

ARRANJO METROLÓGICO DE PRESSÃO

Caroline Mendes da Silva ¹

Caroline.silva120@fatec.sp.gov.br

Faculdade de Tecnologia de São Paulo - FATEC-SP – CEETEPS São Paulo – SP

Francisco Tadeu Degasperri

ftd@fatec.sp.br

Faculdade de Tecnologia de São Paulo - FATEC-SP – CEETEPS São Paulo – SP

1. INTRODUÇÃO

A metrologia de Pressão representa um papel essencial em diversas áreas da ciência e da indústria, especialmente em sistemas de vácuo, onde as medições precisas são fundamentais para o controle de processos e a otimização do desempenho de equipamentos.

Neste contexto, a presente pesquisa tem como montar uma bancada metrológica para medição de pressão em vácuo utilizando diferentes medidores como coluna de mercúrio, VacustatTM, manômetro de membrana capacitiva e manômetro *Bourdon*. Esses instrumentos proporcionaram medidas precisas de pressão em uma ampla faixa de valores, cobrindo uma faixa de 1300 mbar a 0,04 mbar, permitindo medições precisas em diferentes aplicações laboratoriais e industriais.

2. METODOLOGIA

O desenvolvimento do medidor de pressão visa garantir medições precisas, com a calibração baseada em padrões conhecidos e possibilitando a comparação com valores medidos [1]. O sistema está sendo montado no Laboratório de Tecnologia do Vácuo - LTV (FATEC-SP), permitindo medições em uma ampla faixa de pressão.

As medições fundamentam-se nas leis de *Boyle-Mariotte*, que relaciona pressão e volume de gases a temperatura constante que representa a equação (1), e de *Stevin*, que descreve a relação da pressão em um fluido com altura e densidade apresentada na equação (2). Essas equações permitem

compreender e calibrar as medições em diferentes condições.

A lei de *Boyle-Mariotte*, estabelece que uma temperatura (T) constante, a pressão (p) e o volume (V) de uma quantidade fixa de gás são inversamente proporcionais [2].

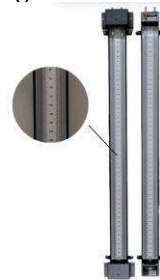
$$p_1.V_1=p_2.V_2 \quad (1)$$

$$p=\rho gh \quad (2)$$

Os medidores são instrumentos essenciais para a medição e o controle da pressão de sistemas. Cada tipo de medidor tem uma característica única, contribuindo com a eficiência e precisão das medições, abrangendo uma ampla faixa de pressão. Neste contexto, abaixo segue os medidores que utilizaremos:

A Coluna de Mercúrio é um medidor primário e preciso, onde utiliza a altura da coluna para medir a pressão, é baseado em princípios conhecidos como a densidade do mercúrio e a aceleração gravitacional. Operando em faixa de valor 10³ mbar até 1 mbar, que é um vácuo parcial[3]. As análises foram conduzidas no laboratório de tecnologia de vácuo (LTV/FATEC-SP), onde o arranjo experimental está em montagem. Para garantir confiabilidade, foram usados distintos medidores.

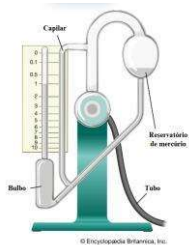
Figura 01 – Coluna de Mercúrio.



Fonte: Silva,C. (2025)

O *Vacustat*TM é utilizado para medir níveis baixos de pressão. Para medir, um volume fixo é comprimido, e a pressão é medida pela altura do mercúrio[5]. Operando dentro da faixa de valores 4 mbar a 4×10^{-2} mbar (0,04 mbar) sendo um Vácuo Médio.[3]

Figura 02– *Vacustat*TM



Fonte: BRITANNICA, The Editors of Encyclopaedia. Vacuum technology. *Encyclopedia Britannica*.(2025).

O manômetro *Bourdon* utiliza um tubo em "C" que se deforma sob a pressão, e esta deformação é convertida em movimento que indica a pressão.[6] Operando em uma faixa de valor de 0,6 bar a 700 bar, representando pressões acima da atmosférica.

Figura 03 – Manômetro *Bourdon*.



Fonte: SCHMIERER GMBH. Manômetro de tubo Bourdon.(2025).

O manômetro de membrana capacitiva utiliza a deflexão de uma membrana flexível sobre pressão, convertendo em um sinal elétrico, proporcional à pressão[4]. Opera na faixa de valores de 10^{-6} mbar a 1000 mbar, sendo utilizado desde Ultra-Alto Vácuo (10^{-6} mbar) até Vácuo Parcial (1000 mbar).

Figura 04 – Manômetro de Membrana Capacitiva.



Fonte: BROOKS INSTRUMENT. XacTorr® Series Capacitance Manometers.(2025).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a montagem da bancada, utilizamos perfis de alumínio com base em um projeto feito no Autodesk Inventor. Após a fabricação das peças, montamos a estrutura e adicionamos duas peças de madeira de 3 cm na frente e no verso. Fixamos a estrutura a uma base de madeira em um carrinho para facilitar a locomoção.

Na etapa seguinte, serão instalados os medidores e realizados testes de estanqueidade por queda de pressão. Esse teste será utilizado para comparação e análise da pressão no sistema (colunas de mercúrio) que possibilita identificar falhas. Os testes foram realizados conforme o estágio que estamos do projeto que é os testes.

A determinação da taxa de vazamento é para garantir a integridade do sistema e a segurança operacional[7]. Para termos maior confiabilidade, utilizamos o cálculo da taxa de vazamento (3), a equação determina que o volume vezes a variação da pressão dividido pelo tempo é igual ao throughput.

$$Q = \Delta p \times V \Delta t \quad (3)$$

A taxa de vazamento Q foi determinada pela variação de pressão ao longo do tempo, onde V é o volume do sistema, Δp é a variação de pressão e Δt o intervalo de tempo.

Após os testes, o mercúrio foi inserido nas colunas após passar por um processo de filtração, realizado para remover possíveis impurezas e garantir a pureza do fluido manométrico.

Figura 07 – Mercúrio.



Fonte: Silva,C. (2025).

Figura 08 – Arranjo experimental.



Fonte: Silva,C. (2025).

4. CONCLUSÕES

A montagem da bancada metrológica de pressão nos possibilita ampliar a capacidade de medições no LTV/FATEC-SP, cobrindo uma ampla faixa de pressão. A utilização combinada de diferentes medidores, que assegura precisão, confiabilidade e rastreabilidade dos resultados, fundamentais para aplicações.

5. REFERÊNCIAS

[1] JOUSTEN, Karl. Handbook of Vacuum Technology. 2^a ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2008. 1050 p.

[2] MARIA EUGENIA, S. *et al.* Tecnologia de vácuo. UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA, 1980.

[3] LEYBOLD. Unidades e faixas de pressão. <https://www.leybold.com/pt-br/knowledge/vacuum-fundamentals/fundamental-physics-of-vacuum/units-and-ranges-of-pressure>. Acesso em: 8 out. 2024.

[4] BROOKS INSTRUMENT. XacTorr® Series Capacitance Manometers. Acesso em: 8 out. 2024.

[5] BRITANNICA, The Editors of Encyclopaedia. Vacuum technology. *Encyclopedia Britannica*, 11 abr. 2019. Disponível em: Acesso em: 8 out. 2024.

[6] SCHMIERER GMBH. Manómetro de tubo Bourdon. Disponível em: Acesso em: 8 out. 2024.

[7]. EDWARDS, Detecção de vazamento sob vácuo Edwards, Edwards.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Tecnologia do Vácuo – LTV da FATEC-SP, pela oportunidade concedida, e à instituição, em conjunto com o CNPq, pela bolsa PIBIC.

¹ Aluna de IC com bolsa PIBIC-CNPq.