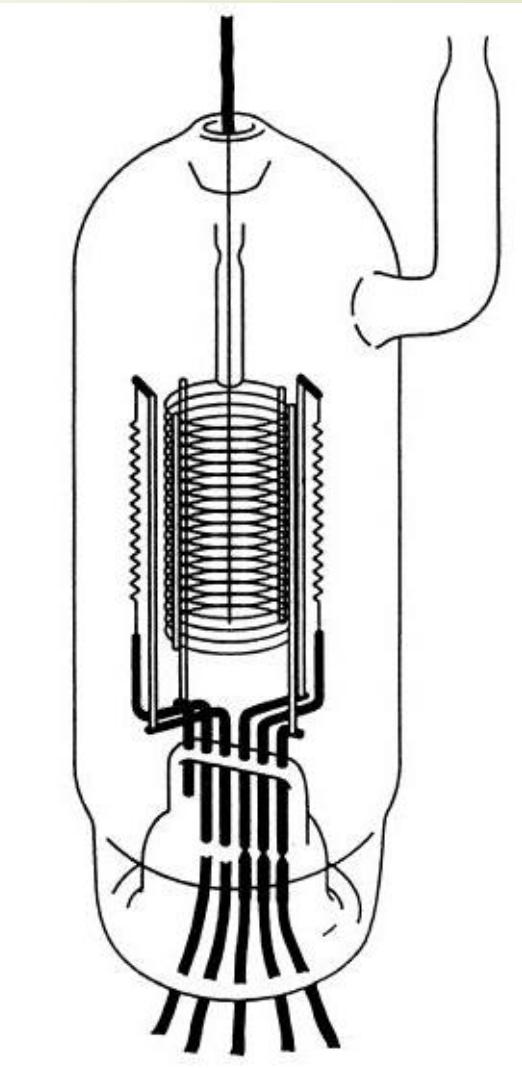
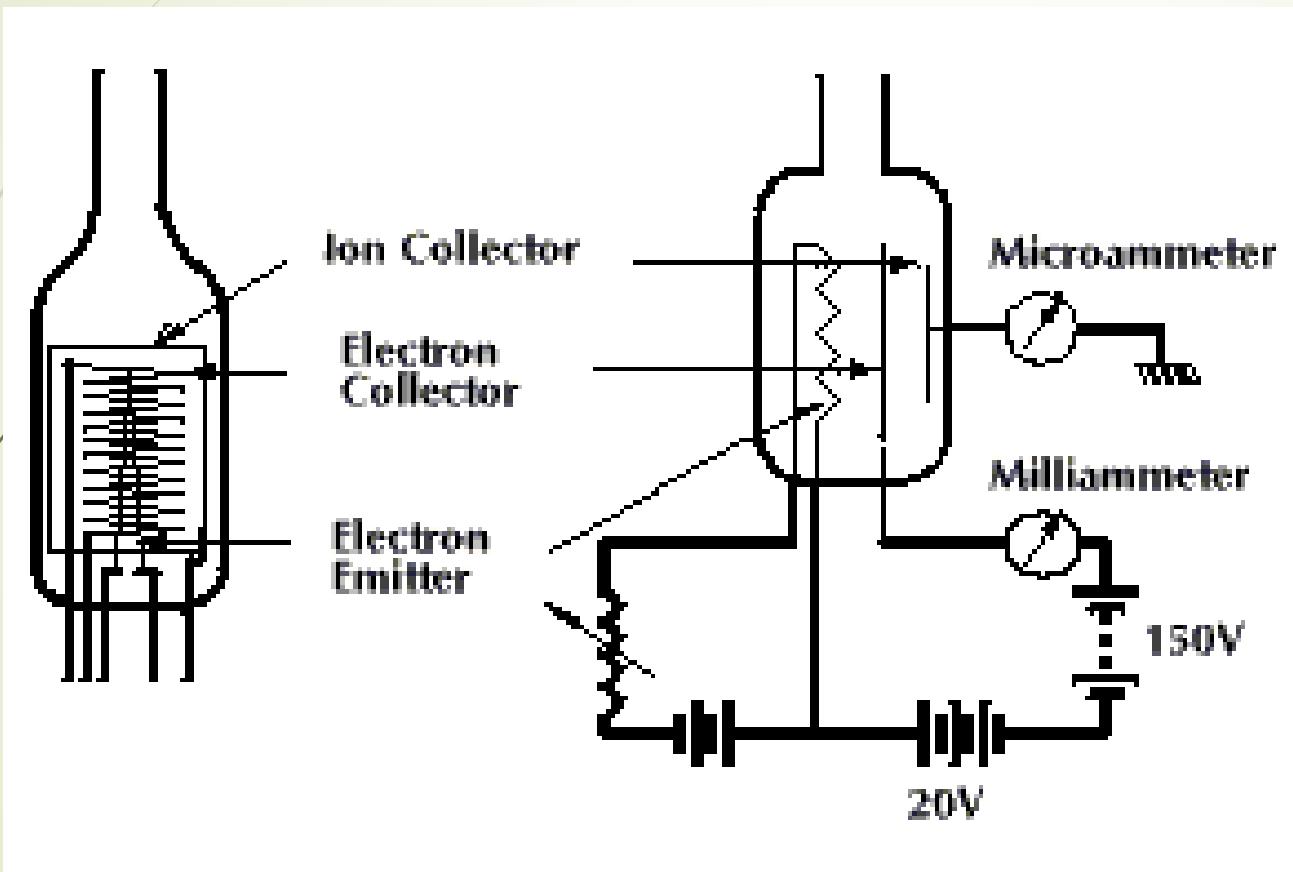
► Panorama da evolução da tecnologia de vácuo até 1900



- ▶ Evolução da tecnologia de vácuo 1900-2000
- ▶ Desenvolvimento constante
- ▶ Era dos grandes aceleradores



► 1950 – Tríodo de ionização e o manômetro Bayard-Alpert



Limitação inferior na medida de pressão (10^{-8} Torr)

Tecnologia do Vácuo

4300323

Professores:

Nilberto Heder Medina (Teoria)

Laboratório Aberto de Física Nuclear, sala 206

Sala de Aula (teoria): 2003, Ala II

tel: 3091-6763

medina@if.usp.br

Luiz Marcos Fagundes (Seminários)

Seminários

- ▶ 20/08 – Medidores de pressão
- ▶ 17/09 – Bombas de vácuo 1
- ▶ 08/10 – Bombas de vácuo 2
- ▶ 29/10 – Materiais e componentes de vácuo.

Local: Sala 2003

- ▶ 11/11 – Filmes finos

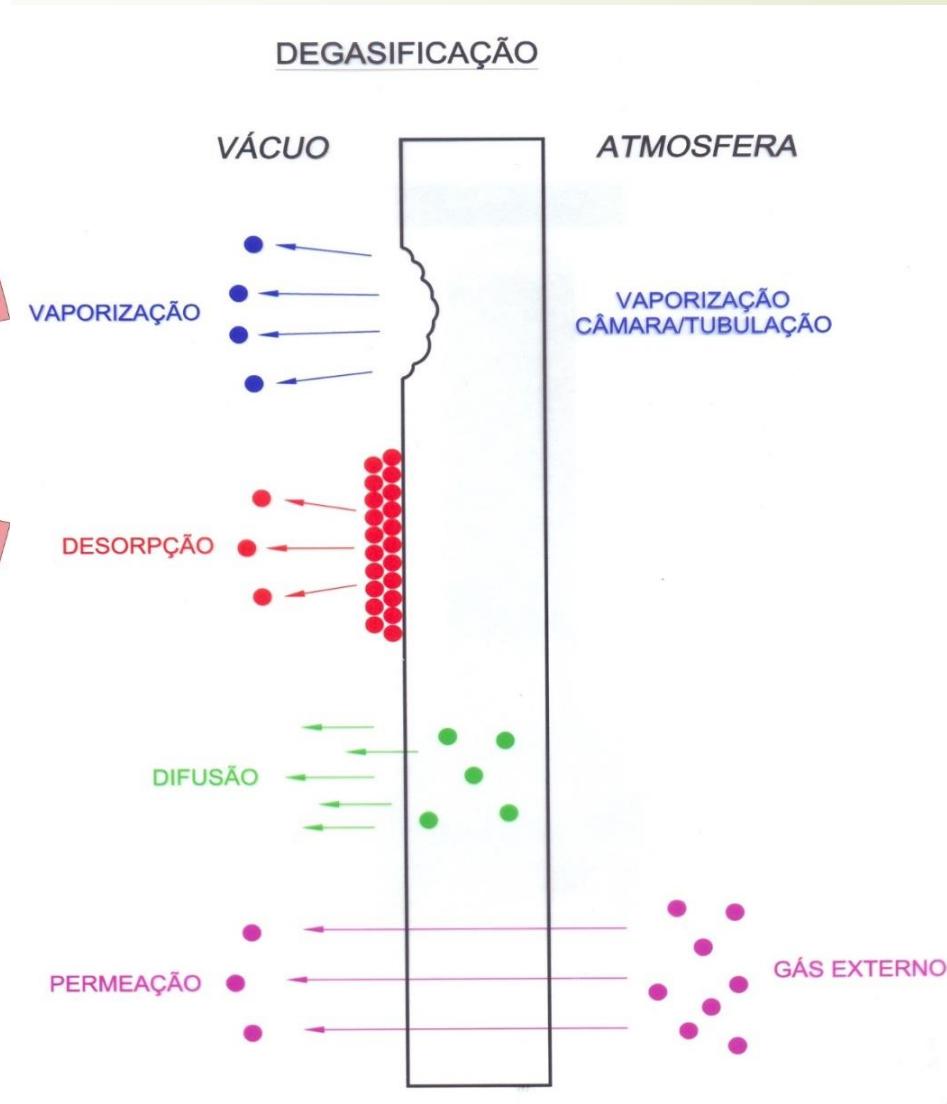
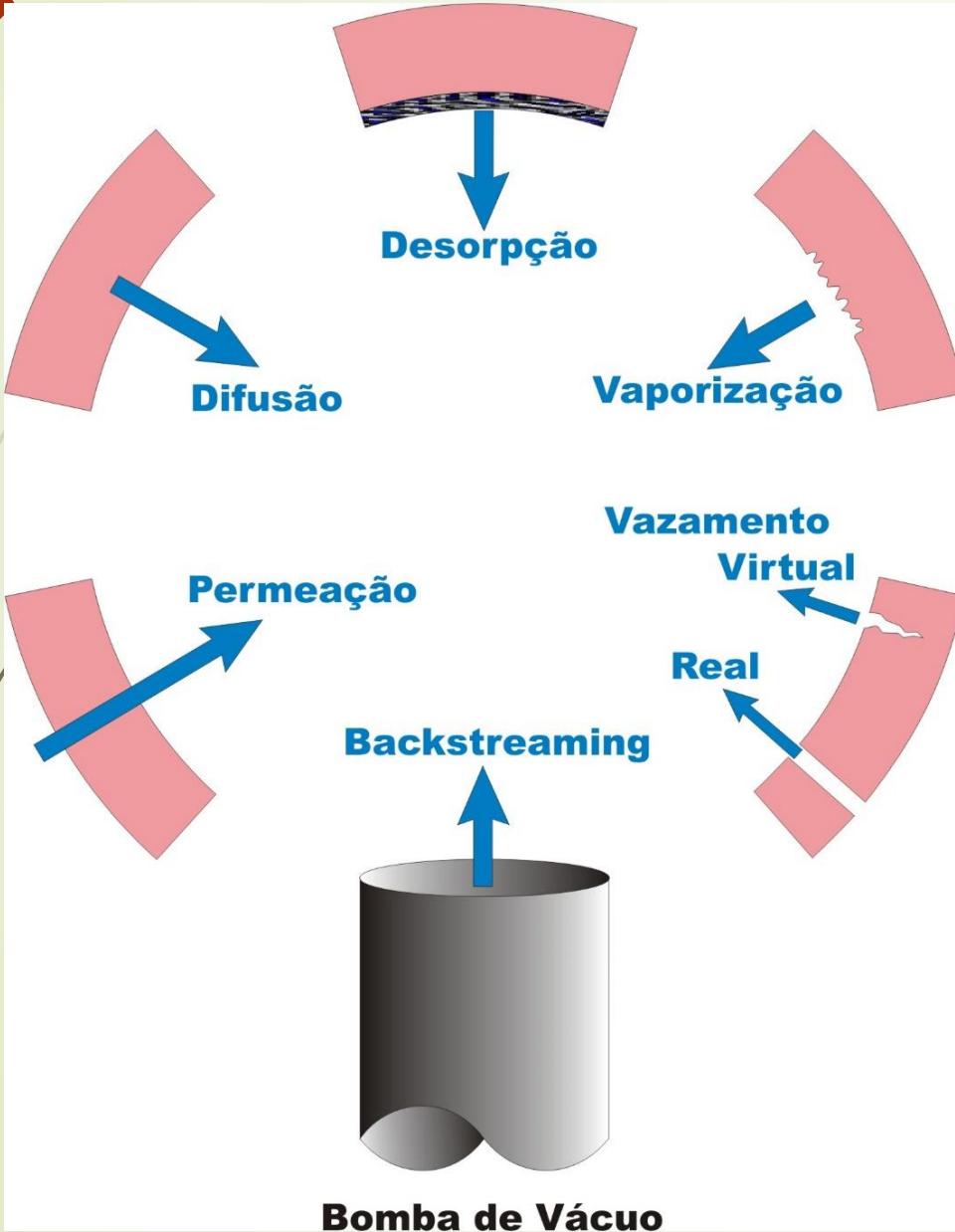
Local: Sala de seminários do LINAC

Horário das 19:00 às 21:00 horas

Palestrantes: Prof. Luiz Marcos Fagundes
Prof. José Fernando Diniz Chubaci

Principais fontes de gases e vapores em um sistema de vácuo

$$\text{Fluxo de Massa } Q_T = \sum Q_i$$



Modelos de Fontes de gases

Fonte de gás	Característica	Comentário
Volume	$P = P_o e^{\frac{-S}{V}t}$	Pressão cai exponencialmente dependendo de S e V
Vazamento Real	$P_{res} = \frac{Q_{vr}}{S}; Q_{vr} \approx C_{vr} P_{atm}$	Fluxo constante. Utilizar detector de vazamentos. Deve ser eliminado
Vazamento Virtual	$Q_{vv} = C_v P_o' e^{\frac{-C_v}{V_c}t}$	$C_v \ll S_b$ Queda da pressão depende de C_v e V_c . Evitar no projeto
Difusão	$Q(t) = c_o \frac{\sqrt{D}}{\sqrt{\pi t}}$	$Q(t)$ é proporcional a $\frac{1}{\sqrt{t}}$
Permeação	$Q = \frac{K(P_e^n - P_i^n)}{d}$	$N=1$ para não metais; $n=1/2$ para moléculas diatômicas em metais. Constante de permeação $K(T)$ é proporcional a $10^3/T$
Evaporação	$W = 0.058 P_v \sqrt{\frac{M}{T}} \frac{g}{cm^2 s}$ $Q = WA$ (g/s) $Q = \frac{\Delta N}{\Delta t} kT \frac{Torr l}{s}$	Crescimento de P_v em função da temperatura é exponencial e por isso mais rápido do que $\frac{1}{\sqrt{T}}$
Desorpção Térmica (desgaseificação)	Primeira ordem: $\frac{dc}{dt} = c_o k_1 e^{-\frac{t}{\tau_{res}}}$ $\frac{1}{k_1} = \tau_{res} = \tau_o e^{\frac{E_d}{N_o kT}}$	Rápido $\tau_{res} = 10^{-12} s$
Temperatura (cozimento)	Segunda ordem: $\frac{dc}{dt} = \frac{-k_2 C_o^2}{(1 + C_o K_2 t)^2}$	Cai lentamente A molécula de H_2 se dissocia na adsorção e recombina na desorpção
Superfícies Reais	$q_n = \frac{q}{t^\alpha}$ $0.7 \leq \alpha \leq 2$	Fórmula geral $q_n = qt^{-1}$ Adsorção química Adsorção física

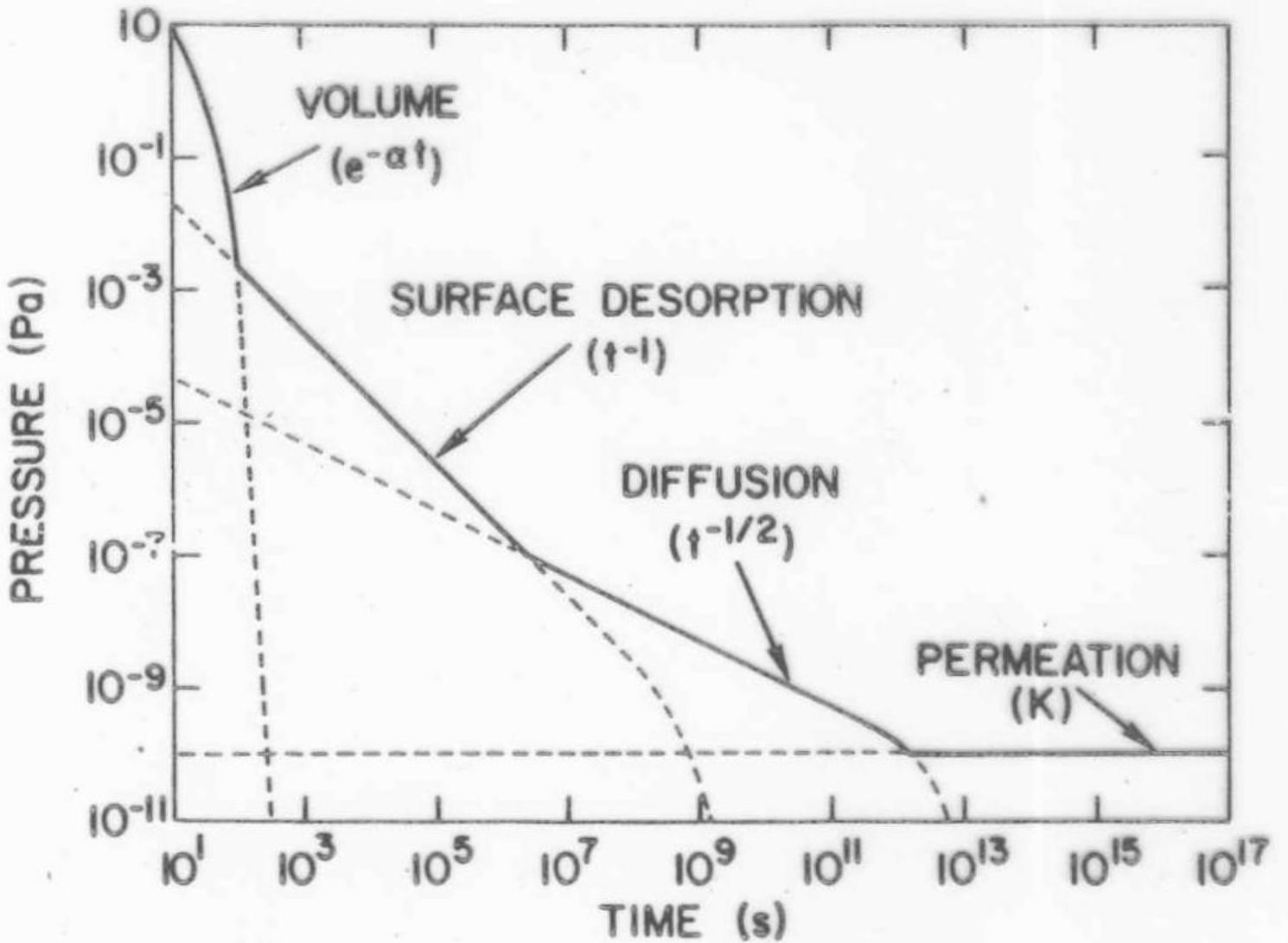
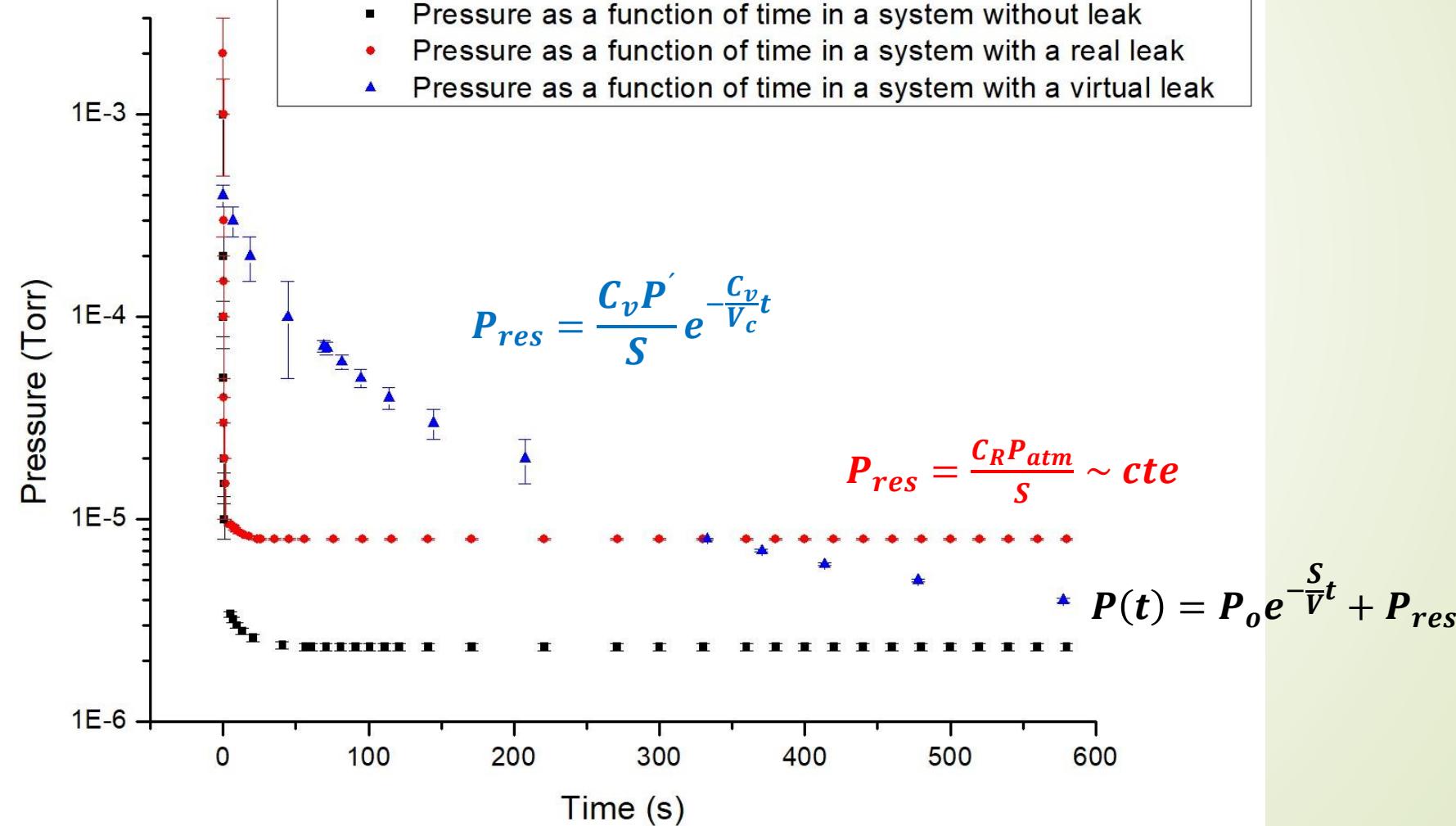
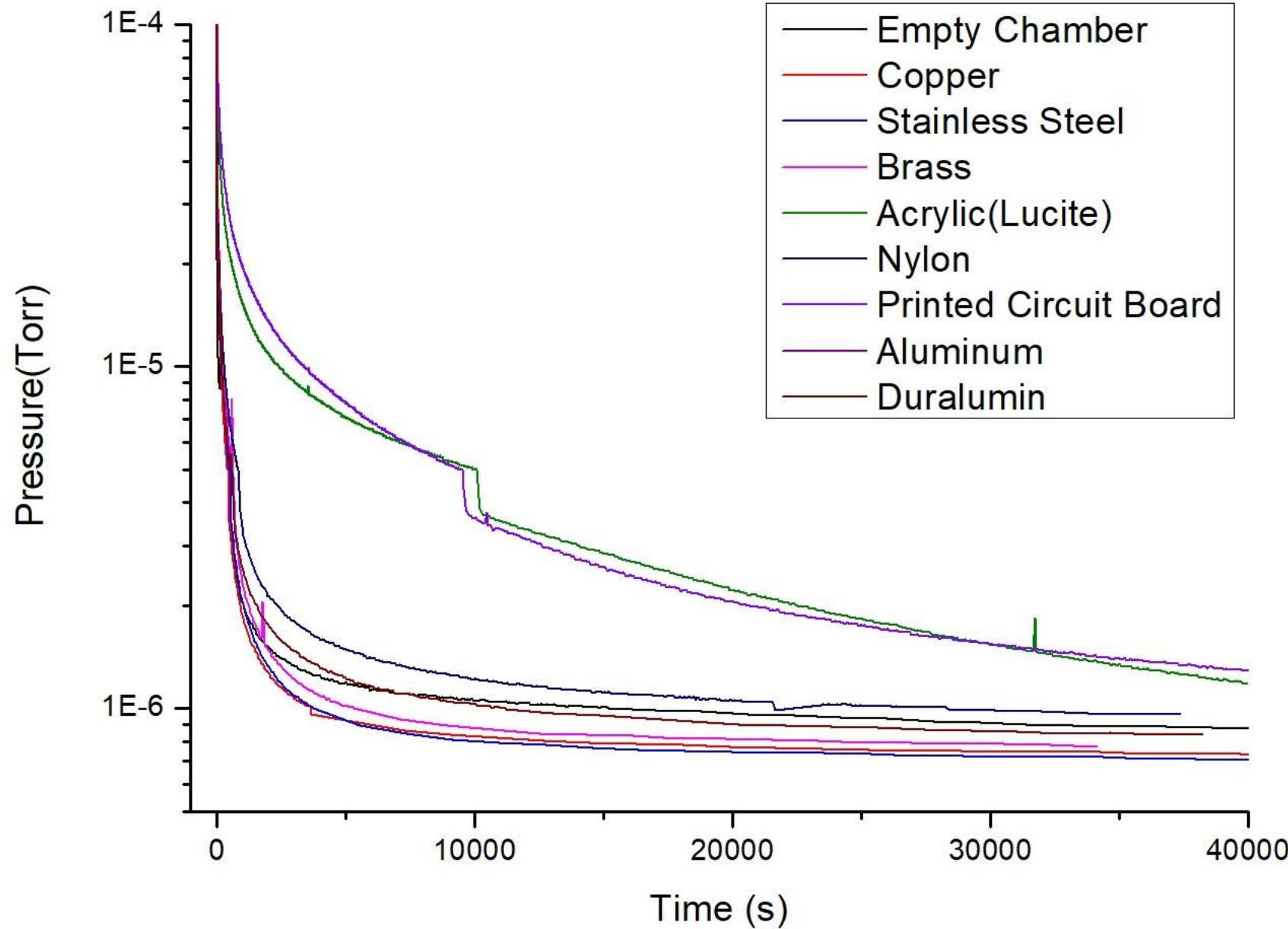


Fig. 4.6 Rate limiting steps during the pumping of a vacuum chamber.

Queda da pressão em função do tempo num sistema real



Desgaseificação de diferentes materiais





Laboratório de Ciência e Tecnologia do Vácuo

- Conjunto de 7 experimentos, divididos em três ciclos

Se possível, trazer seus laptops para a aula de laboratório

- 1º ciclo de experimentos: estudo de medidores de pressão
 - 2º ciclo de experimentos : bombas de vácuo e condutâncias
 - 3º ciclo de experimentos:
 - Detecção de Vazamentos, Vedações e Componentes
 - Fabricação de Filmes Finos
- Local: Acelerador de partículas Pelletron**



Laboratório de Ciência e Tecnologia do Vácuo

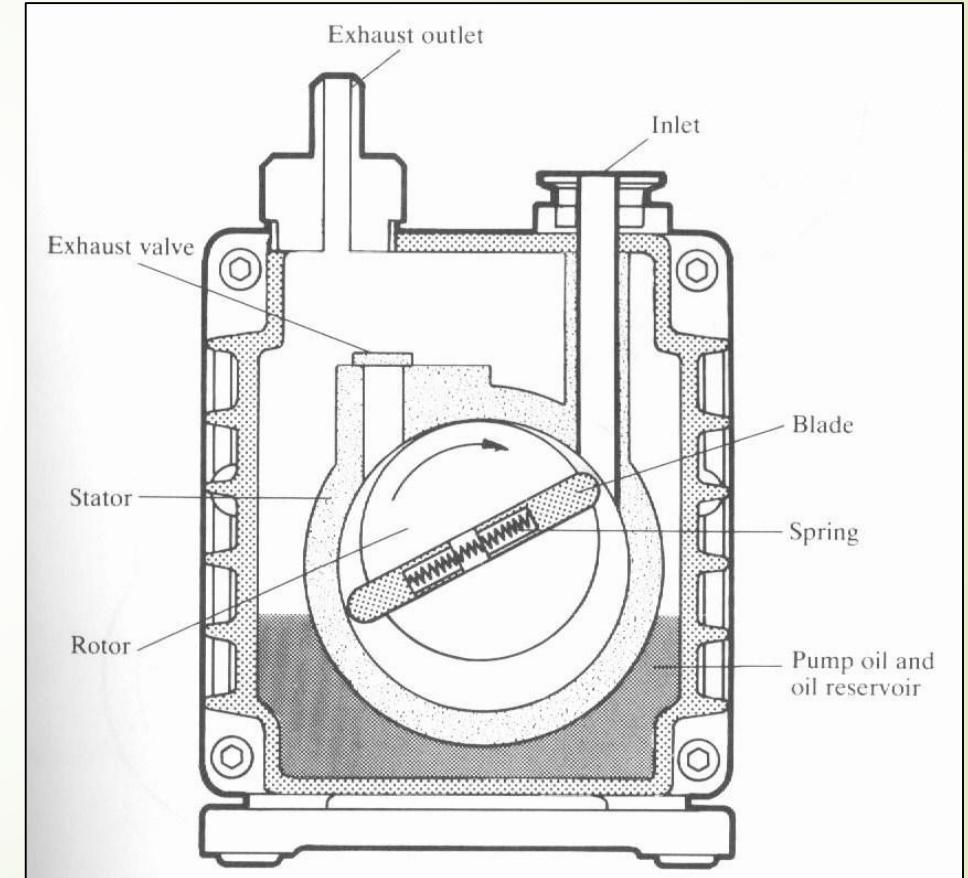
- Segurança: cuidado com as correias das bombas mecânicas, temperatura da bomba difusora, alta tensão no medidor *penning*, temperatura do nitrogênio líquido, etc.
- Cuidados com os equipamentos: medidores sensíveis e/ou de vidro, evitar a entrada de óleo na câmara, atentar para o resfriamento da bomba difusora.
- Independência por parte do aluno é fundamental

Bombas de vácuo

- Bomba mecânica de 2 estágios
- Bomba de difusão

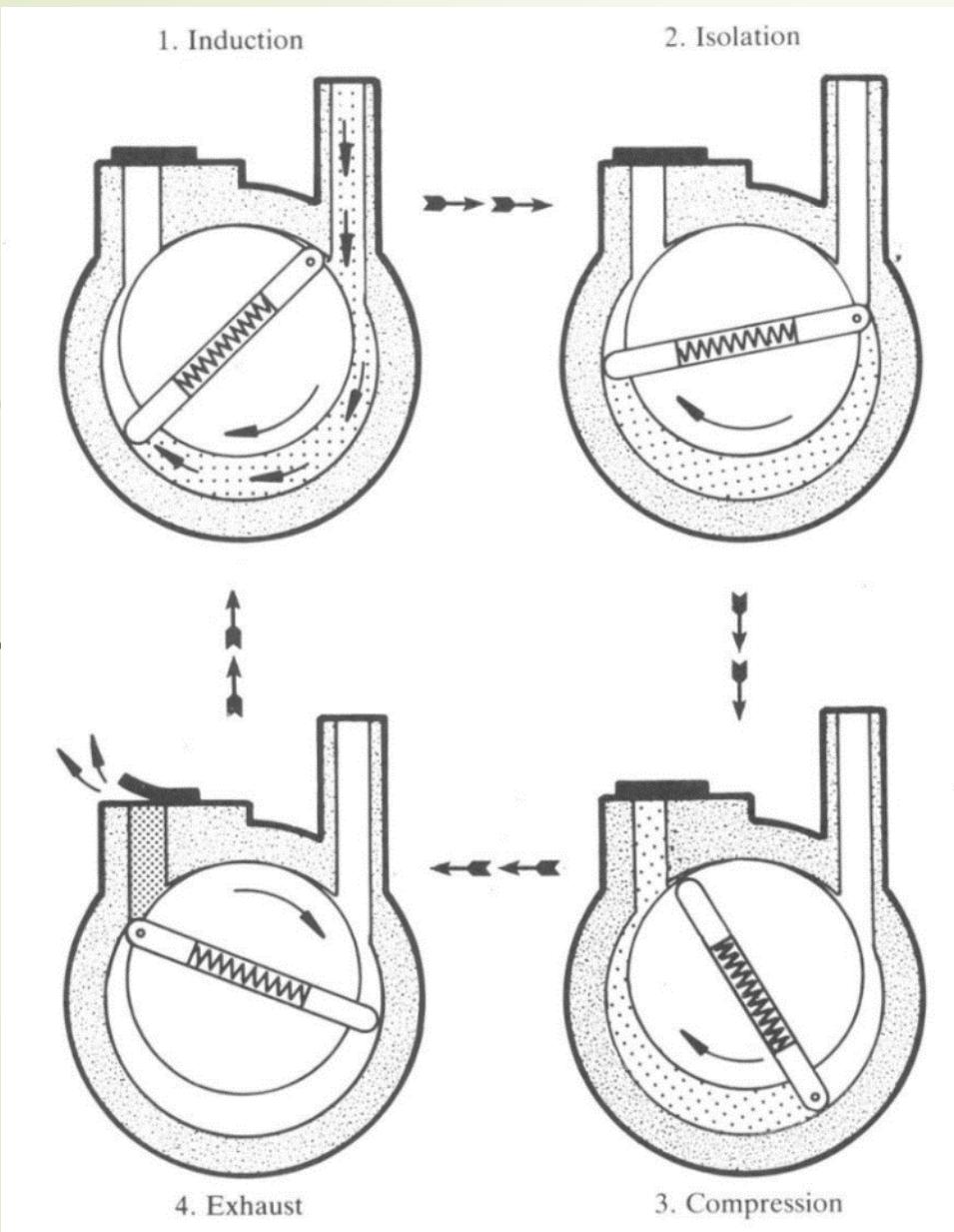


Bomba Mecânica



$$S = 5 \text{ m}^3/\text{h} \sim 1,4 \text{ l/s}$$

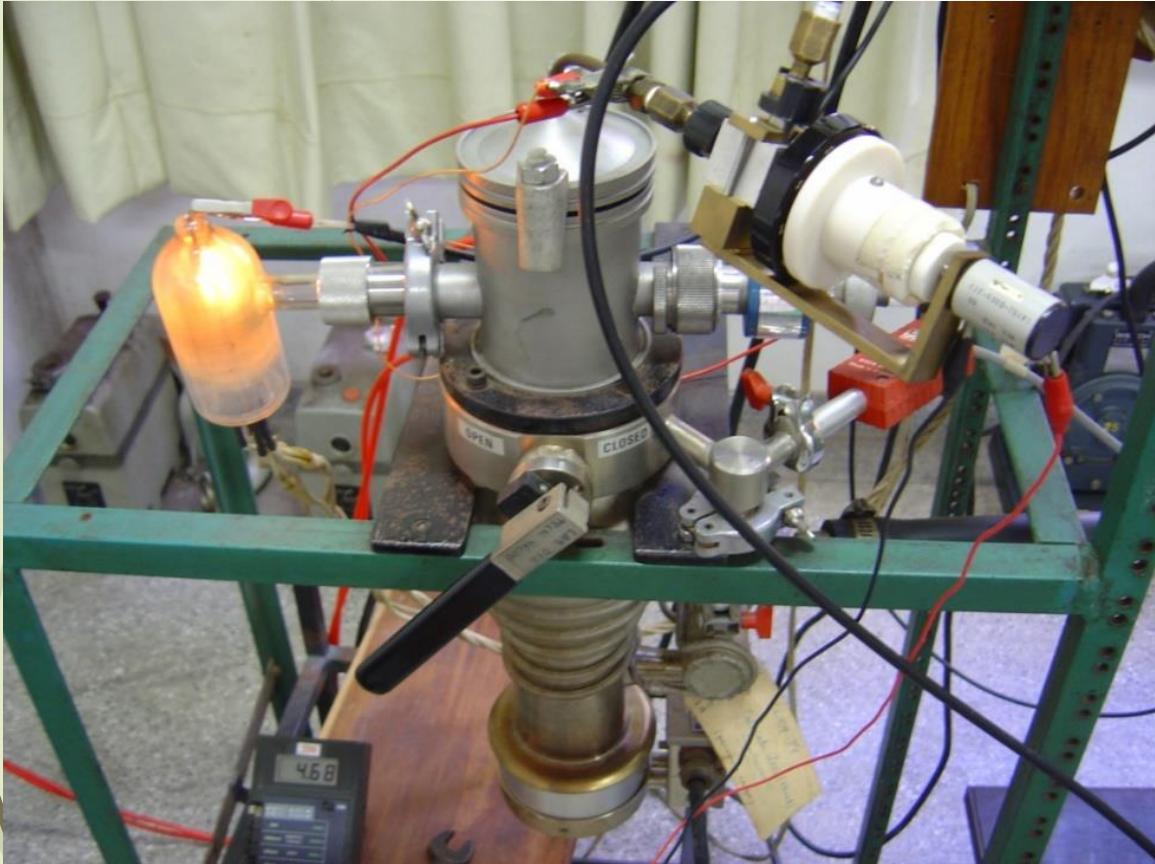
Bomba Mecânica



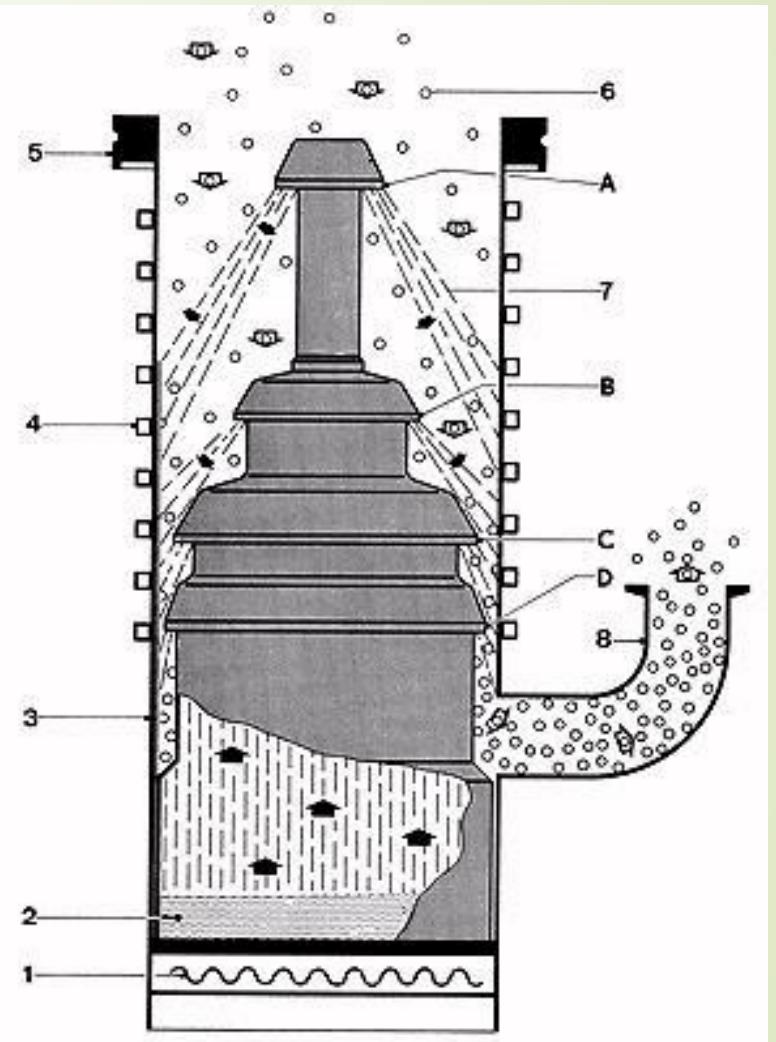
Funções do óleo:

- Vedaçāo
- Lubrificaçāo e ação anti-corrosiva
- refrigeraçāo

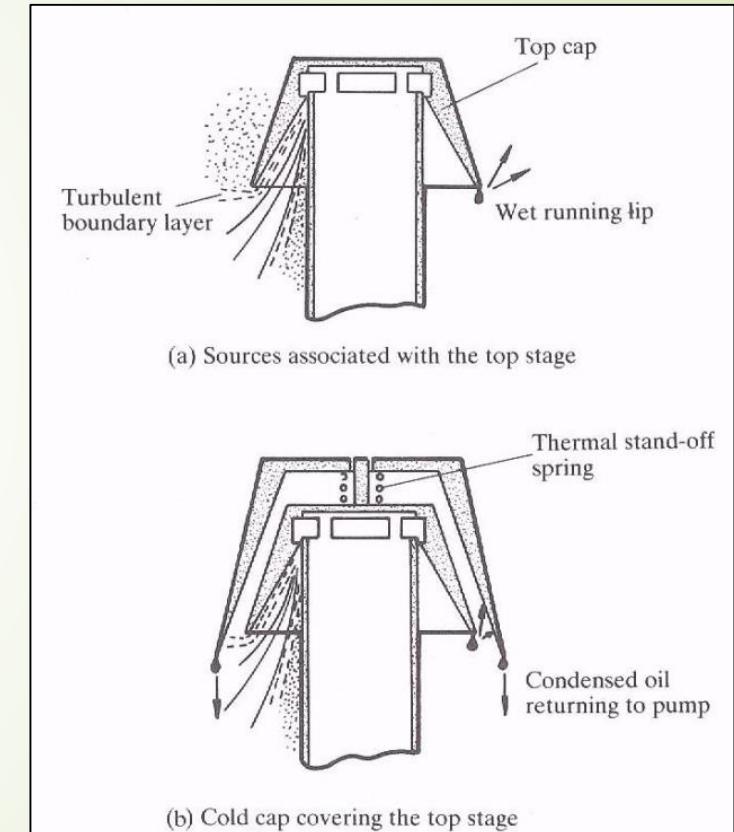
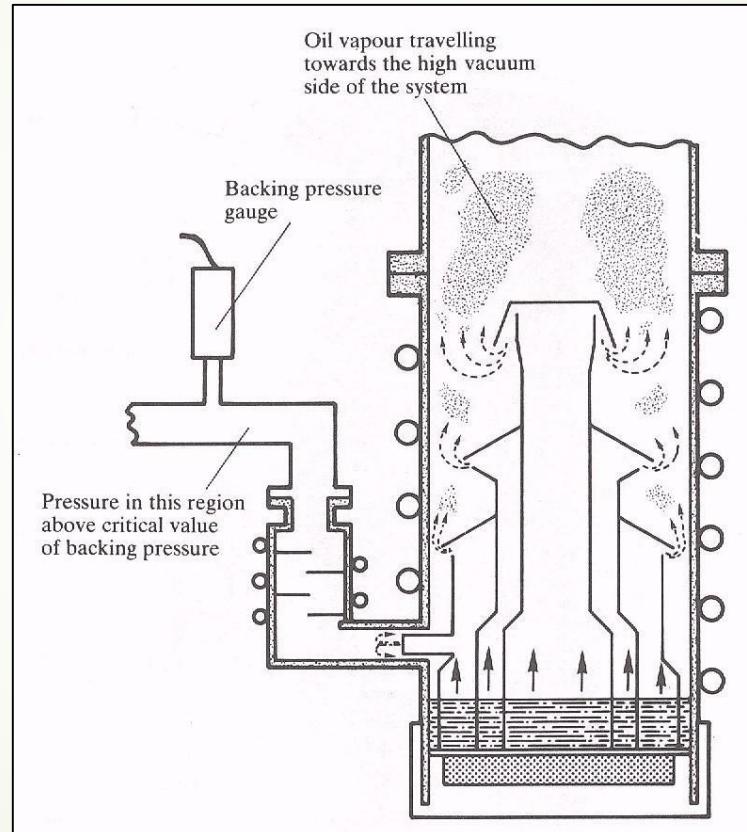
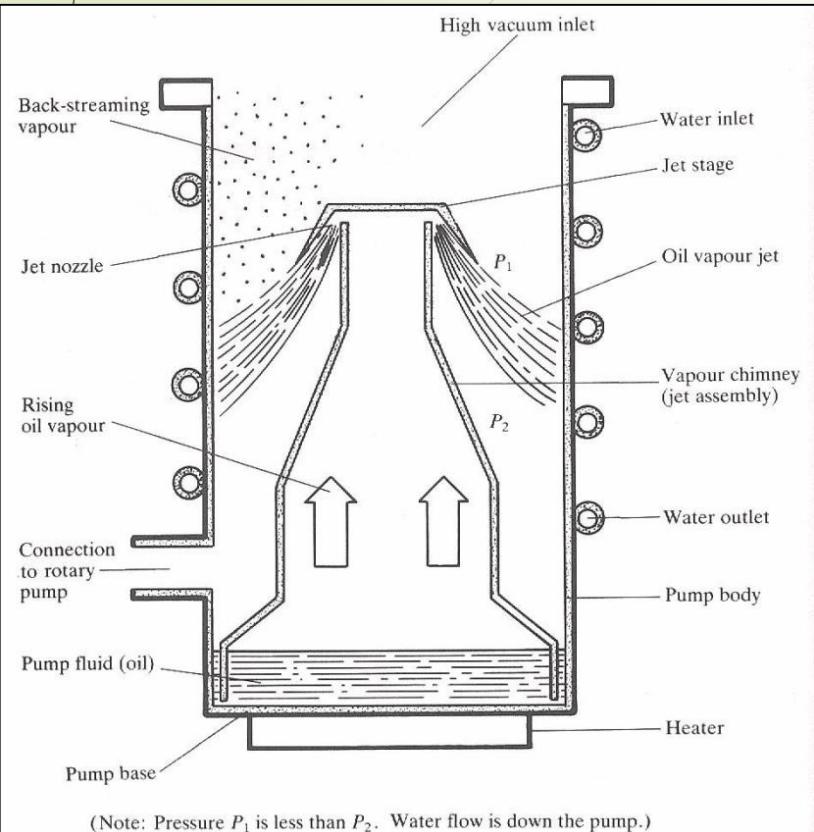
Bomba Difusora



- 1 Heater
 - 2 Boiler
 - 3 Pump body
 - 4 Cooling coil
 - 5 High vacuum flange
 - 6 Gas molecules
 - 7 Vapor jet
 - 8 Backing vacuum connection
- A B C D } Nozzles



Bomba Difusora





Manutenção das Bombas

- Cuidados com a bomba rotativa

Verificar o nível de óleo da bomba

Verificar a tensão de operação

Verificar as condições da correia

- Cuidados com a bomba difusora

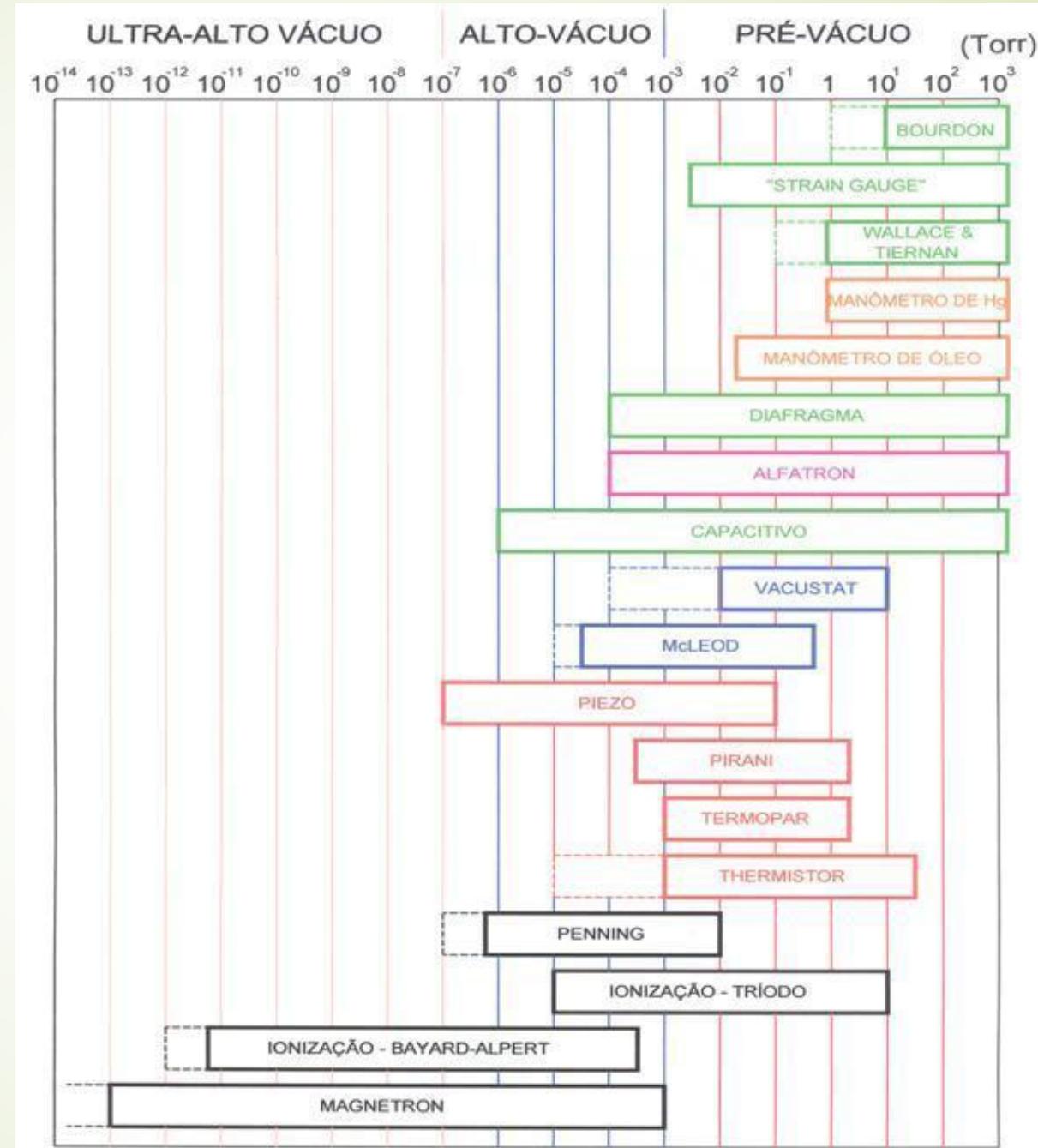
Verificar a tensão da resistência(220 V)

Verificar o fluxo de água ou o ventilador

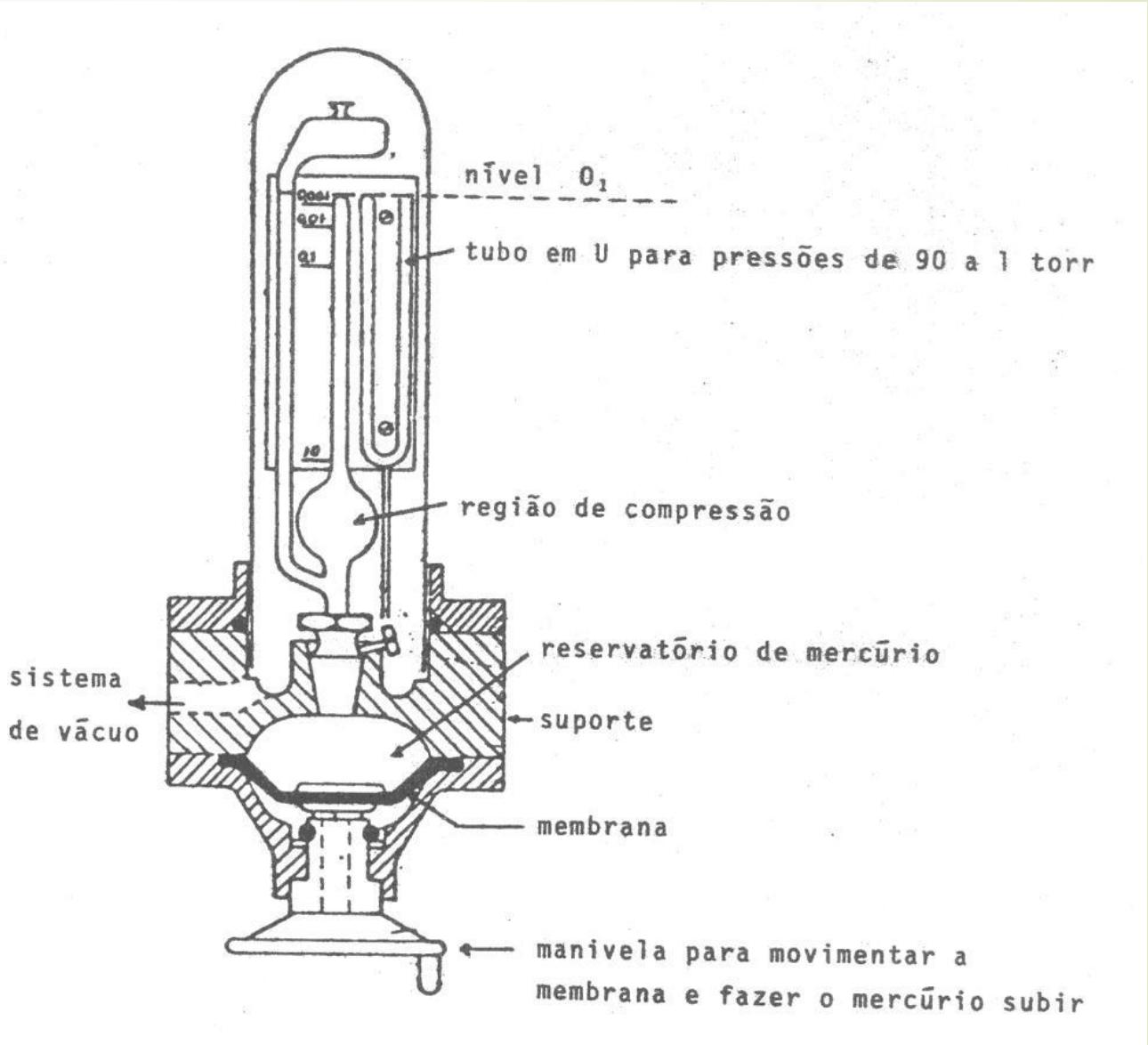
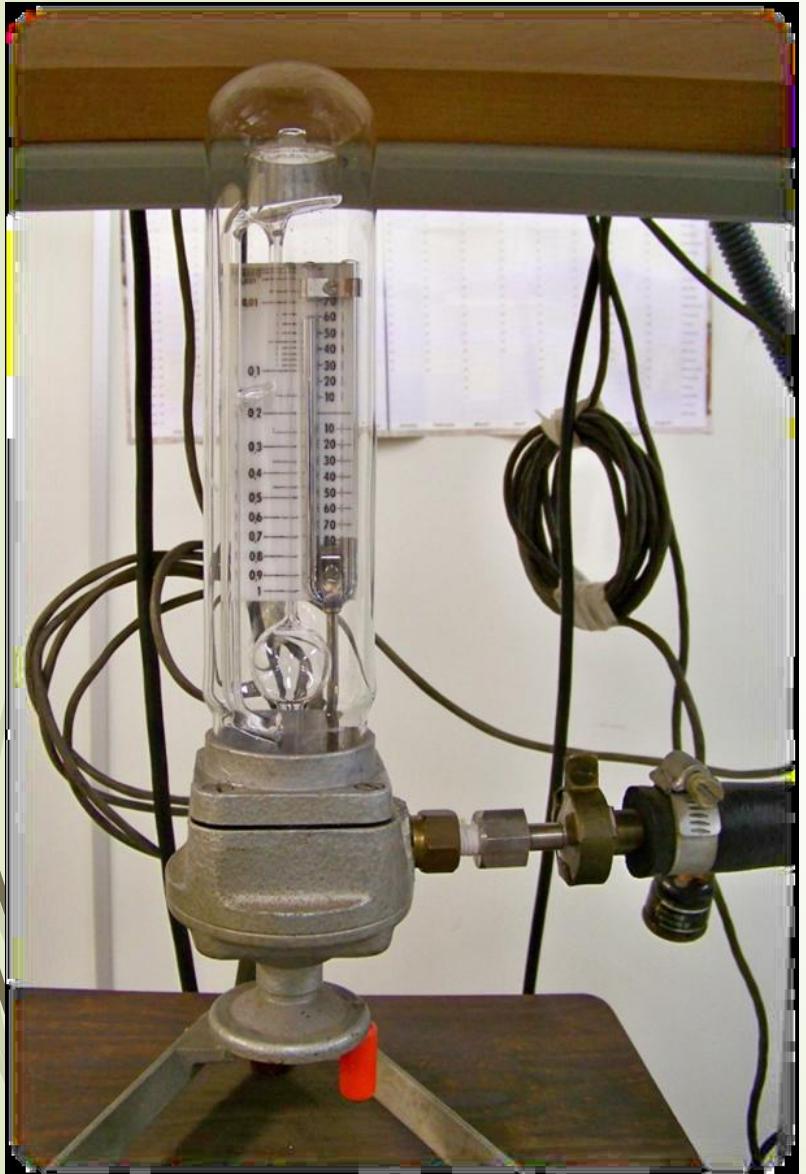
Tomar cuidado para evitar pressões maiores que 10^{-3} Torr .

Vacuômetros

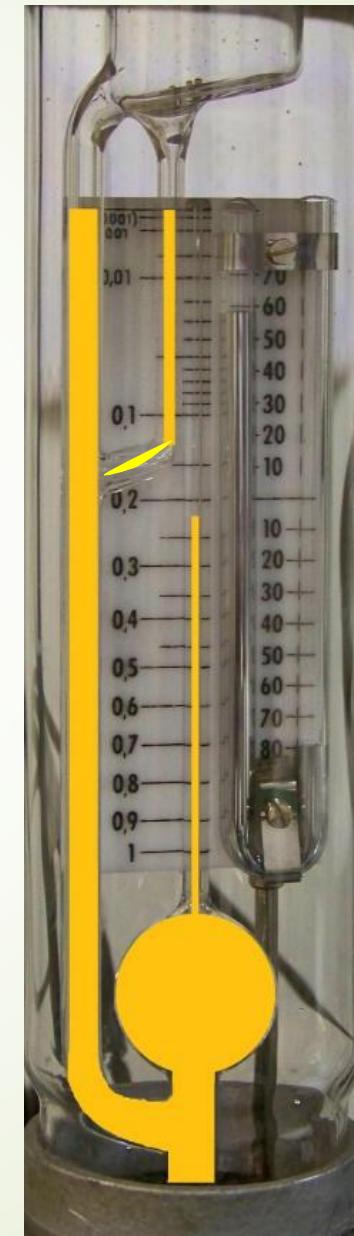
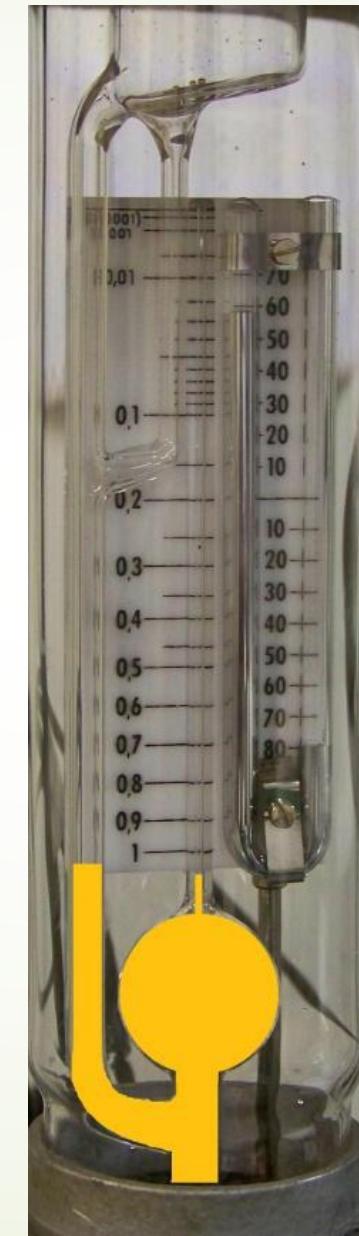
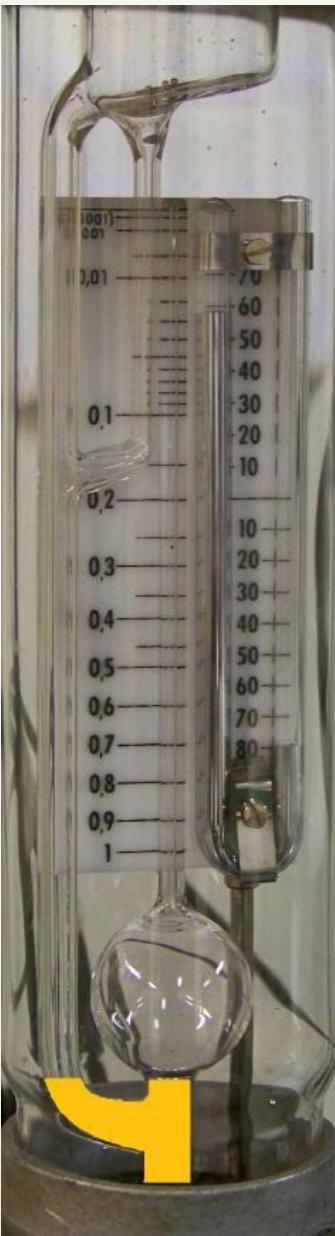
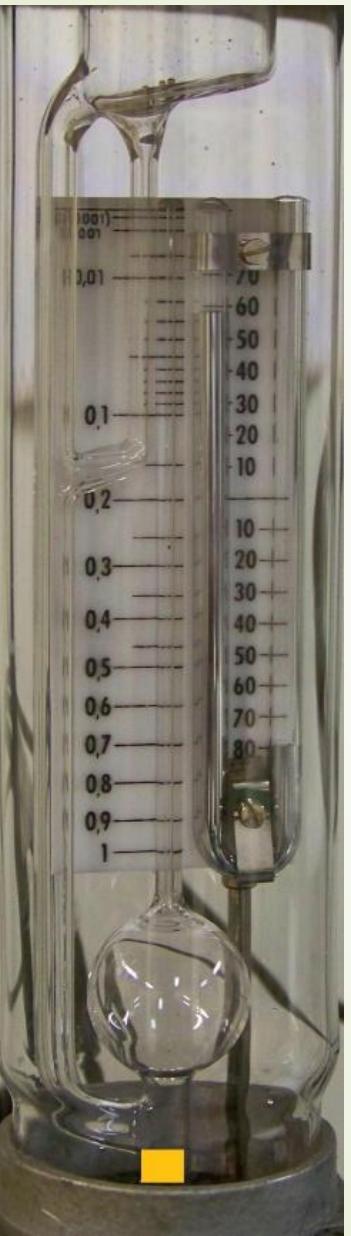
- Wallace & Tiernan
- McLeod
- Vacustat
- Strain gauge
- Pirani
- Termopar
- Thermistor
- Penning
- Bayard-Alpert



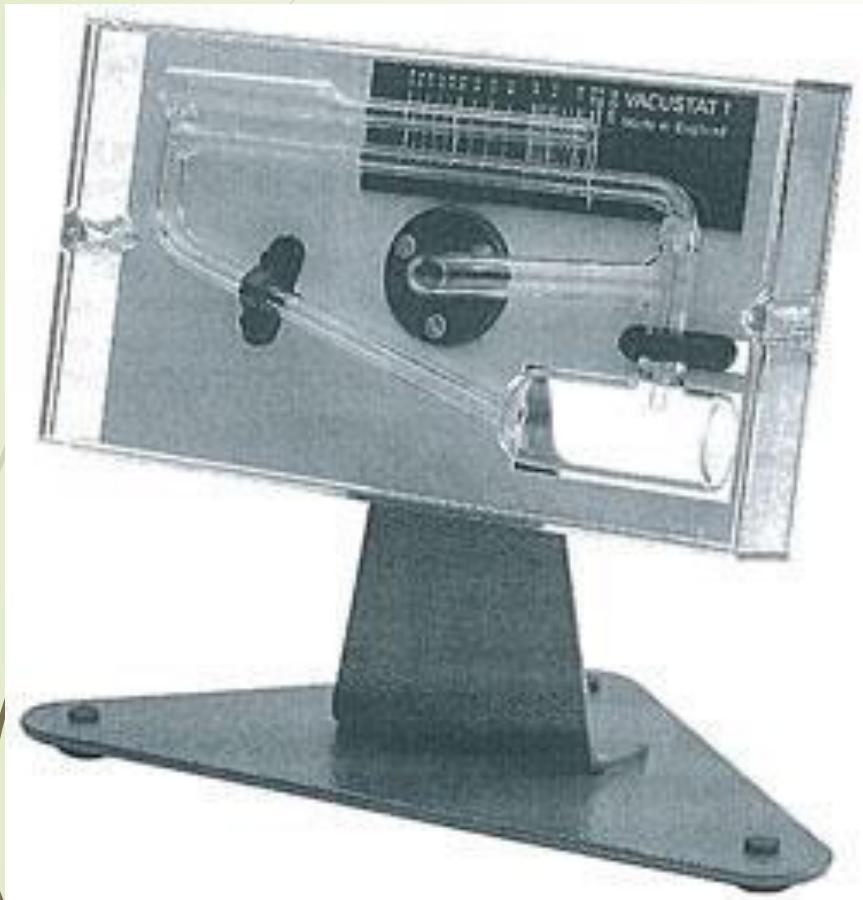
Medidor McLeod ou Kammerer



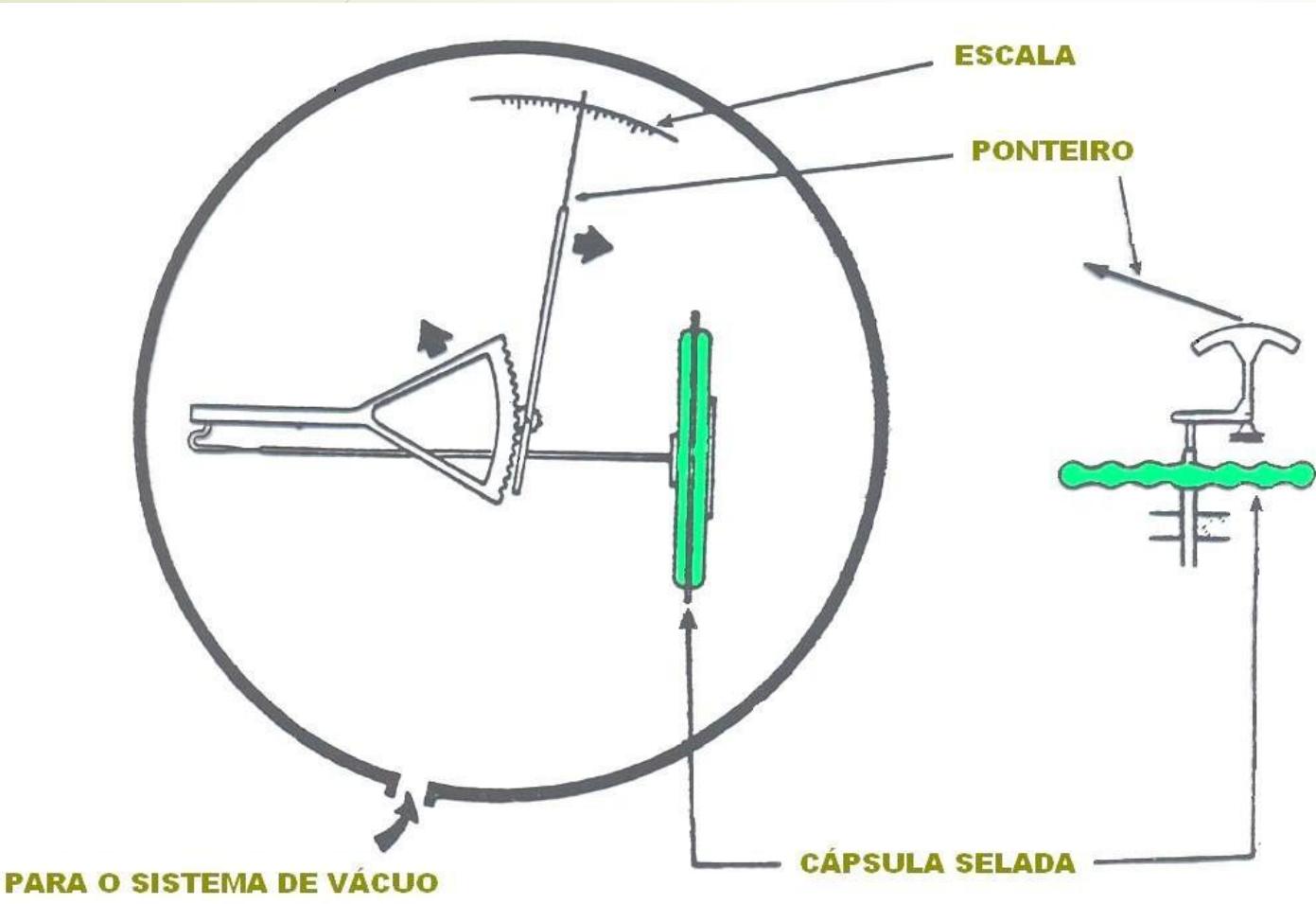
Medidor McLeod ou Kammerer



Medidor Vacustat

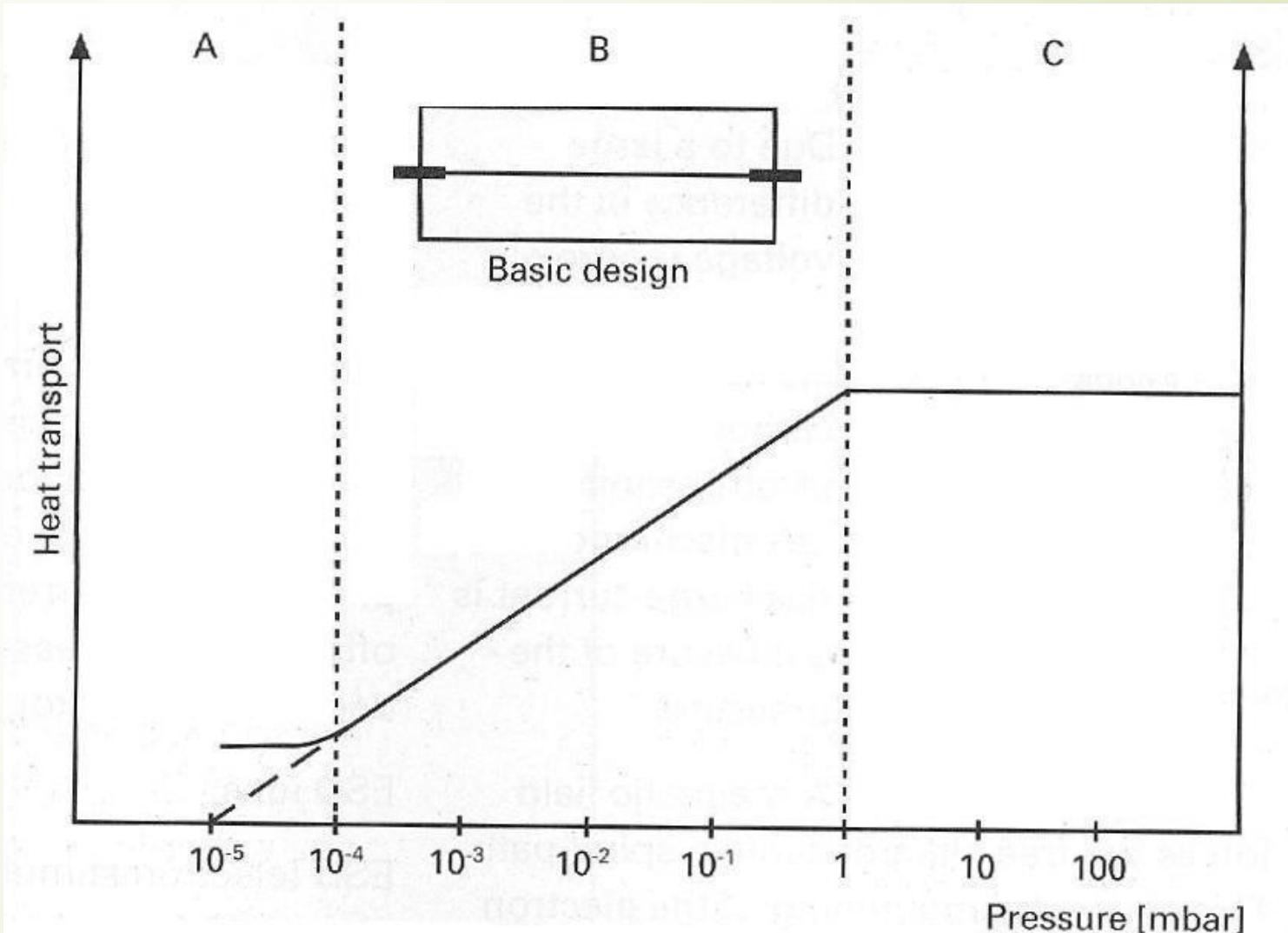


Wallace & Tiernan

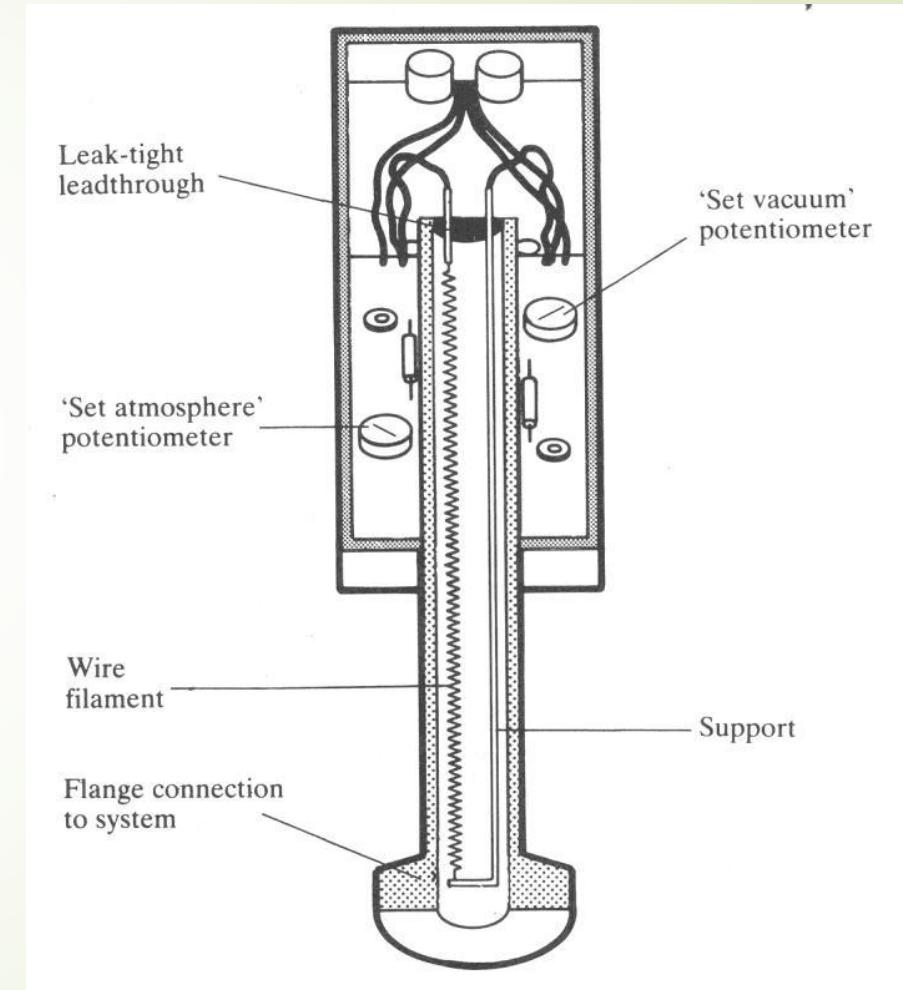
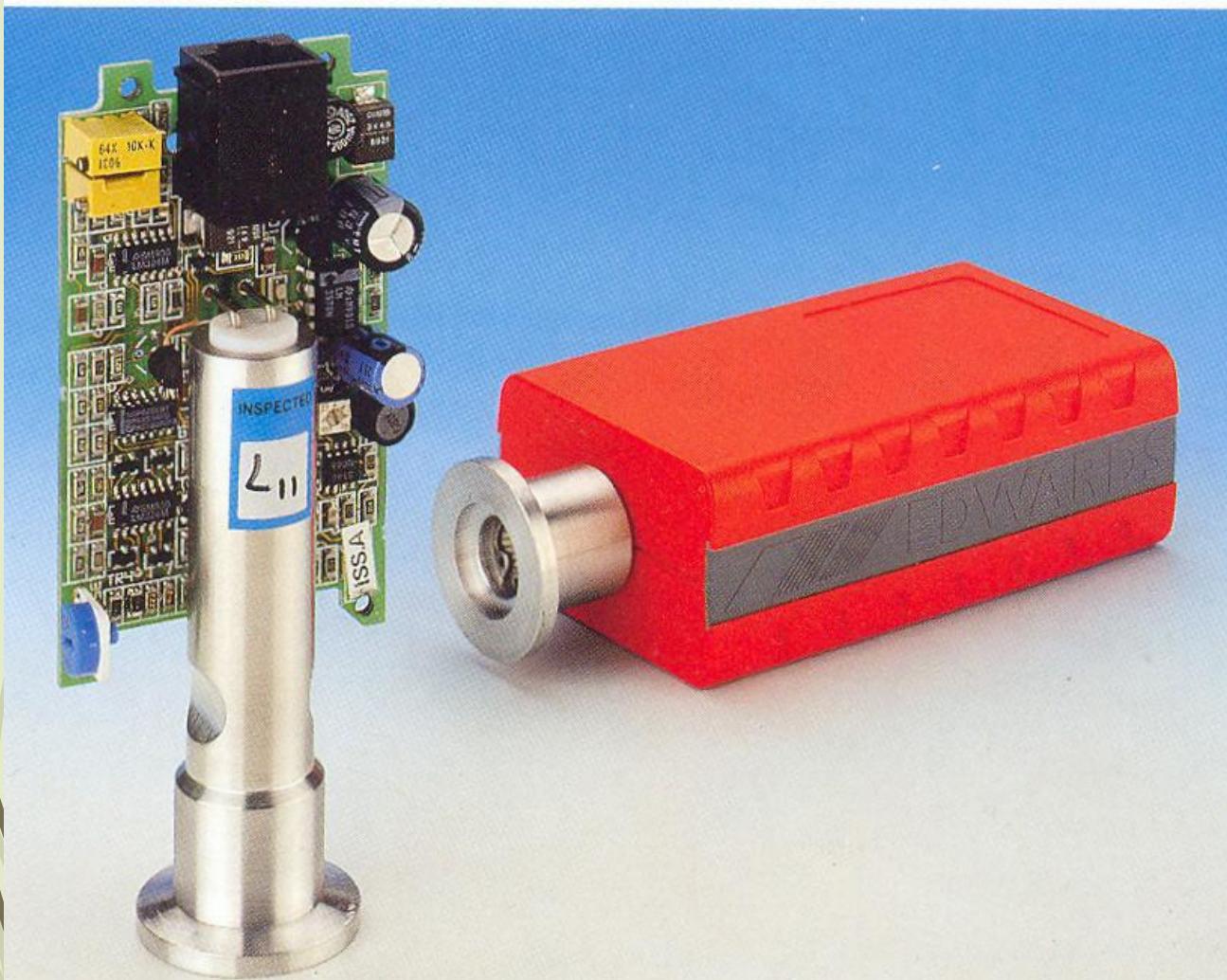


Medidores de Termo-condutividade

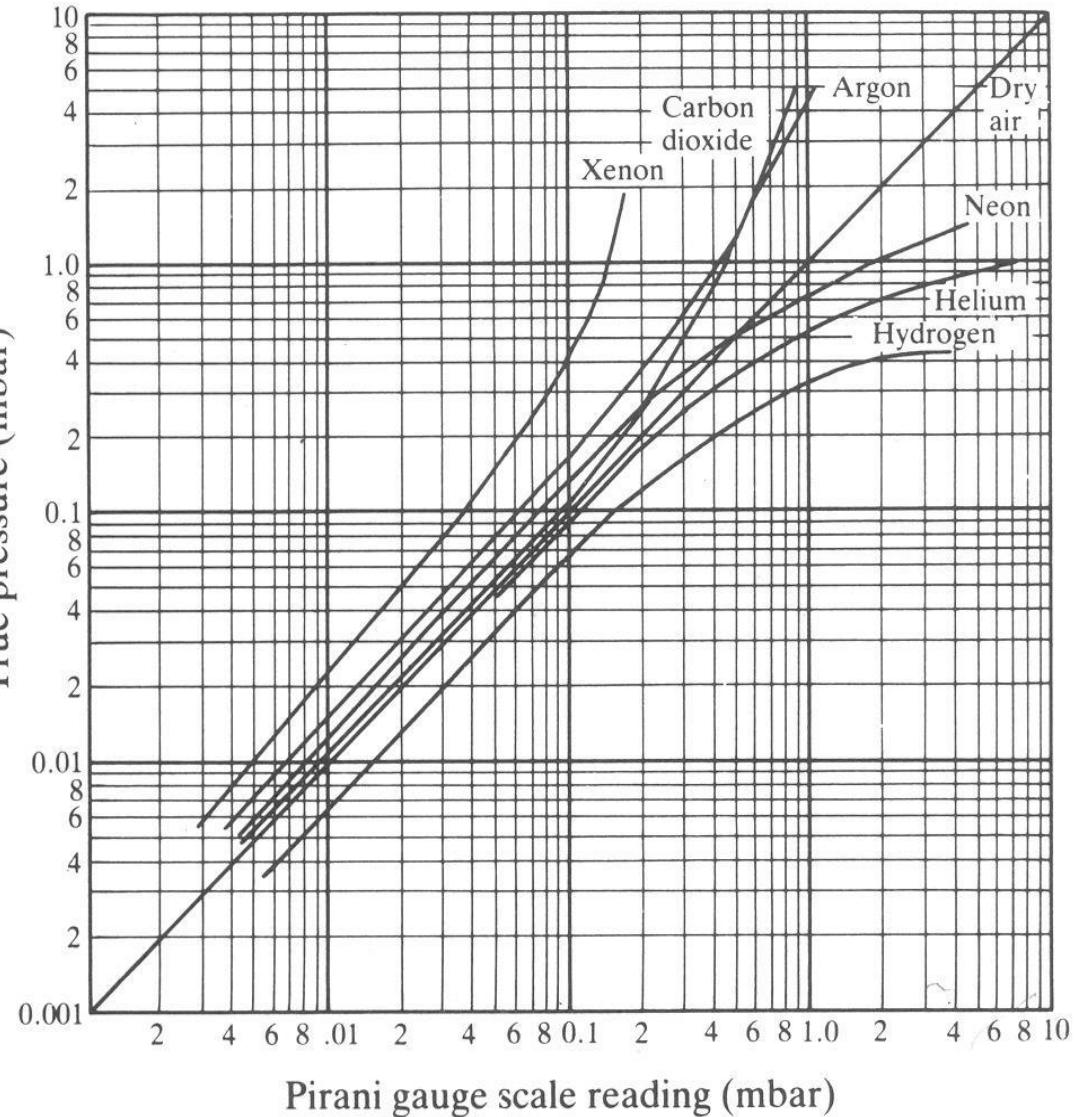
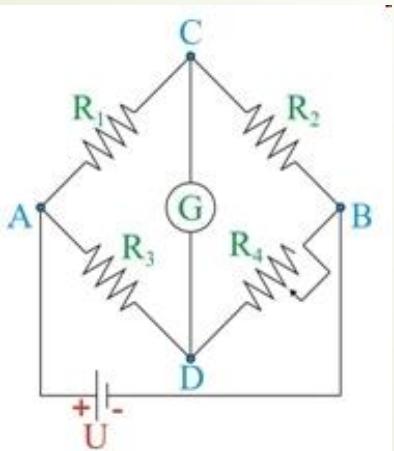
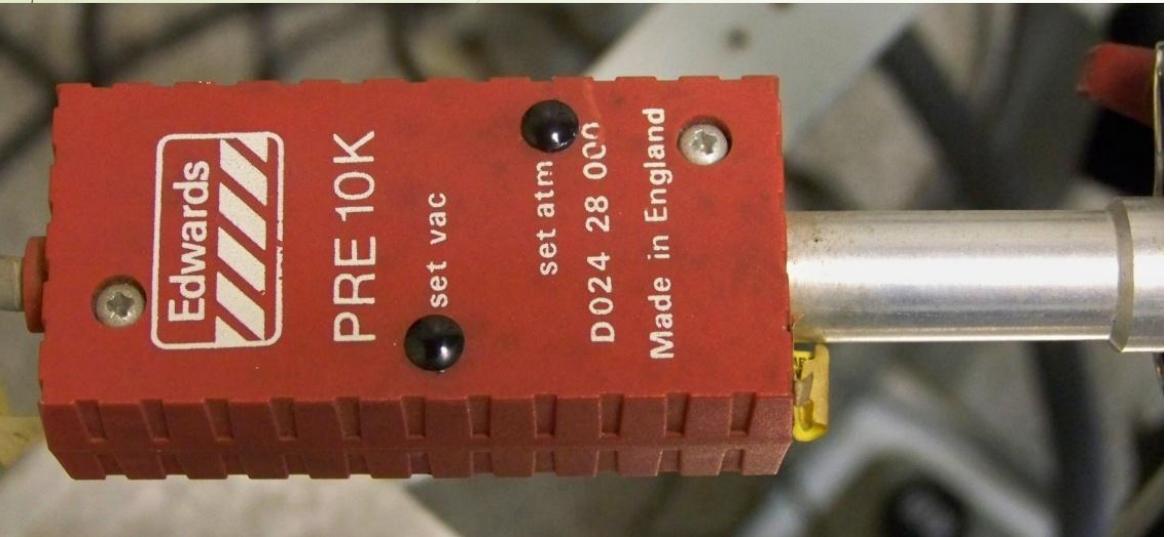
- Condução
- Convecção
- Radiação
- Pressão
- Temperatura
- Resistência



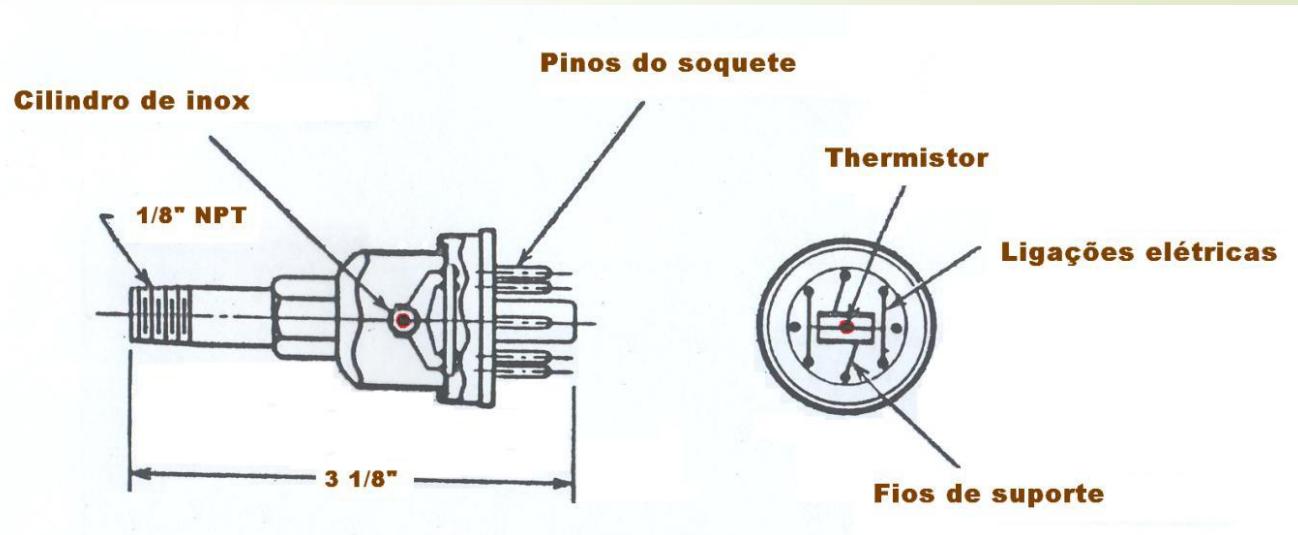
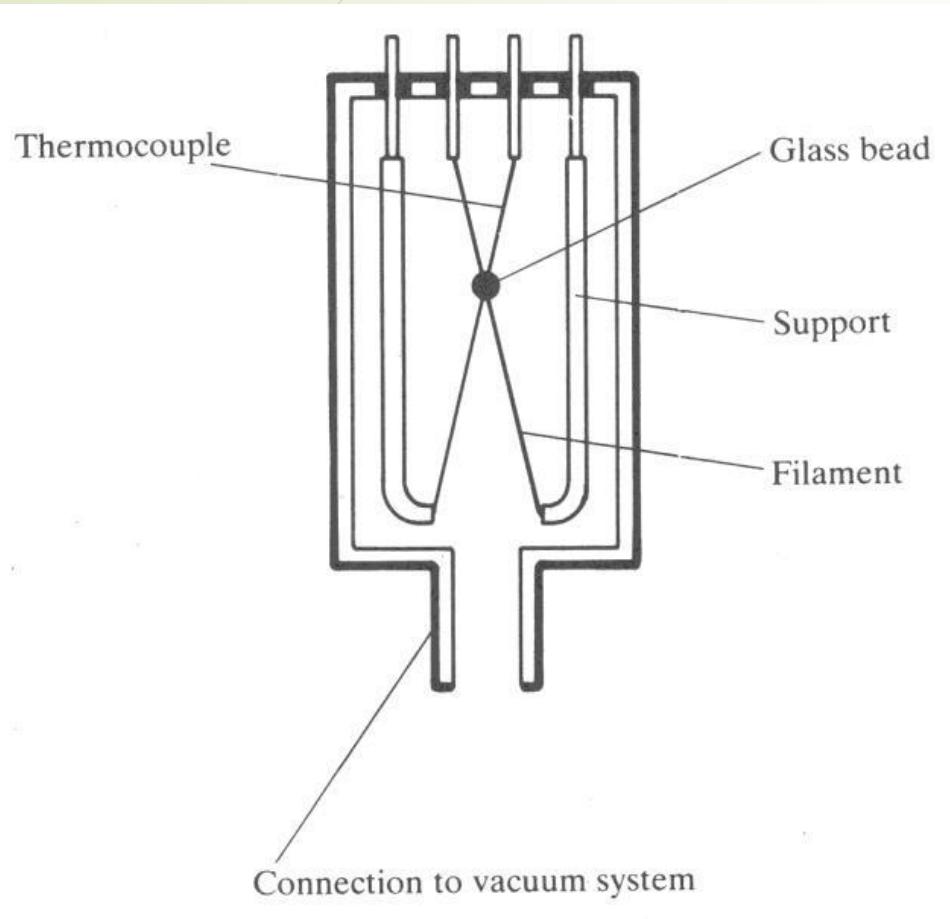
Medidor Pirani



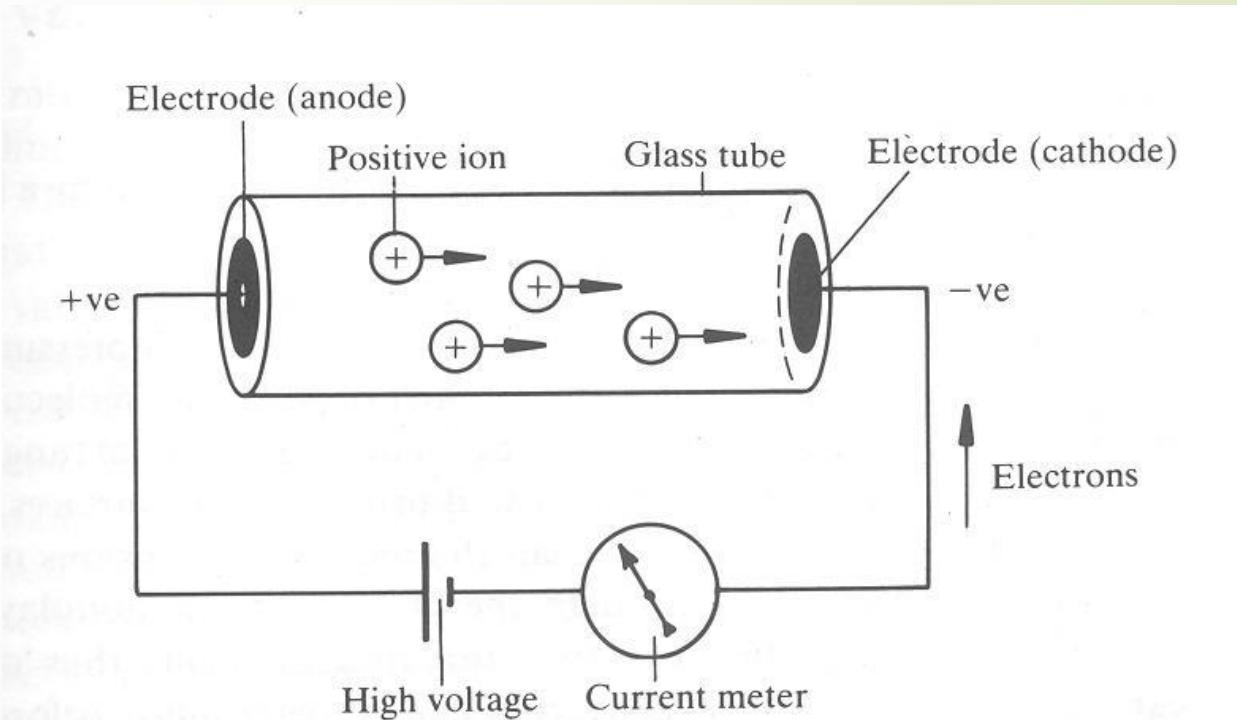
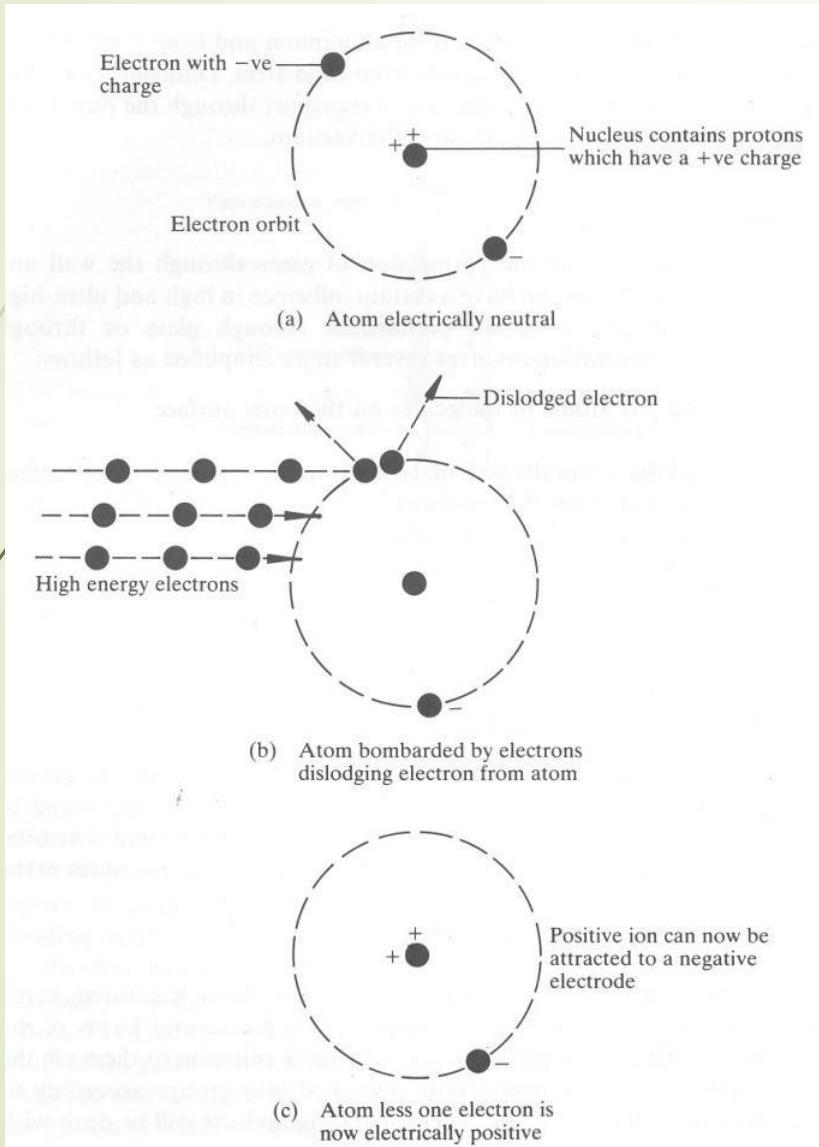
Medidor Pirani



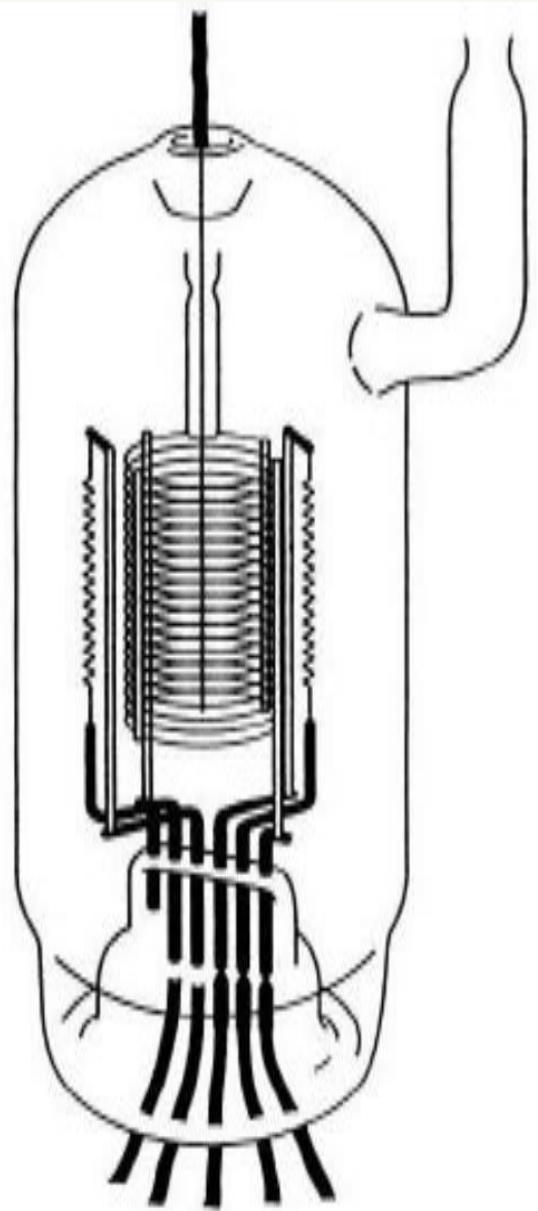
Termopar e Thermistor



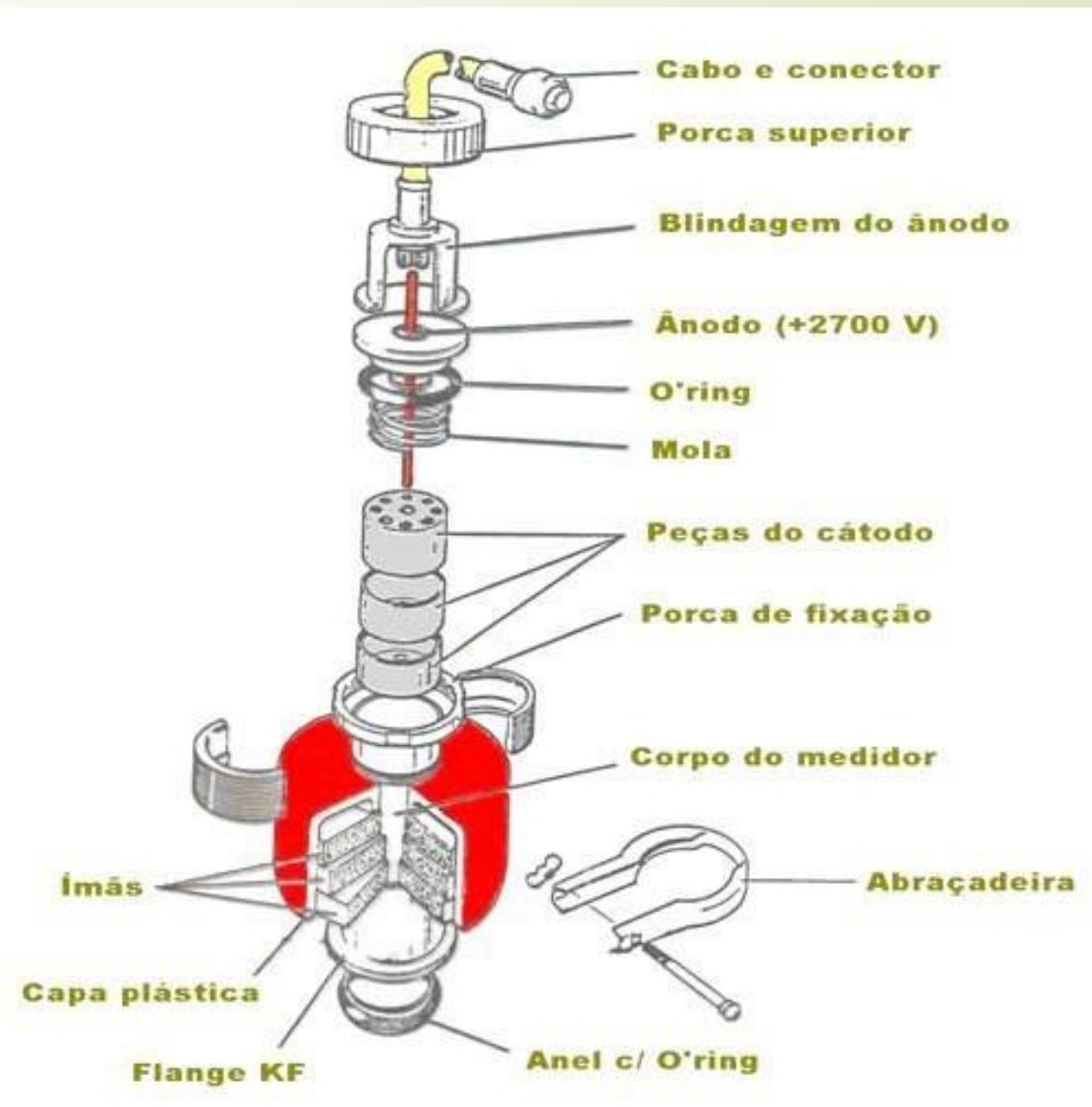
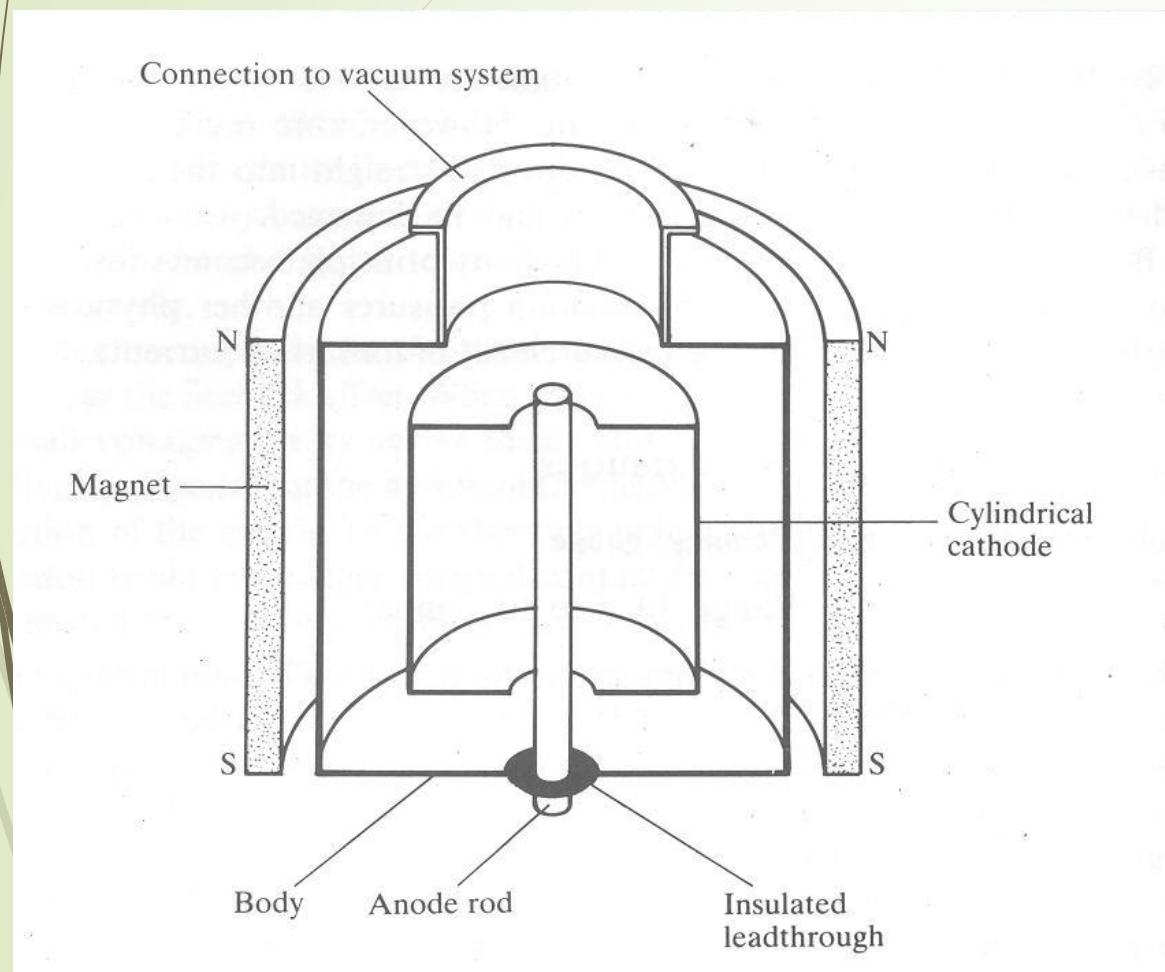
Medidores de Ionização



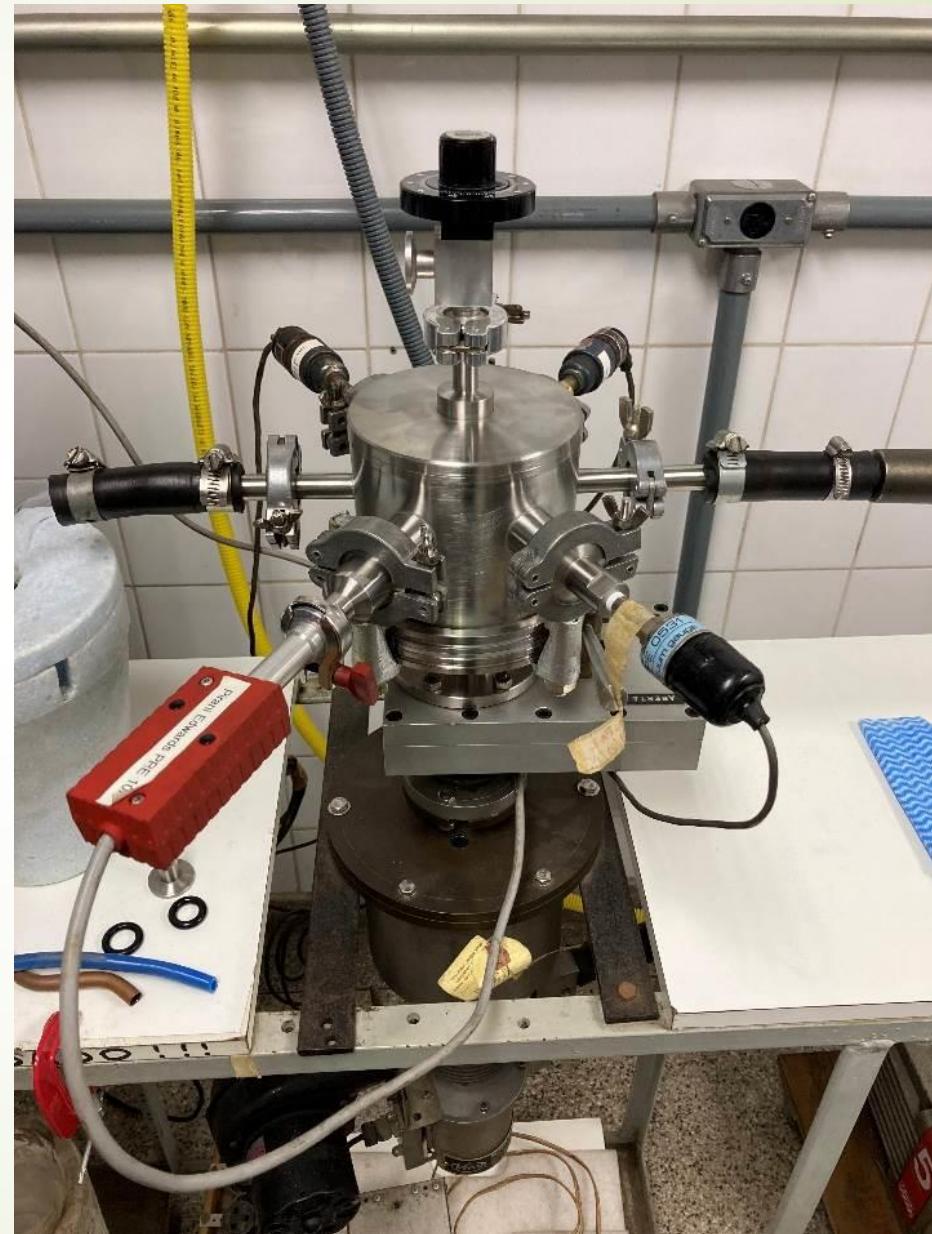
Catodo Quente: Bayard-Alpert



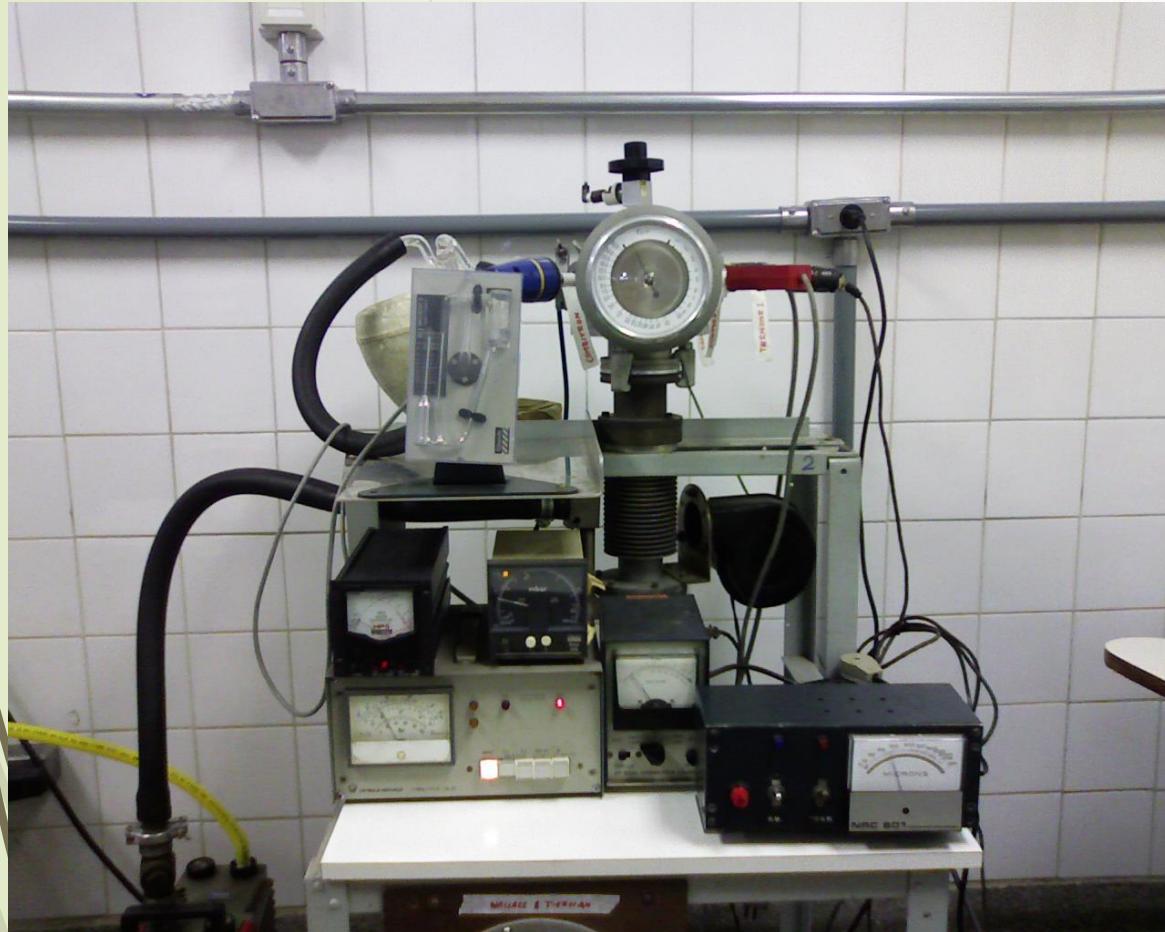
Catodo Frio: Penning



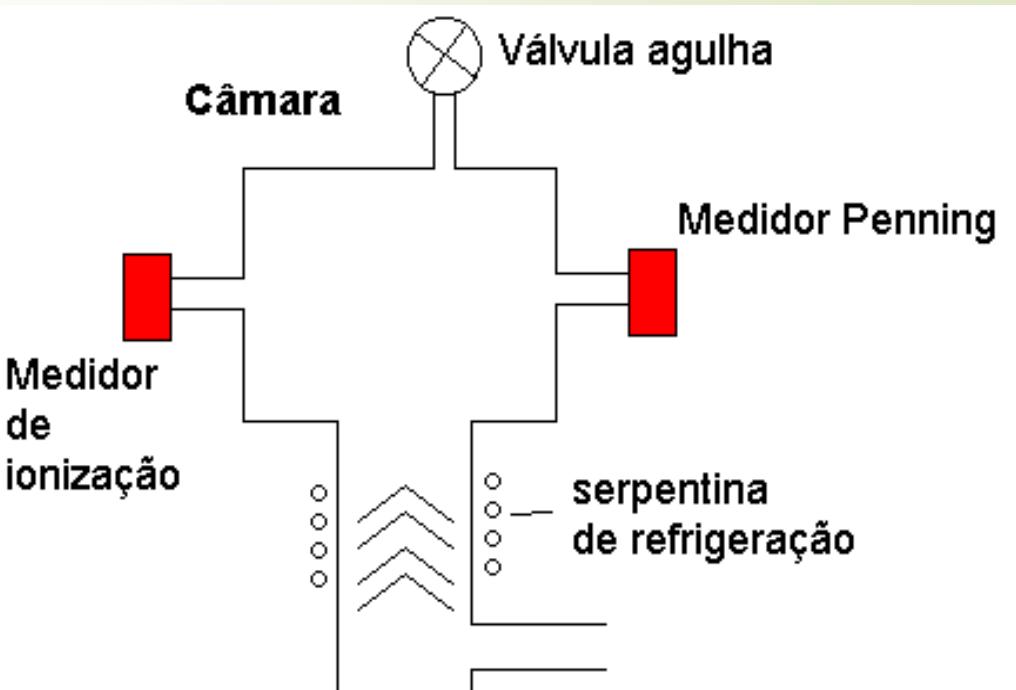
Ciclo 1 – Experimento 1



Ciclo 1 – Experimento 1 - complementos



Ciclo 1 – Experimento 2



Estudos a serem realizados no laboratório

Verificar as características de todos os medidores

Calibração com o medidor absoluto

Estudo das escalas e unidades

Utilização das válvulas

Armadilhas de nitrogênio líquido

Vedações (o'ring) e componentes

Estudo da resposta dos medidores com gases diferentes: Ar, He e CO₂

Procedimentos experimentais

Bancada 1 (McLeod); Bancada 2 (Vacustat); Bancada 3 (Bayard-Alpert)

Identificar todos os componentes do sistema de vácuo

Fechar todas as válvulas e ligar a bomba mecânica

Verificar se todos os medidores estão ligados e funcionando

Verificar possíveis vazamentos

Verificar as escalas e unidades de todos medidores

Verificar o funcionamento de todos os medidores

Iniciar a tomada de dados

Produzir um vazamento através da válvula agulha

Anotar as pressões em todos os medidores

Gases disponíveis: Argônio, Hélio, CO₂

Para caracterizar bem todos os medidores é necessário varrer todas as escalas com um número de medidas suficiente para descrever bem seus comportamentos em vários regimes.

Tabela de conversão de unidades

	bar (dina/cm ²)	mbar	Pa (N/m ²)	atm	torr
bar	1	10 ³	10 ⁵	0,986923	750,062
mbar	10 ⁻³	1	10 ²	0,9869x10 ⁻³	0,750062
Pa	10 ⁻⁵	10 ⁻²	1		0,75x10 ⁻²
atm	1,0132	1,0132x10 ³	1,0132x10 ⁵	1	760
torr	1,3332x10 ⁻³	1,33322	1,33322x10 ²	1,3158x10 ⁻³	1

Ciclo 2 – Experimento 4



Ciclo 2 – Experimento 5

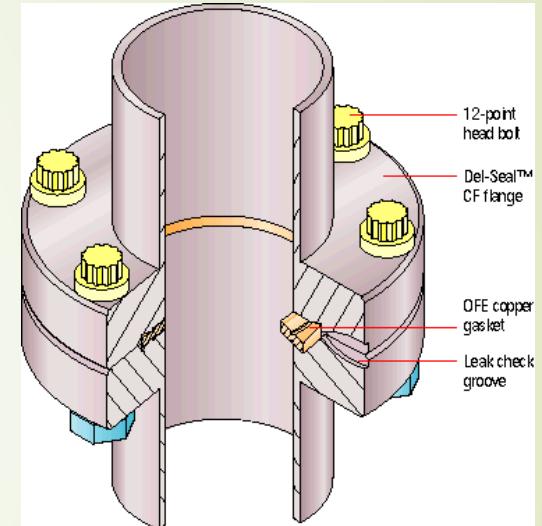


Ciclo 2 – Experimento 6



Experimento 7

Leak Detector, Vazamentos e Componentes



Cronograma do Laboratório

DATA	ATIVIDADE
09/08/24	Aula Introdutória
12/08/24	1º Ciclo de Experimentos – aula 1/3
19/08/24	1º Ciclo de Experimentos – aula 2/3
26/08/24	1º Ciclo de Experimentos – aula 3/3
16/09/24	ENTREGA DO RELATÓRIO 1
30/09/24	2º Ciclo de Experimentos – aula 1/3
07/10/24	2º Ciclo de Experimentos – aula 2/3
14/10/24	2º Ciclo de Experimentos – aula 3/3
29/10/24	ENTREGA DO RELATÓRIO 2
04/11/24	Componentes, Materiais e Vazamentos – Acelerador Pelletron
11/11/24	Fabricação de Filmes Finos

Datas importantes

DATAS PARA ENTREGA DOS RELATÓRIOS– Até às 12h00 min

Relatório 1 - 16/09

Relatório 2 - 29/10

Local: Escaninho Ed. Oscar Sala

Informações Importantes

Folha de dados no final de cada aula.

Os dados são utilizados para uma análise geral

Relatório I (peso 2,0)

Relatório II (peso 3,0)

É obrigatória a entrega dos 2 relatórios nos prazos estabelecidos (até o meio-dia do dia de entrega)

Cálculo da média final: $M_f = (M_p + M_R) / 2$

onde M_p é a média das provas e M_R a média dos relatórios.

Se $M_p < 3$ ou $M_R < 3$ o estudante estará reprovado

Se $3 \leq M_p < 5$ ou $3 \leq M_R < 5 \rightarrow M_f$ será a menor nota e o estudante deverá fazer uma prova de recuperação (R). No caso do laboratório será feita uma entrevista. A nota final será calculada como: $N_F = (M_f + 2R) / 3$

Instruções Para um Bom Relatório

❖ AS MEDIDAS TÊM INCERTEZAS!!!!

- ❖ Procure tirar as dúvidas em sala;
- ❖ Se possível, analise os dados de um experimento antes do próximo, para poder discutir as dúvidas em sala;
- ❖ Organização é fundamental! Ajuda a fazer melhor e mais rápido;
- ❖ Pesquisa bibliográfica pode ajudar bastante na confecção do relatório;
- ❖ Cuidado com as unidades e as ordens de grandeza (potências de 10). Elas mudam de um medidor para outro, se você não estiver atento tomará dados errados, que diminuem a nota;
- ❖ Um relatório tem começo, meio e fim. Nessa ordem.

Instruções Para um Bom Relatório

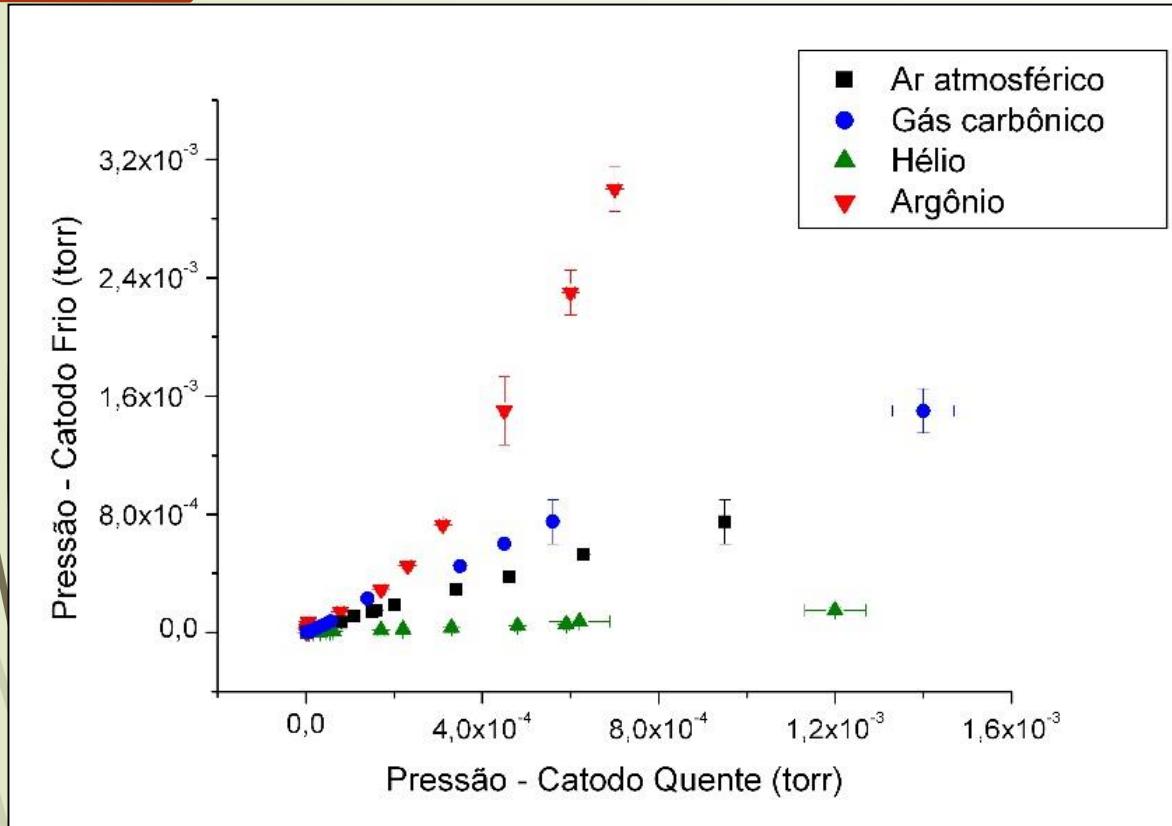


Gráfico bom

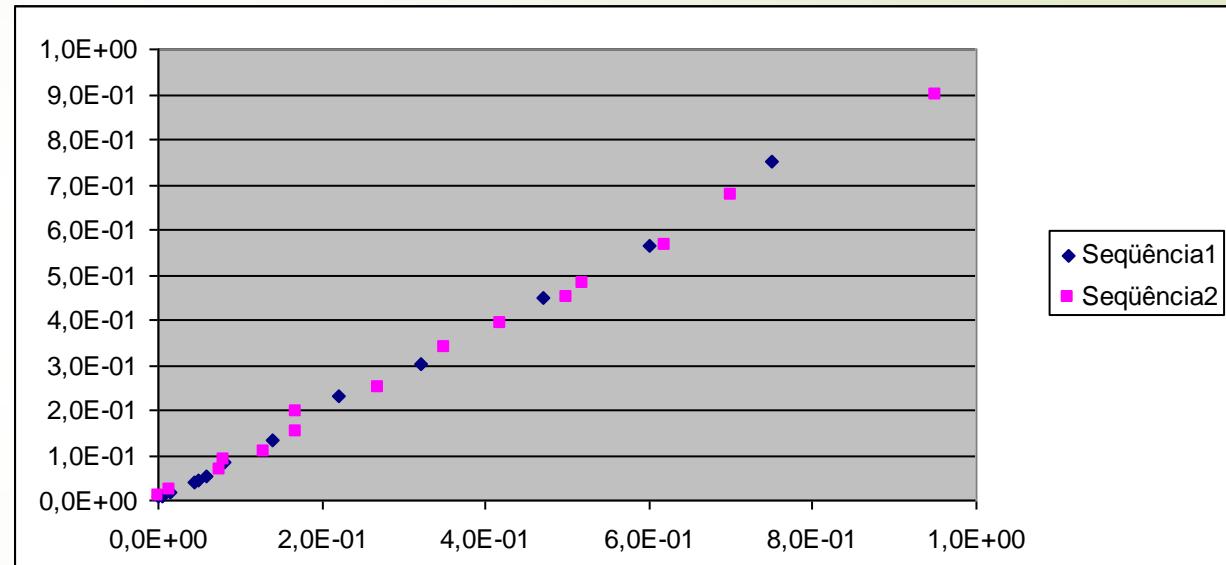
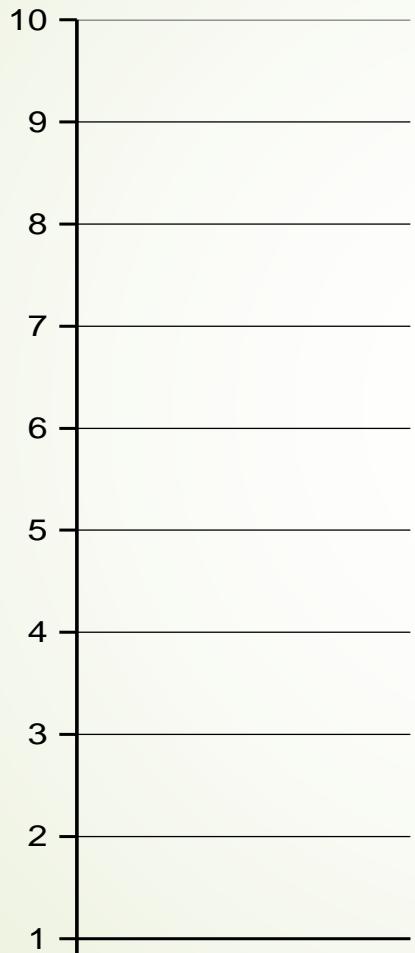


Gráfico (muito) ruim

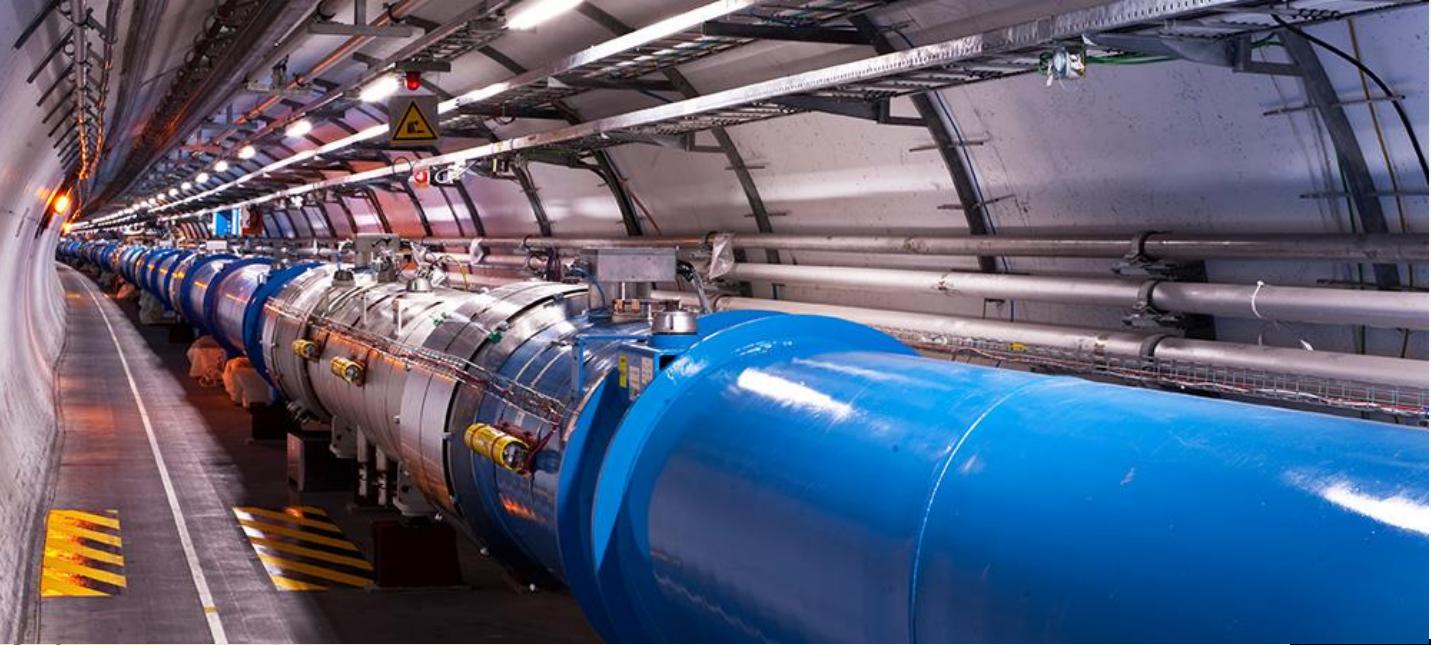
Alguns gráficos podem ficar melhores em escala logarítmica

Escala Linear e Escala Log



Atenção: Alguns medidores de pressão têm escalas logarítmicas





www.testbourne.com

www.ulvac.com



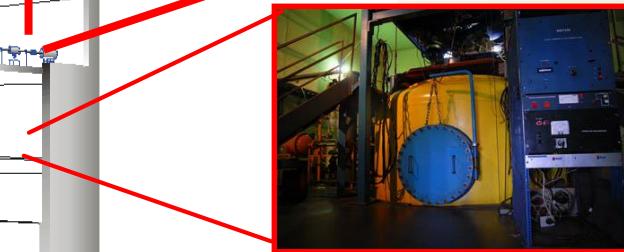
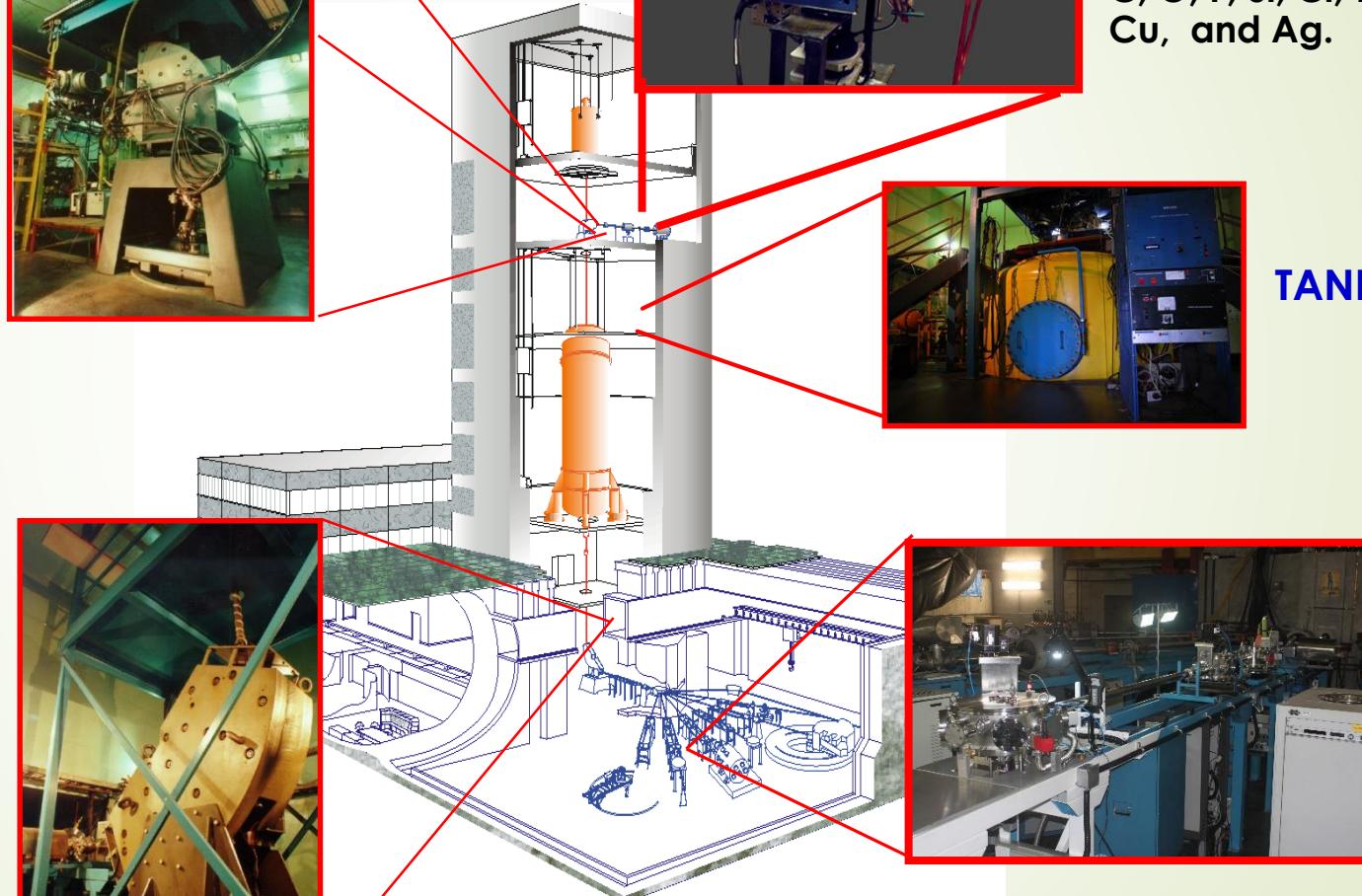
Pelletron Acelerador, tandem, $V_{\max} = 8 \text{ MV}$ (carbon foil stripper)



LAFNA

Mass
selection
ME20

Energy
Selection
ME200



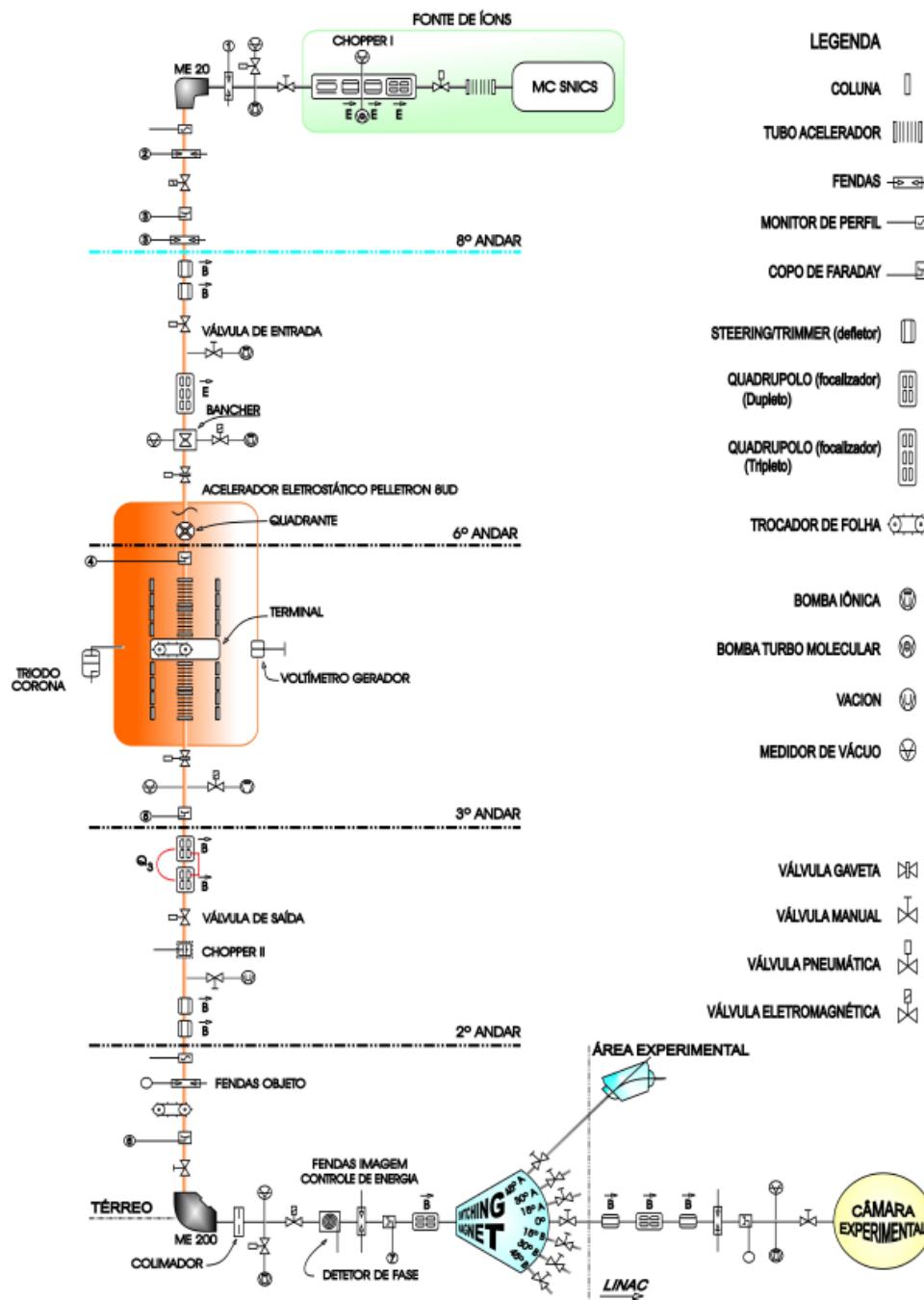
Dedicated beam line

SNICS Ion
source

Beams: H, Li, B,
C, O, F, Si, Cl, Ti,
Cu, and Ag.

TANK

SISTEMA DE MONTAGEM





Laboratório

SALA 1008 - Ala 2



Boas Medidas

e

Boa Sorte