



**Vitor Augusto Maschio**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DIDÁTICA SOBRE VÁCUO**

Horizontalina - RS

2022

**Vitor Augusto Maschio**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DIDÁTICA SOBRE VÁCUO**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em engenharia Mecânica na Faculdade Horizontina, sob a orientação do Prof. Dr. Geovane Webler

Horizontina - RS

2022

FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA  
**CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o trabalho final de curso**

**“DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DIDÁTICA SOBRE VÁCUO”**

**Elaborada por:  
Vitor Augusto Maschio**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Mecânica

Aprovado em: 05/12/2022  
Pela Comissão Examinadora

---

Dr. Geovane Webler  
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador

---

Mestra Darciane Inês Mombach Kremer  
FAHOR – Faculdade Horizontina

---

Mestre Jonas Diogo da Silva  
FAHOR – Faculdade Horizontina

**Horizontina - RS  
2022**

Dedico este trabalho a minha família que sempre esteve presente e me incentivou em todos os momentos.

## **AGRADECIMENTOS**

A minha família que sempre me apoio durante toda a jornada acadêmica. Os professores que ao decorrer desses cinco anos contribuíram para a minha formação, em especial ao meu orientador Prof. Dr. Geovane pela ajuda e conhecimentos compartilhados durante o desenvolvimento do trabalho. Aos meus colegas e amigos, que estiveram presente durante toda a jornada.

"Só se pode alcançar um grande êxito quando nos mantemos fiéis a nós mesmos." (Friedrich Nietzsche)

## RESUMO

O aprendizado prático é um meio de estudo que tem por finalidade aprimorar ainda mais o que é visto durante as aulas teóricas, aumentando o interesse e o nível de compreensão sobre o assunto em questão. No caso da engenharia, bancadas didáticas são os equipamentos comumente utilizados para o ensino prático no decorrer das cadeiras. Em geral, a utilização deste meio de ensino acaba tornando-se caro devido ao fato de ser escasso. O objetivo deste trabalho foi trazer conhecimento bibliográfico sobre o vácuo e também projetar e construir uma bancada didática sobre o mesmo para assimilar os dois métodos de aprendizado. O ponto de partida inicial deste estudo foi buscar o conhecimento sobre o assunto e em seguida começar a idealizar o modelo da bancada que seria projetada e construída. Os critérios para que se desse início a modelagem da bancada foram para que o resultado final tivesse um custo acessível e também uma fácil mobilidade. O projeto da bancada continuou, após concluído a modelagem dos principais itens, deu-se início a pesquisa de mercado para obter o melhor preço e manter a qualidade. Com a bancada precificada, foram compradas as peças necessárias e iniciou a fase de montagem e testes. A bancada foi testada e comprovada, e ao final, foi possível obter um meio de aprendizado prático com um preço razoável e também funcional.

**Palavras-chave:** Tecnologia do vácuo. Bancada didática. Experimentos práticos.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 — Sistema genérico de vácuo .....                          | 22 |
| Figura 2 — Tubo de acrílico .....                                   | 34 |
| Figura 3 — Imagem do projeto da tampa da câmara .....               | 35 |
| Figura 4 — Base da bancada.....                                     | 36 |
| Figura 5 — Imagem do modelo da bomba de vácuo.....                  | 37 |
| Figura 6 — Desenho do vacuômetro.....                               | 37 |
| Figura 7 — Montagem parcial da bancada no SolidWorks .....          | 38 |
| Figura 8 — Teste de resistência do tubo de acrílico .....           | 40 |
| Figura 9 — Motor compressor.....                                    | 42 |
| Figura 10 — Itens utilizados no sistema de ar.....                  | 43 |
| Figura 11 — Anéis o-ring.....                                       | 44 |
| Figura 12 — Mecanismo de presa da tampa.....                        | 45 |
| Figura 13 — Vacuômetro.....   | 46 |
| Figura 14 — Sistema de válvulas, conexões e vacuômetro montado..... | 47 |
| Figura 15 — Bancada didática montada.....                           | 48 |
| Figura 16 — Pressão gerada na câmara.....                           | 49 |
| Figura 17 — Garrafa amassada sem vácuo.....                         | 51 |
| Figura 18 — Garrafa em seu estado normal no vácuo.....              | 52 |

## LISTA DE QUADROS

|  |    |
|--|----|
| Quadro 1 — Classe das pressões do vácuo .....              | 25 |
| Quadro 2 — Composição do ar .....                          | 26 |
| Quadro 3 — Possíveis materiais necessários .....           | 29 |
| Quadro 4 — Quadro dos materiais usados e seus preços ..... | 39 |
| Quadro 5 — Quadro de conversões.....                       | 59 |

## LISTA DE SÍMBOLOS

|                  |                                       |
|------------------|---------------------------------------|
| A                | Área submetida a diferença de pressão |
| F                | Força da atmosfera externa (N)        |
| $\rho$           | Diferença de pressão (Pa)             |
| T                | Temperatura                           |
| n                | Massa do gás medida em moles          |
| R                | Constante universal dos gases         |
| V                | Volume do gás                         |
| P                | Pressão                               |
| bar              | Unidade de medida de pressão          |
| N                | Newton                                |
| m <sup>2</sup>   | Metro quadrado                        |
| Torr             | Pressão                               |
| mm               | Milímetros                            |
| N/m <sup>2</sup> | Newton por metro quadrado             |

## SUMÁRIO

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 1       | <b>INTRODUÇÃO</b> .....                          | 12 |
| 1.1     | TEMA .....                                       | 13 |
| 1.2     | DELIMITAÇÃO DO TEMA .....                        | 13 |
| 1.3     | PROBLEMA DE PESQUISA .....                       | 13 |
| 1.4     | JUSTIFICATIVA .....                              | 13 |
| 1.5     | OBJETIVOS .....                                  | 14 |
| 1.5.1   | <b>Objetivo geral</b> .....                      | 14 |
| 1.5.2   | <b>Objetivo específico</b> .....                 | 15 |
| 2       | <b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....               | 16 |
| 2.1     | METODOLOGIAS NO ENSINO .....                     | 16 |
| 2.1.1   | <b>Aprendizado prático</b> .....                 | 16 |
| 2.2     | BANCADA DIDÁTICA .....                           | 17 |
| 2.3     | HISTÓRIA DA TECNOLOGIA DO VÁCUO .....            | 17 |
| 2.3.1   | <b>Começo do estudo sobre vácuo</b> .....        | 18 |
| 2.3.2   | <b>Primeira bomba de vácuo e derivados</b> ..... | 18 |
| 2.3.3   | <b>Sistemas de vedação</b> .....                 | 20 |
| 2.3.4   | <b>Diversidade da tecnologia do vácuo</b> .....  | 21 |
| 2.4     | CONCEITOS DA TECNOLOGIA DO VÁCUO .....           | 21 |
| 2.4.1   | <b>Câmara de vácuo</b> .....                     | 22 |
| 2.4.2   | <b>Tubulação do sistema de vácuo</b> .....       | 23 |
| 2.4.3   | <b>Bomba de vácuo</b> .....                      | 23 |
| 2.4.4   | <b>Pressão de vácuo</b> .....                    | 23 |
| 2.5     | PROPÓSITO DA TECNOLOGIA DO VÁCUO .....           | 24 |
| 2.6     | CONCEITOS BÁSICOS SOBRE VÁCUO .....              | 24 |
| 2.7     | INSTRUMENTAÇÃO .....                             | 26 |
| 2.7.1   | <b>Vacuômetro</b> .....                          | 27 |
| 3       | <b>METODOLOGIA</b> .....                         | 28 |
| 3.1     | PROJETO E CONSTRUÇÃO DA BANCADA .....            | 28 |
| 3.2     | MODELAGEM DA BANCADA EM SOLIDWORKS .....         | 28 |
| 3.3     | MANUFATURA DA BANCADA .....                      | 29 |
| 3.4     | MATERIAIS E PEÇAS DA BANCADA .....               | 29 |
| 3.4.1   | <b>Câmara</b> .....                              | 29 |
| 3.4.1.1 | Tampa da câmara .....                            | 30 |
| 3.4.2   | <b>Base da bancada</b> .....                     | 30 |
| 3.4.3   | <b>Bomba de vácuo</b> .....                      | 30 |
| 3.4.4   | <b>Tubulação, conexões e válvulas</b> .....      | 31 |
| 3.4.5   | <b>Vedações</b> .....                            | 31 |
| 3.4.6   | <b>Vacuômetro</b> .....                          | 32 |
| 3.5     | MONTAGEM .....                                   | 32 |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 3.6     | TESTES .....   | 32 |
| 4       | <b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....                                     | 34 |
| 4.1     | PROJETO E CONSTRUÇÃO DA BANCADA .....  | 34 |
| 4.2     | MODELAGEM DA BANCADA EM SOLIDWORKS .....   | 34 |
| 4.3     | MANUFATURA DA BANCADA .....  | 38 |
| 4.4     | MATERIAS E PEÇAS DA BANCADA .....  | 39 |
| 4.4.1   | <b>Câmara</b> .....  | 39 |
| 4.4.1.1 | Tampa da câmara .....  | 41 |
| 4.4.2   | <b>Base da bancada</b> .....   | 41 |
| 4.4.3   | <b>Bomba de vácuo</b> .....  | 41 |
| 4.4.4   | <b>Tubulação, conexões e válvulas</b> .....  | 42 |
| 4.4.5   | <b>Vedações</b> .....  | 44 |
| 4.4.6   | <b>Vacuômetro</b> .....  | 45 |
| 4.5     | MONTAGEM .....   | 46 |
| 4.6     | TESTES .....   | 49 |
| 4.6.1   | <b>Teste do motor compressor</b> .....   | 49 |
| 4.6.2   | <b>Teste do tubo de acrílico</b> .....   | 49 |
| 4.6.3   | <b>Teste das vedações</b> .....  | 50 |
| 5       | <b>CONCLUSÃO</b> .....   | 54 |
|         | <b>REFERÊNCIAS</b> .....   | 55 |
|         | APÊNDICE A — Cronograma de uma aula sobre vácuo e utilização da bancada didática. .... | 58 |

## 1 INTRODUÇÃO

No decorrer do ensino superior na engenharia percebe-se a complexidade ao relacionar o que foi estudado em aula com os fenômenos que existem, como por exemplo o vácuo. Como forma de auxílio educacional, na formação de novos engenheiros, a utilização uma bancada didática é de suma importância para o aprendizado prático e o fortalecimento do teórico.

De acordo com Amorim (2006), as bancadas didáticas tornaram-se instrumentos indispensáveis para a educação, isso considerando que os conceitos aprendidos em aulas as vezes pode ser insuficiente para o aprendizado para alguns. Além disso, também destaca-se que as bancadas didáticas são dispositivos usados para a educação que tem como objetivo afirmar conceitos vistos em aula teórica.

A utilização de bancadas para experimentos que simulam operações são ferramentas comumente usadas para desenvolver projetos, pois facilitam a visualização do que se é idealizado, mas em menor escala, ajudando a analisar e desenvolver melhor o projeto.

A tecnologia do vácuo trata-se do controle da atmosfera com o objetivo de extrair as moléculas existentes do meio em que está sendo aplicada, e com isso trazendo possibilidades de melhoramentos e viabilizando alguns processos que dependem da atmosfera para serem aplicados (DEGASPARI, 2002).

O vácuo é um fenômeno que, até os dias atuais, não se tem total controle sobre ele. Muito utilizado nos mais diversos meios de produção, como também em equipamentos voltados para a área da saúde, o conhecimento mais detalhado sobre o vácuo é importante para qualquer pessoa que quer adquirir conhecimento.

Como o assunto é de grande importância nos dias atuais e a sua utilização vem crescendo com o avançar da tecnologia. A utilização de uma bancada didática para agregar e facilitar o conhecimento sobre vácuo é uma ótima forma de simplificar o aprendizado sobre o mesmo.

## 1.1 TEMA

Desenvolvimento de uma bancada didática sobre vácuo, com intuito de facilitar o entendimento sobre o assunto para os acadêmicos.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Este trabalho tem como principal propósito projetar e construir uma bancada didática sobre o vácuo, criando um sistema simples e de fácil manuseio para que os acadêmicos que irão usá-lo consigam usufruir do mesmo. Assim gerando maior interesse e entendimento sobre o assunto.

## 1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

Identificar os transtornos e as dificuldades referentes à aprendizagem dentro da sala de aula é um grande desafio para muitos educadores, principalmente aos quais buscam se atualizar e lidar com o ritmo, a inclusão e também com modos distintos de aprender diz (CHIARELLO).

As dificuldades precisam ser entendidas e deve-se trabalhar em lacunas existentes, com isso buscando para que todos os acadêmicos tenham um aprendizado mais efetivo, pois cada estudante tem sua maneira de adquirir conhecimento.

O despertar de interesses em novos conhecimentos é influenciado no que o acadêmico já possui de informações. Sabendo disso, Ausubel (2011) comenta que existem duas condições para que a entendimento de um estudo ocorra, o conteúdo deve ser interessante ao aluno em questão e o mesmo precisa ter interesse de maneira consistente ao material analisado.

Sabendo disso, seria de suma importância desenvolver um projeto de uma bancada didática para que se tenha um aprendizado prático, além de uma pesquisa bibliográfica para trazer junto o conhecimento teórico sobre o assunto, fazendo com que o assunto se torne mais relevante para o acadêmico.

## 1.4 JUSTIFICATIVA

De acordo com Lima (2014), um grupo de pequenas empresas tem controle da construção de bancadas didáticas, assim tornando muito caro e escasso o mercado voltado a esse produto. Além disso, a construção, a montagem e instalações como laboratórios requerem investimentos altíssimos por parte das instituições educadoras no Brasil, que nem sempre conseguem disponibilizar o necessário para esta área.

Um meio diferente pensado para este fim é o desenvolvimento e construção de bancadas experimentais voltadas para a didática em sala de aula, que serão utilizadas para conciliar o aprendizado teórico visto durante a aula, com alguns experimentos práticos feitos através de bancadas didáticas.

Estes pontos serviram de motivação para que fosse feita uma pesquisa bibliográfica sobre o vácuo e também após isso comessem o projeto e construção de uma bancada didática sobre o vácuo. Já que uma vez que concluído este trabalho, com a bancada montada, a mesma poderá ser utilizada pelos acadêmicos para aprimorar o conhecimento sobre o assunto em questão.

Desta maneira, o trabalho em questão contribuirá para que aumente o repertório didático da instituição FAHOR, aumentando a versatilidade de formas para demonstrar e passar conhecimento sobre o vácuo.

## 1.5 OBJETIVOS

### 1.5.1 **Objetivo geral**

Pesquisa bibliográfica dos fundamentos da tecnologia do vácuo e a aplicação da parte prática sobre o mesmo, com o desenvolvimento de uma metodologia para o projeto e a construção da bancada didática sobre vácuo, buscando atrair mais interesse sobre o vácuo.

### 1.5.2 **Objetivo específico**

- Trazer conhecimento teórico sobre o vácuo;
- Identificar o funcionamento de um sistema de vácuo;
- Projetar uma bancada de vácuo;
- Construir uma bancada de vácuo;
- Fazer um cronograma de uma aula com a utilização da bancada.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Sua importância destaca-se pela necessidade de se conhecer o que existe na bibliografia pertinente a área problemática em que está inserido o problema em estudo.

A pesquisa bibliográfica é o primeiro passo de um trabalho científico. Por meio dela é possível coletar e verificar a parte teórica sobre os temas e assuntos que serão de interesse no andamento do trabalho científico (DMITRUK, 2001).

### 2.1 METODOLOGIAS NO ENSINO

O processo educativo deve ser conduzido por metodologias que proporcionem e satisfaçam os objetivos apresentados pelos docentes. A metodologia do ensino pode ser entendida como um "conjunto de procedimentos didáticos, representados por seus métodos e técnicas de ensino" diz Nérice (1978). Com objetivo de alcançar o ensino e aprendizagem, é utilizado esses conjuntos de métodos, buscando a máxima eficácia e o máximo rendimento.

A forma de ensino mudou, com o uso de tecnologias, as oportunidades, os desafios impostos aos professores, com a vinda da tecnologia para o meio acadêmico, exigiram que os educadores se adaptassem com novas metodologias de ensino. Foca-se nas transformações da sociedade e também na necessidade de modificar os tradicionais métodos de ensino e refinar constantemente os saberes e práticas dos docentes (VAILLANT; MARCELO, 2012).

#### 2.1.1 Aprendizado prático

As pessoas adquirem habilidades e conhecimentos para ter uma evolução pessoal e também com objetivo de crescerem profissionalmente. Além disso, Rosenberg (2002) conclui que o aprendizado proporciona trabalho em grupo de forma mais rápida e eficiente, assim proporcionando que as pessoas obtenham benefícios para sua aprendizagem.

A atividade prática é de grande importância para gerar interesse e despertar a curiosidade em acadêmicos (BORGES, 2002). Além disso, o autor complementa

que através dessa forma de aprendizado os estudantes podem interagir com fenômenos que normalmente não possuiriam acesso.

Neste sentido, o laboratório é um ambiente de extrema importância para a formação de acadêmicos, visto que a estrutura do mesmo pode facilitar o entendimento de diversos fenômenos vistos em aulas teóricas, assim despertando o interesse e curiosidade dos alunos (BORGES, 2002). Para ter uma maior compressão sobre o conteúdo teórico que é passado em sala de aula, a atividade prática tem grande impacto na fixação do que foi ensinado. Um efeito de ter as duas forças de ensino juntas sobre o mesmo tema é que o acadêmico irá desenvolver a compreensão sobre o conteúdo, de modo que some as habilidades e conhecimentos.

## 2.2 BANCADA DIDÁTICA

As bancadas didáticas são instrumentos de apoio que, através de experimento, possibilitam ao operador familiarizar-se com os componentes e com o sistema em que está aprendendo e também a verificar a teoria vista em aula (GIORDANI et al, 2003).

Para fortalecer sua cognição de forma mais efetiva, o acadêmico necessita da parte teórica do estudo, depois com simulações e no ao final verifica fisicamente (Anderle apud Kummer, 2003). Isso ressalta a importância que as bancadas didáticas exercem em âmbitos acadêmicos.

O desenvolvimento de uma bancada didática traz uma variedade de utilidades assim atendendo um grande número de experimentos, isso se dá através de customizações. (Schneider, 2003). O autor também enfatiza que após finalizada a bancada, pode-se com o decorrer do tempo adquirir novos componentes para aumentar funcionalidade da banca, fazendo com que haja uma evolução nas possibilidades de testes.

## 2.3 HISTÓRIA DA TECNOLOGIA DO VÁCUO

A muito tempo atrás, por volta de 400 antes de a.C, o filósofo Aristóteles definiu o vácuo como vazio, sendo assim um espaço que não a um corpo,

concluindo como um impedimento lógico na natureza, já que os gregos da antiguidade acreditavam na matéria como substância contínua (SAUNDERS & BROWN, 2002). A partir dessa base sobre substância e outras filosofias propostas por Aristóteles, como os dos quatro elementos inalteráveis serem fogo, água, ar e terra, fizeram o conceito de vácuo ser afastado por volta de 19 séculos (RYANS & ROPER, 1986).

Com os pensamentos de Aristóteles sendo aceito ao decorrer dos séculos como base para formação, foram usados como molde de ensinamento para acadêmicos, sem oportunidade de questionar (RYANS & ROPER, 1986). Tendo isso como base percebe-se que houve grande dificuldade para o povo antigo compreender a pressão que o ar causa sobre um corpo e também a variação da densidade do gás.

### **2.3.1 Começo do estudo sobre vácuo**

Os primeiros experimentos relacionados a validação do vácuo surgiram a partir do século XVII, assim fazendo que a teoria de que “a natureza tem horror a vácuo” cai-se (RYANS & ROPER, 1986).

Tendo início em 1641 por Gasparo Berti, que construiu um barômetro de água bruta, o qual não obteve resultados positivos (REDHEAD, 1999). Após isso, Torricelli em 1643 através de seus experimentos, demonstrou e explicou, o surgimento do vácuo utilizando um tubo feito de mercúrio que foi virado dentro de um recipiente que continha mercúrio. Após virar o tubo que possuía um metro de comprimento, o mercúrio deixou um espaço vazio na extremidade superior do tubo onde foi demonstrado o vácuo, e equilibrando com a pressão atmosférica, visualizou-se uma coluna de 760 mm de mercúrio. O valor em questão tornou-se uma referência atual de pressão atmosférica, utilizada como pressão ao nível do mar, sendo averiguado no ano de 1648 através dos experimentos feitos por Pascal e Perier (GAMA, 2002). Com base nos experimentos de Torricelli, Pascal e Perier fizeram um medidor de pressão atmosférica, também conhecido como barômetro. Até nos dias atuais o barômetro mantém o mesmo princípio de funcionamento de Torricelli.

### **2.3.2 Primeira bomba de vácuo e derivados**

A primeira bomba de vácuo foi criada em 1654 por Otton Guerick, assim colaborando para o começo da engenharia da tecnologia do vácuo, o experimento foi denominado de hemisférios de Magdeburg (RYANS & ROPER, 1986). O experimento do Otton Guerick e de Torricelli, tiveram grande repercussão dentro do que era pensado sobre vácuo, pois no século XVII a filosofia e a religião conduziam a ciência. Para se ter uma noção da grandiosidade que a contribuição de Guerick causou para a ciência, há meros vinte anos atrás do experimento de hemisférios de Magdeburg, o Galileu Galilei, que foi considerado o pai da física moderna, teve uma acusação de heresia pela inquisição papal.

Utilizando-se de uma bomba de vácuo, Guerick retirou parcialmente o ar que ocupava o espaço dentro de dois hemisférios de 119 cm de diâmetro e selados com tiras de couro que estavam molhadas com uma mistura de cera e terebentina (GAMA, 2002). Com isso, Guerick tinha acabado de criar um sistema de vácuo padrão, através de diferença de pressão criada entre a atmosfera externa e interna aos hemisférios, que era formado por uma câmara de vácuo, pela tubulação e uma bomba de vácuo. Para provar que havia gerado vácuo, uma força de oito cavalos não era suficiente para separar os hemisférios por causa da pressão, apenas era possível a separação quando Guerick liberava a entrada de ar, o que comprovava a ação da atmosfera externa em relação a diferença de pressão. De acordo com Rayns & Roper (1986), o experimento dos hemisférios tornou-se inquestionável, famoso difundido na Europa, posteriormente foi publicado em 1657 nos livros de pneumática, hidráulica e mecânica, assim conduzindo outros experimentos em diversos países.

Harsch (2007) fala que com um funcionamento parecido com uma seringa que era acionada manualmente por uma alavanca, a bomba de Guerick era composta fundamentalmente por um cilindro contendo um pistão, Harsch ainda complementa que apesar de não ser uma bomba eficiente, foi capaz de comprovar os efeitos do vácuo perante a natureza. Ao decorrer do tempo, diversos cientistas estudaram, evoluíram e adaptaram a bomba de vácuo de Guerick para as necessidades de seus respectivos tempos, utilizando melhores formas de vedação, e isso se estendeu até o final do século XIX (GAMA, 2002).

Contudo, apenas com o desenvolvimento da física por meio dos estudos com os tubos de descargas elétricas e os gases ionizados, que foram os responsáveis

pela origem da física atômica, é que a tecnologia de vácuo teve um desenvolvimento acentuado e que foi a responsável pela impulsão para o meio científico (DEGASPARI, 2002). Aumentando a demanda para pesquisa também houve um aumento no desenvolvimento das bombas de vácuo, assim como também se teve uma alavancagem nos sistemas de vácuo para que se adaptassem a novas aplicações que exigiam maiores pressões de vácuo. As primeiras lâmpadas são um ótimo exemplo disso, pois para que o filamento incandescente pela alta temperatura não oxidasse na presença de oxigênio dentro do bulbo, necessitavam de um ambiente com vácuo. E, complementa Stempniak (2002), com o mesmo princípio de construção das lâmpadas, apareceram as válvulas termiônicas que eram capazes de controlar formas e níveis de condução de corrente elétrica no vácuo dentro do bulbo.

Com a intenção de obter maiores pressões de vácuo, os cientistas perceberam que haviam diversas adversidades que se relacionavam com outras variáveis as quais não eram consideradas nos sistemas anteriores. Com o desenvolvimento das teorias atômicas e quânticas e os estudos na área da cinética dos gases, os estudiosos deram início ao desenvolvimento de mecanismos e a entender a dinâmica dos gases em baixa pressão, assim levando-os a criar o sistema de vácuo adequado a faixa de alto vácuo (DEGASPARI, 2002). Após isso, aplicações mais tecnológicas nas mais diversas áreas utilizaram-se desse sistema, onde derivaram às bombas de reações químicas por adsorção e também por absorção criogênicas e iônicas.

### 2.3.3 Sistemas de vedação

Para evoluir o sistema de vácuo e obter-se um vácuo com uma pressão cada vez maior, os componentes desse sistema são um fator de suma importância. Bombas cada vez mais tecnológicas não satisfaziam todas as necessidades. Os elementos envolvidos como vedação, tubulação, paredes da câmara, técnicas e matérias possuem tanta relevância quanto a própria bomba de vácuo (O'HANLON, 2003). Desenvolveram-se outros elementos de vedação ao decorrer do tempo em que as pressões também iam aumentando, muito superiores se comparados ao primeiros utilizados por Guericke em sua experiência, onde utilizou tiras de couros

encharcadas com cera e terebentina. Nas câmaras de vácuo de vidro que são totalmente seladas e fundidas a tubulação conectada ao sistema de vácuo, por exemplo, são aplica-se substâncias absorvas internamente na câmara, com finalidade de aprimorar o vácuo (GAMA, 2002).

Os meios mais comuns de vedação nos sistemas de baixo e médio vácuo são os anéis de silicone, plásticos e gaxetas (O'HANLON, 2003). Para sistema de ultra vácuo, atualmente utiliza-se a técnica de aquecimento do sistema de vácuo para desprender as moléculas do gás. Onde todos os dispositivos são de metal, até mesmo o anel de vedação, que comumente é feito de cobre, e para desprender com maior facilidade as moléculas de gás, as superfícies da câmara e da tubulação são polidas (O'HANLON, 2003). Assim sendo, configurou-se diversas tecnologias para cada faixa de vácuo específica, levando em consideração sua complexidade e do seu nível de requerido de vácuo.

#### **2.3.4 Diversidade da tecnologia do vácuo**

Diferente do esperado historicamente, a tecnologia do vácuo derivou-se e não está empregada apenas na engenharia e física, mas também em áreas como química, alimentos, odontologia, medicina, biologia e agropecuária e conclui Chambers (1998) que aos poucos outras áreas vão necessitando desta tecnologia. A tecnologia de vácuo permite o desenvolvimento da microeletrônica e nanotecnologia, como também aprimoramento de inúmeros processos já existentes, assim sendo um elemento indispensável ao mundo moderno.

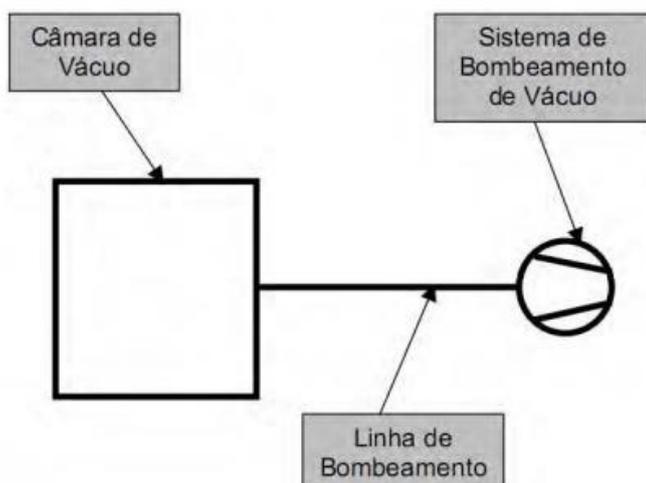
Para finalizar, Saunders e Brown (2002) complementam que os estudiosos e cientistas durante a história da tecnologia do vácuo tiveram a dedicação de obter pressões cada vez maior também de melhorar a qualidade do vácuo. Os mecanismos do vácuo absoluto ainda são desconhecidos, assim fazendo um paralelo com começo de tudo, com as palavras de Aristóteles, mesmo diante de tanta evolução ainda existem fatores desconhecidos.

## **2.4 CONCEITOS DA TECNOLOGIA DO VÁCUO**

Uma das aplicações fundamentais do vácuo é ligada diretamente a retirada de ar e qualquer gás de uma câmara em que se quer realizar algum processo científico ou industrial. Isto é realizado conectando esta câmara uma ou mais bombas de vácuo, com auxílio de tubulações, conexões e válvulas. Agregando um medidor de vácuo, um vacuômetro, pode-se conhecer o grau de vácuo.

Na área da tecnologia do vácuo os sistemas, como na figura 1 mostra, são formados por três elementos principais que Guerick definiu na antiguidade com sua primeira experiência com os hemisférios. Como já se sabe, a função básica do sistema de vácuo em geral é criar e garantir baixas pressões na parte interna de uma câmara de vácuo.

Figura 1 — Sistema genérico de vácuo



Fonte: Degaspari (2002).

#### 2.4.1 Câmara de vácuo

É na câmara de vácuo em que os experimentos serão realizados. Isso a torna o elemento de maior relevância para o sistema, pois ela permite que se possa controlar a atmosfera no ambiente dela. A câmara precisa resistir a diferença de pressão submetida entre ela e o ambiente externo. A diferença de pressão dentro da câmara age de forma que a pressão externa afeta todos os seus extremos, causando uma tensão no sentido de implodi-la (ÇENGEL & CIMBALA, 2007).

### 2.4.2 Tubulação do sistema de vácuo

A tubulação dos sistemas de vácuo tem como finalidade conectar a bomba de vácuo à câmara, com intuito de criar um circuito que liga os dispositivos do sistema (CHAMBERS et al 1998). A tubulação pode ser diferente para cada caso, sendo flexíveis com finalidade de fácil manuseio e mobilidade, ou então modelo rígido que se pode aplicar válvulas específicas que alguns sistemas de vácuo complexos possuem.

### 2.4.3 Bomba de vácuo

Para criar uma diferença entre a pressão natural e a pressão dentro de uma câmara e de uma tubulação, usa-se a bomba de vácuo que gera um desequilíbrio de pressões no sistema. Sabendo disso, pode-se dizer que na entrada da bomba existe uma pressão menor que em qualquer ponto do sistema de vácuo (MOUTINHO et al, 1980). Com esta desigualdade de pressão proporciona-se uma corrente de gás dentro do sistema, que busca esvaziar a quantidade de gás correspondente à diferença criada pela bomba. Assim pode-se dizer que quanto maior a diferença de pressão, menor será a quantidade de gás contida dentro do sistema de vácuo.

### 2.4.4 Pressão de vácuo

De acordo com o que se tem na literatura e também é utilizado até nos dias atuais, o cálculo da força em relação a pressão é dito como uma força que a atmosfera exerce em cima de um objeto que está sujeito a uma diferente pressão. Essa diferença pode ser calculada através de uma equação.

$$\rho = \frac{F}{A}$$

Onde:

$\rho$  - Diferença de pressão (Pa)

F - Força da atmosfera externa (N)

A – Área submetida a diferença de pressão (m<sup>2</sup>)

Através da equação, sabe-se que para uma mesma diferença de pressão, pode-se possuir uma força proporcional e diferente da área que é utilizada, com base nisso a espessura da câmara de vácuo deve ser resistente o suficiente para aguentar a força exercida na mesma. O vácuo pode criar uma diferença de pressão de até 10<sup>5</sup> Nm<sup>-2</sup> (DEGASPERI, 2002).

O sistema que possui uma pressão abaixo da atmosfera padrão é definido como pressão de vácuo. Sabendo disso, pode-se calcular a diferença da pressão do sistema usando a desigualdade das pressões do vácuo e da atmosfera que agem na câmara (RYANS & ROPER, 1986).

## 2.5 PROPÓSITO DA TECNOLOGIA DO VÁCUO

Como seus principais objetivos a tecnologia do vácuo busca melhorias de processos e viabilizar determinadas aplicações que sofrem alguma mudança pela atmosfera padrão (DESGASPERI, 2002). Com base que as partículas sólidas e os gases ativos que estão na atmosfera padrão interferem em alguns processos, de modo que cause contaminação e oxidação, controlando a atmosfera esses problemas podem ser contidos.

## 2.6 CONCEITOS BÁSICOS SOBRE VÁCUO

A pressão atmosférica padrão ( $P_{atm}$ ), no sistema internacional, ao nível do mar é de 101,325 kPa ou 1013,25 mbar utilizado comumente pelos fabricantes e que de acordo com Lafferty (1998) é uma unidade múltipla e submúltipla especial do Pascal, essa pressão é definida pela norma DIN 1343.

De acordo com Rayns & Roper, qualquer sistema em que pressão esteja abaixo da estimada do local já está em estado de vácuo, mesmo que seja mínimo. Com isso pode-se ver como são classificados os vácuos com diferentes pressões, seguindo o quadro 1.

Quadro 1 — Classe das pressões do vácuo

| Faixa de Pressão de Vácuo       | Nomenclatura     |
|---------------------------------|------------------|
| Atmosfera - 1 mbar              | Baixo vácuo      |
| 1 mbar - $10^{-3}$ mbar         | Médio vácuo      |
| $10^{-3}$ mbar - $10^{-7}$ mbar | Alto vácuo       |
| Abaixo de $10^{-7}$ mbar        | Ultra-alto vácuo |

**Fonte:** O autor (2022).

O gás mais comumente tratado quando se fala sobre gerar vácuo é o ar, sendo a composição do mesmo mostrada no quadro 2. Em sua grande maioria dos casos, a temperatura de trabalho é suficientemente alta e também a pressão é suficientemente baixa para considerar-se, com garantia, que o gás pode ser representado pela equação de estado dos gases perfeitos, que é:

$$PV = nRT$$

Onde:

P - Pressão

V - Volume do gás

n - Massa do gás medida em moles

R - Constante universal dos gases

T - Temperatura absoluta

A aplicação desta fórmula poderá ser aplicada usando um sistema consistente de unidades, ou seja, o Sistema Internacional (SI). Neste sistema o volume é expresso em  $m^3$ , a temperatura em graus Kelvin (K), a pressão é  $N/m^2$  ou também denominada Pascal (Pa), R tem o valor de  $8,314 J/(K,mol)$  e a massa em moles.

$$1 \text{ Torr} = 133,3224 \text{ Pa} = 1,33 \text{ mbar}$$

Quadro 2 — Composição do ar

| Componente       | Volume (%)            | Pressão Parcial (Torr) |
|------------------|-----------------------|------------------------|
| N <sub>2</sub>   | 78,08                 | 5,95.10 <sup>2</sup>   |
| O <sub>2</sub>   | 20,95                 | 1,59.10 <sup>2</sup>   |
| H <sub>2</sub> O | 1,57                  | 1,19.10 <sup>1</sup>   |
| Ar               | 0,93                  | 7,05                   |
| CO <sub>2</sub>  | 0,03                  | 2,5.10 <sup>-1</sup>   |
| Ne               | 1,8.10 <sup>-3</sup>  | 1,4.10 <sup>-2</sup>   |
| He               | 5,24.10 <sup>-4</sup> | 4.10 <sup>-3</sup>     |
| Kr               | 1,1.10 <sup>-4</sup>  | 8,4.10 <sup>-4</sup>   |
| CH <sub>4</sub>  | 2.10 <sup>-4</sup>    | 1,5.10 <sup>-3</sup>   |
| H <sub>2</sub>   | 5,0.10 <sup>-5</sup>  | 3,8.10 <sup>-4</sup>   |
| N <sub>2</sub> O | 5,0.10 <sup>-5</sup>  | 3,8.10 <sup>-4</sup>   |
| Xe               | 8,7.10 <sup>-6</sup>  | 6,6.10 <sup>-5</sup>   |
| O <sub>3</sub>   | 7.10 <sup>-6</sup>    | 5,3.10 <sup>-5</sup>   |

**Fonte:** Fundamentals (2001)

## 2.7 INSTRUMENTAÇÃO

Instrumentos de medição fazem parte de diversos estabelecimentos, sendo de suma importância estarem impecáveis, ou seja, devidamente calibrados, assim respeitando os padrões determinados pelos órgãos reguladores, garantindo a excelência no segmento que será utilizado.

De acordo com Waagen, a precisão e exatidão são de suma importância para que se obtenha informações confiáveis. Também conclui que o fato de os instrumentos estarem em perfeito estado e calibrados vai muito além do respeito com o usuário da informação.

A medição e o controle de processos são fundamentais para gerar, em última análise, os melhores resultados possíveis quanto à utilização de recursos,

máquinas, desempenho, rentabilidade, proteção ambiental e segurança, entre outros.

### 2.7.1 **Vacuômetro**

O vacuômetro, também conhecido como manovacuômetro é utilizado em processos industriais, com a finalidade de medir a pressão, ocorrendo diretamente ou indiretamente, além disso pode ser usado para medir outras grandezas como o nível e vazão de fluídos.

Instrumentos de medição, como o vacuômetro, precisam seguir um critério para a sua classificação, fabricação, para os ensaios e a sua utilização, a norma NBR14105-1 DE 03/2013 é a responsável por estabelecer esses critérios. Além dessa, a norma DOC-CGCRE-017 também atua sobre o vacuômetro, pois esta norma que diz os critérios e orientações de calibração para medidores analógicos de pressão.

### 3 METODOLOGIA

O trabalho em questão é de natureza exploratória. De acordo com Gil (2002), pesquisas exploratórias possuem um objetivo de promover maior familiaridade com o problema, com objetivo de torná-lo mais compreensível.

As informações que serão utilizadas para a elaboração do trabalho se deram através de pesquisas em referências bibliográficas, que tiveram como finalidade de entender diversos métodos e contribuições referentes ao vácuo, analisando bancadas didáticas semelhantes, com objetivo de ter uma melhor concepção sobre o que foi proposto no trabalho.

Richardson et al. (1999) descreve que “método é o caminho ou a maneira para chegar a um determinado fim ou objetivo, e metodologia são procedimentos e regras utilizadas por determinado método”.

#### 3.1 PROJETO E CONSTRUÇÃO DA BANCADA

Este capítulo apresenta a idealização da bancada didática de vácuo desde sua imaginação, viabilização, componentes e os processos necessários.

#### 3.2 MODELAGEM DA BANCADA EM SOLIDWORKS

A bancada elaborada será modelada utilizando o software SolidWorks. Onde serão definidas todas as dimensões reais da bancada, com objetivo final de um modelo leve e compacto.

A ideia a ser projetada é composta por uma câmara onde o vácuo ficará, uma tubulação no qual o ar retirado passará, uma base que vai ser o elemento central da bancada, uma bomba de vácuo, a qual vai ser responsável pela retirada do ar, um vacuômetro para monitorar e controlar a pressão do vácuo, válvulas que serão responsáveis pelo controle de fluxo e também conexões que interligam o sistema de ar.

As peças serão modeladas através do software, também vai ser feita a montagem da bancada pelo mesmo.

### 3.3 MANUFATURA DA BANCADA

Com os materiais, peças e elementos idealizados anteriormente e listados no quadro 3, vai ser feita a pesquisa de mercado local e também na internet, procurando sempre focar no melhor custo benefício para o projeto.

Quadro 3 — Possíveis materiais necessários

| Categoria     | Componente       |
|---------------|------------------|
| Matéria prima | Tubo acrílico    |
| Matéria prima | MDF              |
| Elétrico      | Bomba de vácuo   |
| Pneumático    | Mangueiras de ar |
| Pneumático    | Conexões         |
| Pneumático    | Válvulas         |
| Analógico     | Vacuômetro       |
| Borracha      | Vedações         |

**Fonte:** O autor (2022).

Após o levantamento do custo dos matérias necessários, será precificada a bancada didática de acordo com os resultados obtidos.

### 3.4 MATERIAIS E PEÇAS DA BANCADA

#### 3.4.1 Câmara

Para que o vácuo se mantenha é necessário um ambiente fechado e com base nisso vem a necessidade de uma câmara para o vácuo ser gerado e mantido. A câmara deverá ser resistente o suficiente para aguentar a pressão exercida pela falta de ar, que gerará pressão externa, e transparente para melhor visualização e entendimento do que está acontecendo. A idealização da câmara será um tubo, para assim ter mais facilidade de acesso aos experimentos.

Com os pontos citados a cima, sendo necessários para a câmara, será feita uma pesquisa de materiais que se encaixem no que foi requerido, assim após a

pesquisa feita vai ser estudado o melhor custo benefício, em questão de qualidade e preços acessíveis, para o projeto em questão.

A câmara de vácuo, antes de ser adquirida, também terá a sua resistência testada, com uma pressão definida por estudos, no software SolidWorks. Com isso evitando que ocorra erros na hora de efetuar a compra do material que será utilizado.

#### 3.4.1.1 Tampa da câmara

A câmara será um tubo vazado, assim fazendo-se necessário que tampem e vedem ambas extremidades, com intuito de não ter mudanças externas causadas nos experimentos, vai ser projetado uma tampa para a parte superior do tubo será utilizado.

A tampa também será o local que vai ser acoplado o sistema responsável pela retirada de ar da câmara, com as conexões, válvulas e mangueiras. Com isso, além de projetar uma tampa que vede e encaixe no tubo, vai ser feito um furo para que se possa acoplar a conexão do sistema citado anteriormente.

#### 3.4.2 Base da bancada

A base da bancada didática de vácuo será o local onde estarão fixados ou encaixados todos os componentes do projeto, incluindo a bomba de vácuo, o tubo, as conexões e também as mangueiras de ar.

O material que será utilizado para a fabricação da base deverá ser compacto e leve, para assim facilitar a mobilidade da bancada. Tendo em vista essas características será analisado o material com melhor custo benéfico e que mantenha a qualidade para ser usado neste projeto.

#### 3.4.3 Bomba de vácuo

Como tudo gira em volta do vácuo pode-se dizer que o mesmo é a parte mais importante e impactante do trabalho em questão e sabendo disso se fará necessário uma bomba de vácuo ou um dispositivo que consiga cumprir com esse objetivo.

Levando em consideração que a bancada de vácuo funcionará com pressões de vácuo baixa à média, será preciso um mecanismo que consiga gerar essa pressão requerida. Além disso será analisado e estudado o mecanismo com melhor preço e que atenda a pressão requerida para a bancada.

#### **3.4.4 Tubulação, conexões e válvulas**

Para a retirada do ar de dentro da câmara com a ajuda da bomba de vácuo é necessário que haja um meio de passar o mesmo. O sistema de tubulação será feito com materiais normalmente utilizados para o meio pneumático, pois se trata da retirada de ar da câmara, assim gerando o vácuo.

O sistema também usará válvulas para que haja controle da pressão do vácuo dentro da câmara, como também para que se tenha um alívio afim de liberar a entrada de ar após o fim do experimento, assim tirando toda a pressão de dentro da câmara.

Para interligar as válvulas, a tampa da câmara e a tubulação vai ser necessário o uso de conexões para que seja possível.

Com base nos pontos anteriores será estudado e analisado os melhores componentes para que seja feito o sistema de ar da bancada.

#### **3.4.5 Vedações**

Para o bom funcionamento do sistema, que terá como câmara para a pressão um tubo vazado, será necessário que ambas extremidades do tubo sejam fechadas e vedadas na hora que for retirado o ar. Para isso será feita uma pesquisa em busca do material com melhor custo benefício e que seja eficiente para que não tenha perda de pressão.

### 3.4.6 Vacuômetro

Com o objetivo de ter maior e melhor entendimento do que está acontecendo na câmara e também de manter um controle sobre o sistema, será necessário o uso de um instrumento capaz de medir a pressão que está sendo gerada pela retirada de ar de dentro da câmara. Sabendo desta necessidade, será pesquisado e analisado um vacuômetro que se encaixe nos padrões pensados para este projeto.

## 3.5 MONTAGEM

Após os resultados de todas as etapas anterior, como o dimensionamento, as peças e as partes necessárias adquiridas, será dado início a montagem da bancada.

## 3.6 TESTES

Os testes da bancada serão divididos em três partes. Primeiramente será testado se a bomba de vácuo gera a pressão suficiente para que seja possível realizar testes didáticos sobre vácuo na bancada. Segundamente será avaliado se o material que vai ser utilizado para a construção da câmara resistirá a pressão causada pelo vácuo, assim não correndo riscos de mau funcionamento ou até risco de quebrar. E por último serão testadas as vedações, assim avaliando se a câmara mantém a pressão gerada pela bomba, não deixando que o ar retirado volte para dentro da mesma.

## 3.7 EXPERIMENTO

Para que haja validação da bancada didática idealizada, também será necessário um experimento para que a mesma mostre funcionalidade. Sabendo disso, após a bancada completa e testada, será desenvolvido um experimento prático para a validação final.

### 3.8 CRONOGRAMA DE AULA UTILIZANDO A BANCADA DIDÁTICA

Por fim este trabalho irá trazer como utilizar a bancada didática sobre vácuo no decorrer de uma aula.

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 PROJETO E CONSTRUÇÃO DA BANCADA

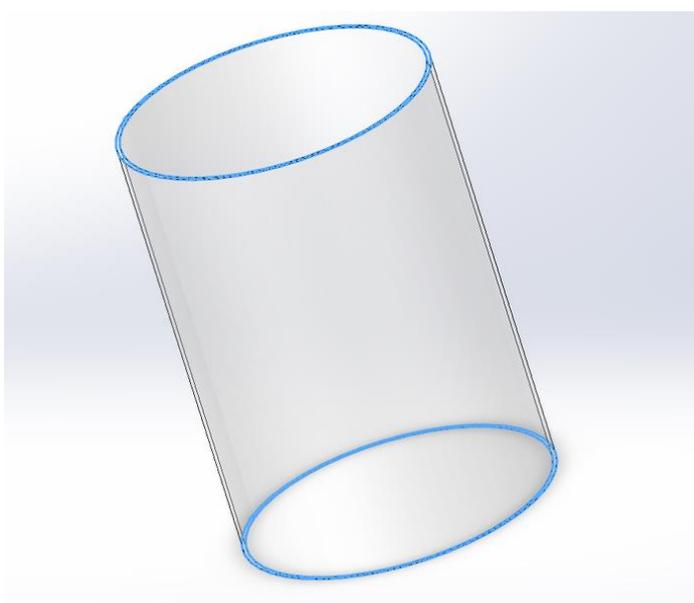
O seguinte capítulo apresenta o projeto da bancada didática de vácuo desde sua elaboração, viabilização dos materiais, construção dos componentes, fabricação e montagem da mesma.

### 4.2 MODELAGEM DA BANCADA EM SOLIDWORKS

O seguinte projeto teve seus principais componentes desenhados no software SolidWorks com intuito de ter maior visibilidade e entendimento do que foi idealizado e pensado.

O primeiro passo para modelar a bancada didática foi definir o material e o tamanho da câmara. A mesma que será feita de acrílico, pois é um material transparente e resistente, além disto também possui um preço acessível no mercado. Seguidamente foi decidido que um diâmetro interno de 244mm é o espaço suficiente para se fazer testes didático foi desenhada a câmara, onde a mesma foi feita em formato de um tubo.

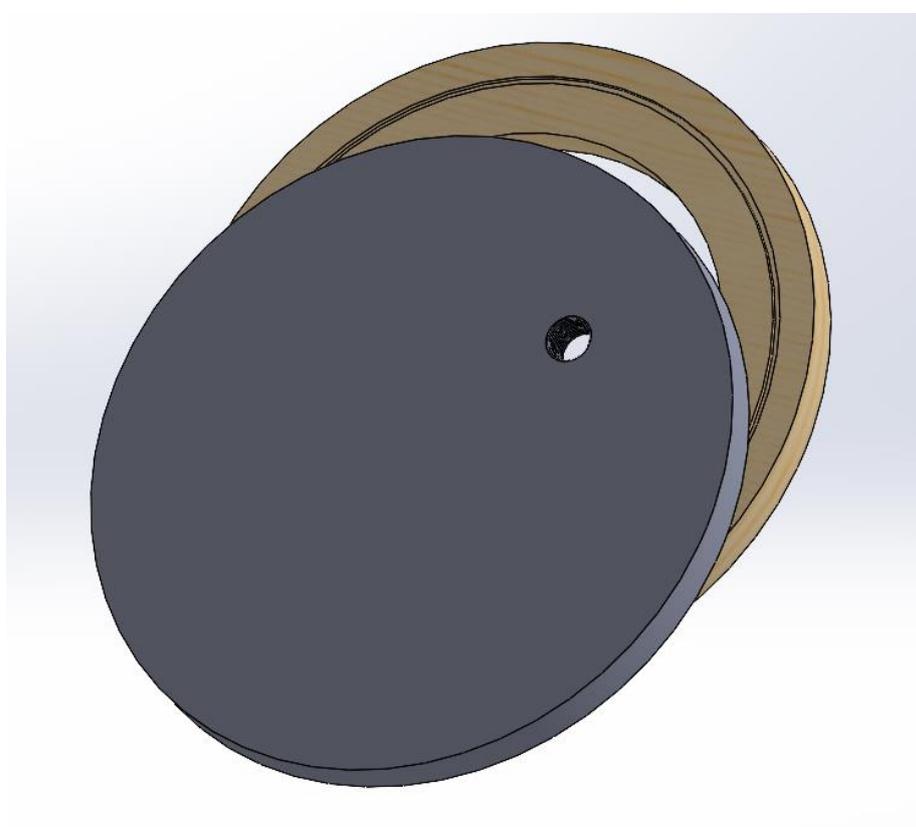
Figura 2 — Tubo de acrílico



Fonte: O autor (2022).

Com a câmara desenhada e sendo feita de um tubo vazado veio a necessidade de tampar e vedar suas extremidades, assim foi idealizada e desenhada uma tampa. Onde ela será feita com um rasgo em formato de círculo para que se possa encaixar ela no tubo e, utilizando de um meio de vedação, vedar ela adequadamente. Além disso para que haja um meio de acoplar o sistema que irá controlar e medir a pressão presente dentro da câmara, foi adicionado um furo com rosca na tampa para encaixar o sistema na mesma.

Figura 3 — Imagem do projeto da tampa da câmara

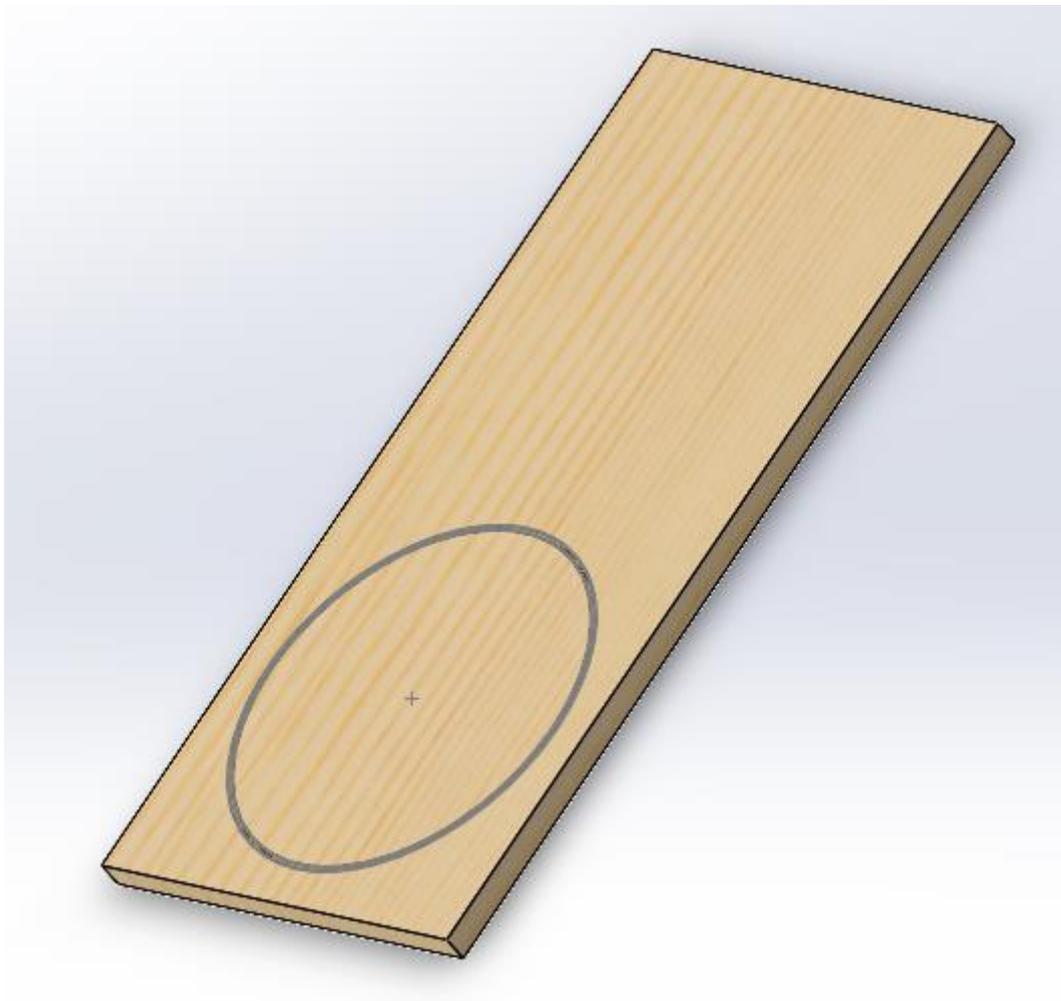


**Fonte:** O autor (2022).

Como um dos objetivos do projeto é projetar e construir uma bancada didática pequena, leve e de fácil mobilidade, a base da bancada é a parte mais importante para que esse objetivo seja alcançado. Idealizando uma bancada da maneira que foi citada anteriormente, foi desenvolvido um desenho da base, onde será encaixado o tubo e também terá espaço para os demais componentes pensados para este

projeto, assim permitindo que seja possível carregar a bancada para onde for necessário, sem complicações.

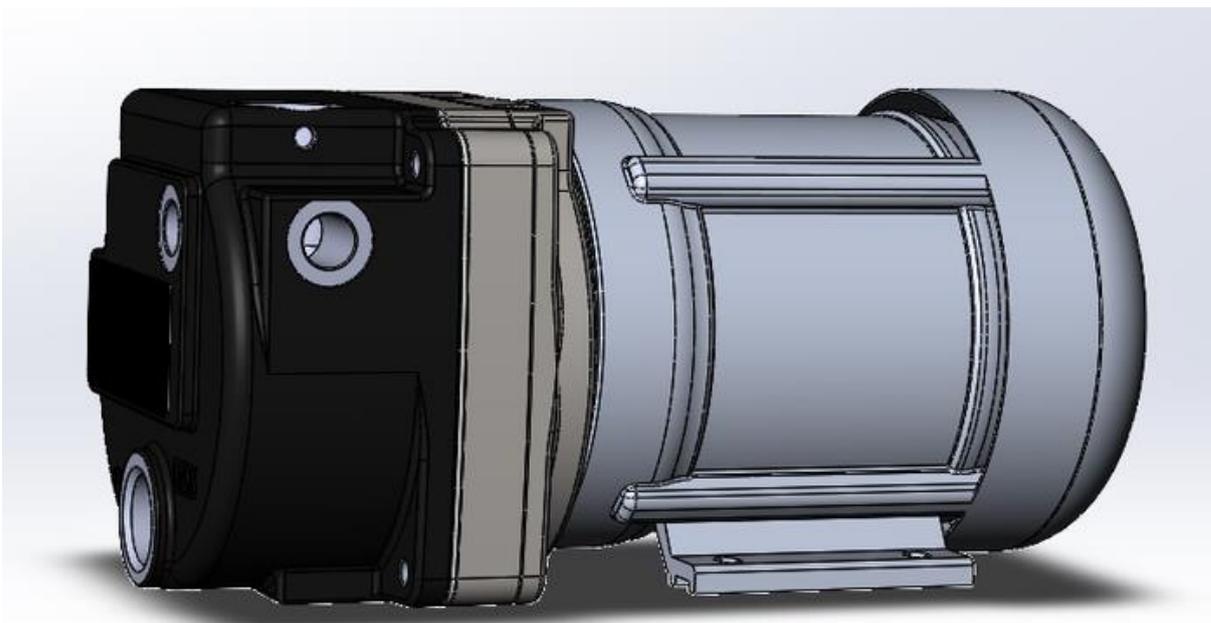
Figura 4 — Base da bancada



**Fonte:** O autor (2022).

Foi pensado e desenhado uma bomba de vácuo para ser nosso gerador de vácuo nesse projeto, tendo em vista que é o mecanismo que foi desenvolvido explicitamente para a função de retirar o ar de um local totalmente fechado para que assim seja gerada a pressão do vácuo.

Figura 5 — Imagem do modelo da bomba de vácuo



**Fonte:** O autor (2022).

Também foi desenhado um vacuômetro.

Figura 6 — Desenho do vacuômetro

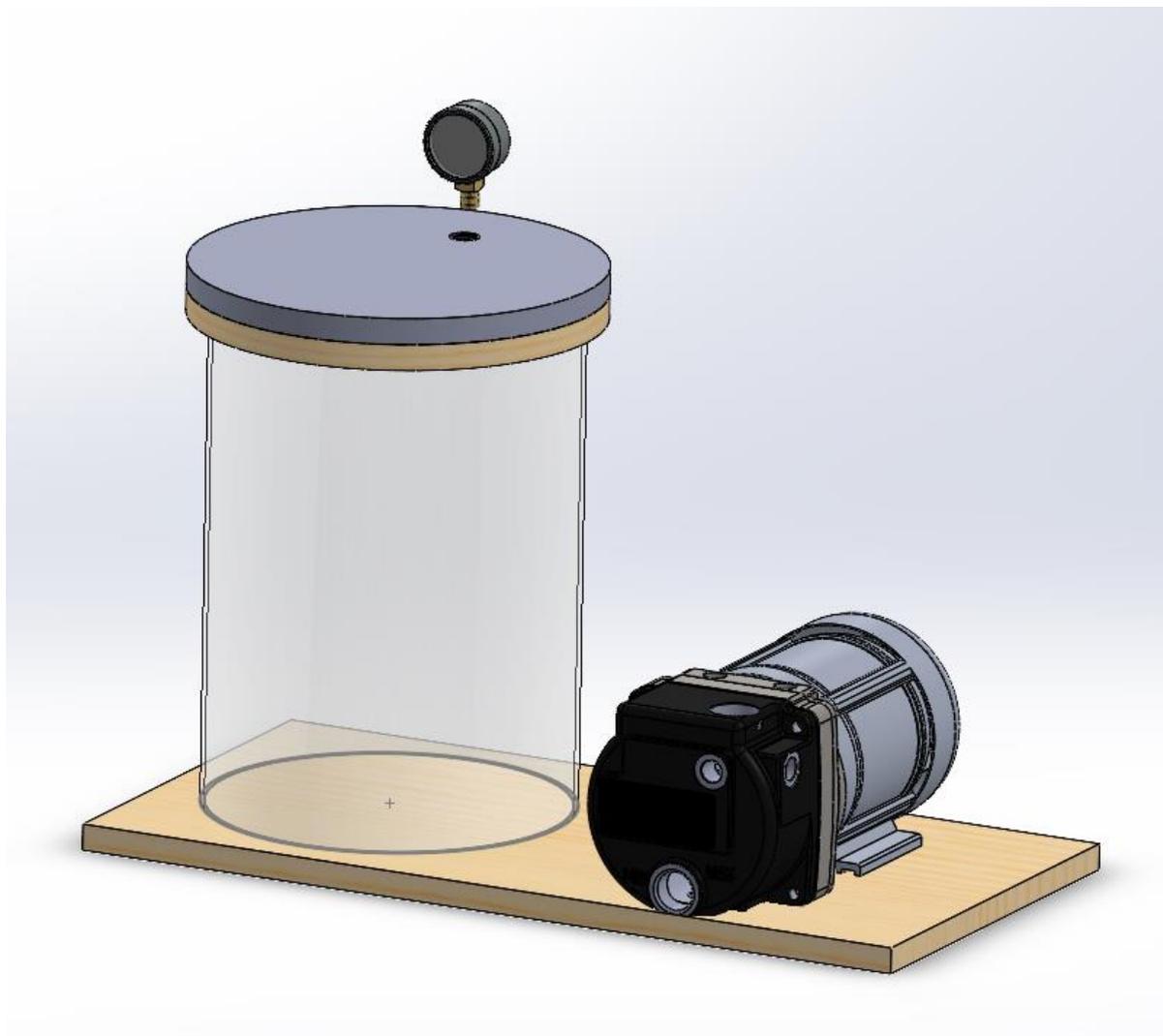


**Fonte:** O autor (2022).

Com intuito de visualizar o projeto, foi feita a montagem da bancada de vácuo com as peças que foram modeladas acima, assim tendo uma melhor idealização de como ficar o projeto final. Vale ressaltar que a bancada final ainda terá outros itens

adicionais em sua versão final, como as mangueiras, conexões e também válvulas, assim sendo apenas uma breve amostra do que será após a sua conclusão.

Figura 7 — Montagem parcial da bancada no SolidWorks



**Fonte:** O autor (2022).

#### 4.3 MANUFATURA DA BANCADA

Com a idealização e a modelagem concluída, começa a fase de pesquisa de preço e custo dos itens comerciais e do custo da matéria prima para fabricar os itens não comerciais que serão utilizados nesse projeto. Tendo em mente que a pesquisa

de mercado foi feita para que se tenha uma boa qualidade e um bom custo benefício, segue Quadro 4 com os itens comprados e seus respectivos preços.

Quadro 4 — Quadro dos materiais usados e seus preços

| Categoria     | Componente        | Qt. | Preço      |
|---------------|-------------------|-----|------------|
| Matéria prima | Tubo de acrílico  | 1   | 190,00 R\$ |
| Matéria prima | MDF               | 2   | 90 R\$     |
| Elétrico      | Motor compressor  | 1   | 50 R\$     |
| Pneumático    | Mangueira de ar   | 1   | 10,37 R\$  |
| Pneumático    | Conexão           | 3   | 13,90 R\$  |
| Analógico     | Vacuômetro        | 1   | 50 R\$     |
| Pneumático    | Válvula           | 2   | 56,57 R\$  |
| Metal         | Abraçadeiras      | 2   | 3,50 R\$   |
| Borracha      | Anel o-ring       | 1   | 10 R\$     |
| Metal         | Barra roscada 8mm | 2   | 12 R\$     |
| Metal         | Porca borboleta   | 2   | 2 R\$      |
| Metal         | Chapa 6mm         | 1   | 3,50 R\$   |
| Fita          | Fita veda rosca   | 1   | 5 R\$      |
| Silicone      | Cola silicone     | 1   | 11,90 R\$  |

Fonte: O autor (2022).

Com a pesquisa feita e os itens utilizados na bancada devidamente precificados, o custo total para a fabricação da mesma ficou em 508,87 reais.

#### 4.4 MATERIAS E PEÇAS DA BANCADA

##### 4.4.1 Câmara

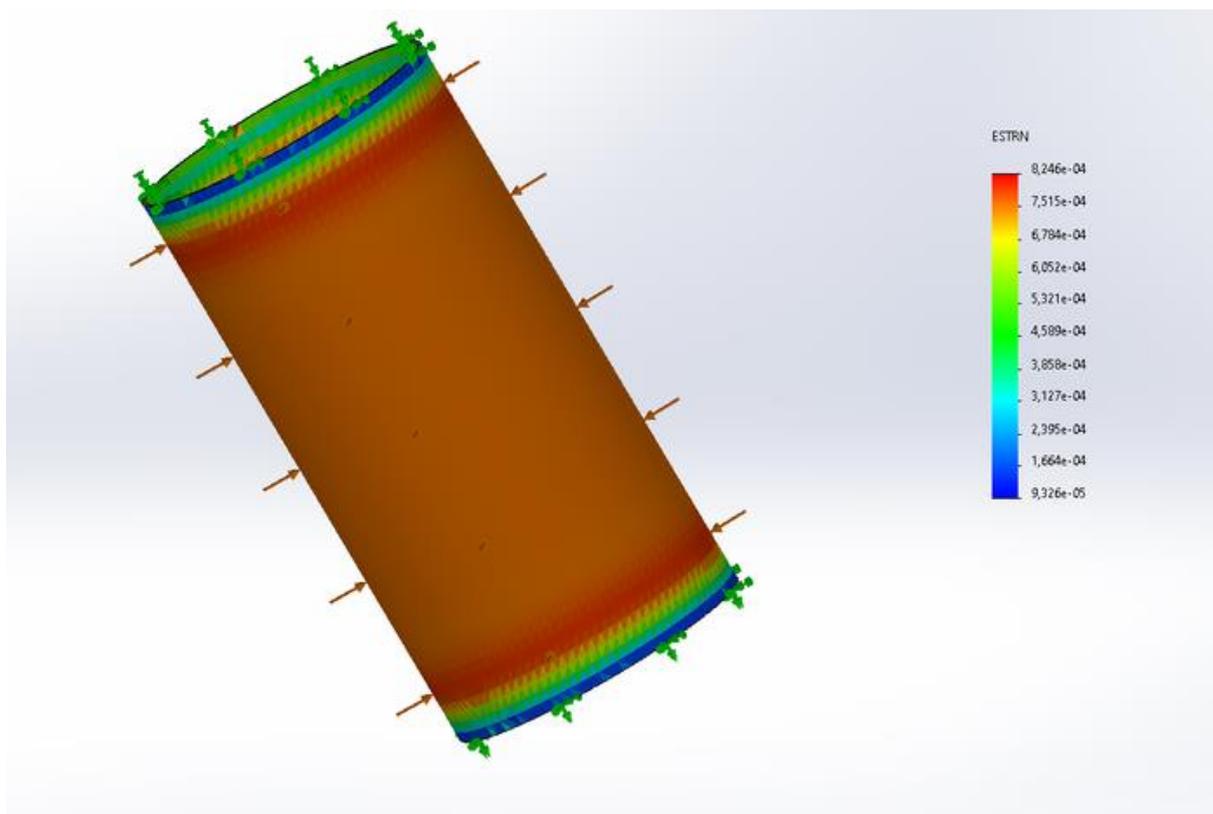
A câmara usada para manter o vácuo é feita de um tubo de acrílico e suas dimensões são 250mm x 490mm x 3mm sendo essas respectivamente seu diâmetro, sua altura e a espessura do material.

O tubo de acrílico que será a nossa câmara, foi testado através de software SolidWorks com intuito de simular uma pressão parecida com a que será usada para fazer os testes práticos.

A pressão utilizada no teste do tubo de acrílico foi de 0,8 bar ou  $80000 \text{ N/m}^2$ . Essa pressão foi definida para os testes baseando-se no fato que, para experimentos didáticos que serão feitos na bancada de vácuo, não passarão de 0,35 bar ou  $35000 \text{ N/m}^2$ .

O teste foi feito da maneira em que a pressão é exercida externamente na lateral do tubo, pressionando de fora para dentro, e também que suas extremidades sejam fixas, pois quando encaixado na base e na tampa ambas terão seus movimentos limitados.

Figura 8 — Teste de resistência do tubo de acrílico



Fonte: O autor (2022).

Com isso obteve-se o resultado que o material aguentará a pressão gerada pela nossa bomba de vácuo sem que haja deformação permanente no tubo, assim viabilizando o mesmo para que seja usado como câmara na bancada.

#### 4.4.1.1 Tampa da câmara

Para a tampa da câmara foram fabricadas duas peças iguais, mas com procedimentos diferentes, com o material de MDF, suas dimensões são o diâmetro externo de 265mm e a espessura de 18mm.

Na primeira peça foi usinado um rasgo para encaixar no tubo de acrílico e um furo passante interno com diâmetro de 200mm. Nesta mesma peça também foi usinado um rasgo de 2,5mm profundidade, com 3mm de espessura e o diâmetro interno sendo de 205mm, onde será alocada a vedação.

Na segunda peça foi feito apenas um furo roscado, no qual será acoplado o sistema de ar da bancada. Este será prensado contra a primeira, para que o anel o-ring vede corretamente.

#### 4.4.2 Base da bancada

Buscando algo compacto, leve e de fácil mobilidade, a base da bancada foi feita de MDF, igual a tampa citada anteriormente, suas dimensões sendo 300mm x 600mm x 18mm e estes representando respectivamente sua largura, seu comprimento e sua espessura.

#### 4.4.3 Bomba de vácuo

Para a função da bomba de vácuo, que é retirar o ar ou qualquer gás de dentro da câmara, foi adquirido um motor compressor que é muito comumente usado em geladeiras. O motor compressor que foi comprado e utilizado para este projeto é elétrico, possui uma voltagem de 220v e também uma frequência de 60hz.

A utilização deste motor compressor como substituto da bomba de vácuo deu-se em questão do custo benefício, visto que o mesmo é muito mais acessível que uma bomba de vácuo, além do fato de ter sido testado e comprovado que consegue

cumprir com a pressão necessária para que se consiga reproduzir experimentos que envolvem o vácuo.

Vale ressaltar que será necessária uma tomada de 220v para ligar o motor compressor e retirar o ar de dentro da câmara.

Figura 9 — Motor compressor



Fonte: O autor (2022).

#### 4.4.4 Tubulação, conexões e válvulas

Com intuito de retirar o ar e qualquer gás que tenha dentro da câmara faz-se necessário, no projeto e construção da bancada, que tenha uma tubulação por onde o motor compressor possa trabalhar e gerar o vácuo. Sabendo disso, foi analisado e pesquisado qual a melhor meio de tubulação para se utilizar no projeto em questão. Como se trata da passagem de ar e gás, mangueiras comumente utilizadas para

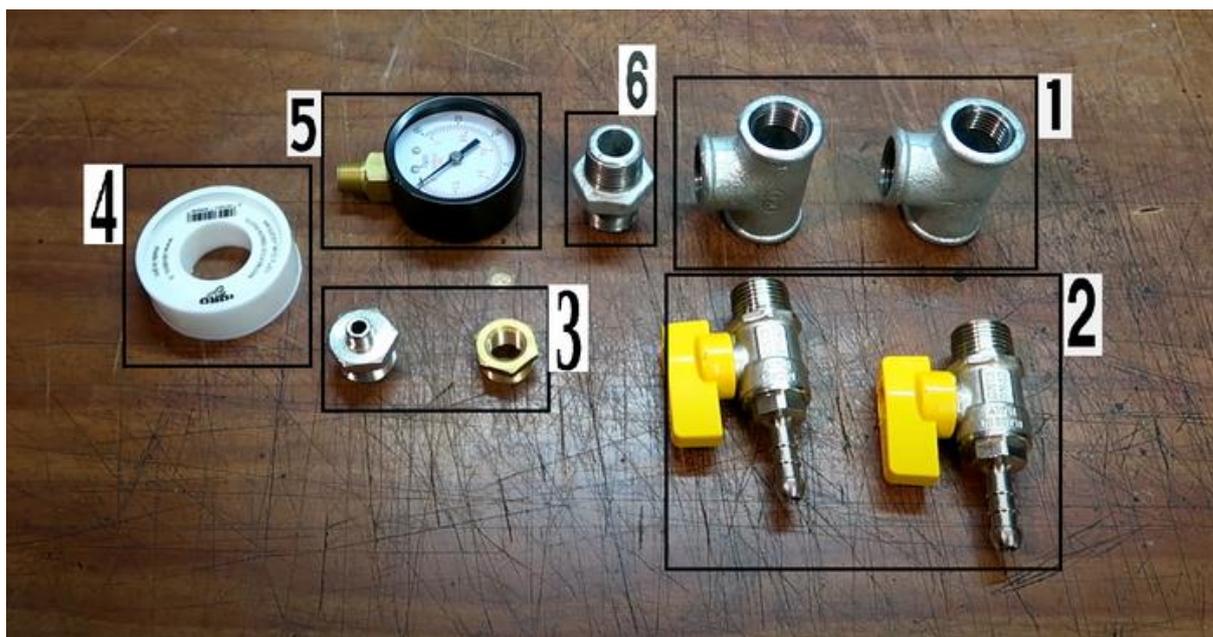
mecanismos pneumáticos são a melhor opção, pois tem um custo baixo e também satisfazem com o necessário para ser usado neste projeto.

Para que se tenha maior controle do vácuo dentro da câmara, foi adquirido duas válvulas de controle manual. Onde uma será responsável pela saída do ar que estará ligada diretamente ao motor compressor e a outra que será uma válvula de alívio, que vai permitir a entrada de ar após termino do experimento.

Além destes itens, também foi comprado duas conexões em T para que seja acoplado as duas válvulas e o vacuômetro.

Este sistema de tubulação com válvulas e conexões ficará conectado diretamente a tampa da câmara de vácuo, ou seja, na parte superior da câmara, assim tendo melhor visualização do vacuômetro e também deixando as válvulas mais acessíveis.

Figura 10 — Itens utilizados no sistema de ar



Fonte: O autor (2022).

Legenda:

- 1 - Tee galvanizado 1/2'
- 2 - Válvula mini M-F 1/2'
- 3 - Niple red. galvanizado 1/2'
- 4 - Fita veda rosca
- 5 - Vacuômetro

6 - Niple galvanizado hexagonal 1/2'

#### 4.4.5 Vedações

Para vedar a entrada de ar na câmara foi preenchido de silicone no rasgo feito na base e também no da tampa.

Foi utilizado um anel o-ring como forma de vedação, o mesmo possuindo 205mm de diâmetro interno e 3mm de espessura.

Figura 11 — Anéis o-ring



**Fonte:** O autor (2022).

O anel o-ring precisa ser prensado para que haja a vedação total da área em que ele está alocado. Baseando-se nisso foi feito um mecanismo com duas barras roscadas e uma chapa.

Figura 12 - Mecanismo de prensa da tampa.



Fonte: Autor (2022)

O mecanismo em questão tem como finalidade forçar a tampa da câmara, assim fazendo com que o anel de borracha vede totalmente a área.

#### 4.4.6 Vacuômetro

Idealizando ter conhecimento da pressão que o vácuo está gerando e também visualizar melhor o que está acontecendo, foi comprado um vacuômetro analógico. O mesmo possui um tamanho vertical de 52mm e a sua rosca é de 1/4", consegue medir até um bar de pressão sendo de 0 a -1 bar.

O vacuômetro que será encaixado na tampa da câmara tem uma amplitude de 1 bar, sendo o suficiente para medir a pressão exercida pelo motor compressor que está sendo usado para gerar o vácuo. Além disso, também será possível fazer os experimentos idealizados com essa faixa de pressão.

Figura 13 — Vacuômetro



**Fonte:** O autor (2022).

#### 4.5 MONTAGEM

Com todos os materiais necessários adquiridos e também com a parte da fabricação da base e da tampa feita começa a etapa da montagem.

A primeira parte a ser montada para a bancada foi o sistema de válvulas, conexões e o vacuômetro. Estes itens foram pensados e comprados para que fossem compatíveis uns com os outros. Durante a montagem deste sistema foi passado fita veda rosca em todas as roscas do sistema, assim reforçando e evitando que haja alteração, não desejada, no ambiente de dentro da câmara.

Figura 14 — Sistema de válvulas, conexões e vacuômetro montado



Fonte: O autor (2022).

Este sistema foi rosqueado diretamente na tampa da câmara.

A partir deste ponto, foi ligado a mangueira de ar na conexão da válvula e sua outra extremidade na entrada de ar do motor compressor.

O tubo de acrílico foi fixado na base da bancada, com silicone, para evitar a passagem de ar.

A tampa é solta, assim deixando uma extremidade móvel para que possa botar e tirar itens de dentro da câmara. Depois de encaixar a tampa da câmara, é posto as duas barras roscadas, as quais passam pela base da bancada e encaixam na chapa que ficará posicionada em cima da tampa, como fica visível na figura 15. Com os itens em seus devidos lugares são rosqueadas duas porcas nas barras para prensar a tampa e vedar o sistema.

Tendo como objetivo uma bancada didática compacta e de fácil mobilidade é de suma importância que o motor compressor esteja preso e firme na base da bancada, sabendo disso o mesmo foi fixado na base da bancada.

Após ter juntado todos as peças da bancada, fixado o motor compressor e conectados os itens necessários, a bancada está montada e pronta para o funcionamento. Só precisando de uma tomada de 220v para que seja ligado o motor compressor.

Figura 15 – Bancada didática montada.



Fonte: Autor (2022)

## 4.6 TESTES

Foram realizados alguns experimentos para verificar a funcionalidade e eficiência da bancada. O equipamento trabalhou bem e não apresentou nenhuma complicação.

Além disso, também foram realizados alguns testes com intuito de observar como as peças da bancada se comportam. Os testes foram divididos em três partes.

### 4.6.1 Teste do motor compressor

Primeiro foi feito o teste com o motor compressor para analisar através do vacuômetro se está gerando uma pressão de vácuo suficiente e satisfatória para a bancada didática. Com o vácuo gerado e o vacuômetro marcando uma pressão de -0,3 bar, atendendo os requisitos para os experimentos, pode-se dar continuidade para os outros testes.

Figura 16 – Pressão gerada na câmara.



Fonte: autor (2022)

### 4.6.2 Teste do tubo de acrílico

Segundamente, foi testado o material e a resistência da câmara, através de testes práticos. Com uma pressão de -0,3 bar gerada e marcada no vacuômetro, o tubo de acrílico não demonstrou nenhuma deformação visível a olho nu.

Conforme o teste feito anterior através do software SolidWorks. Se houve alguma deformação no tubo de acrílico foi mínima e não é permanente, ou seja, após desligado o motor compressor e liberado a válvula, qualquer deformação é desfeita e volta a sua forma inicial.

#### **4.6.3 Teste das vedações**

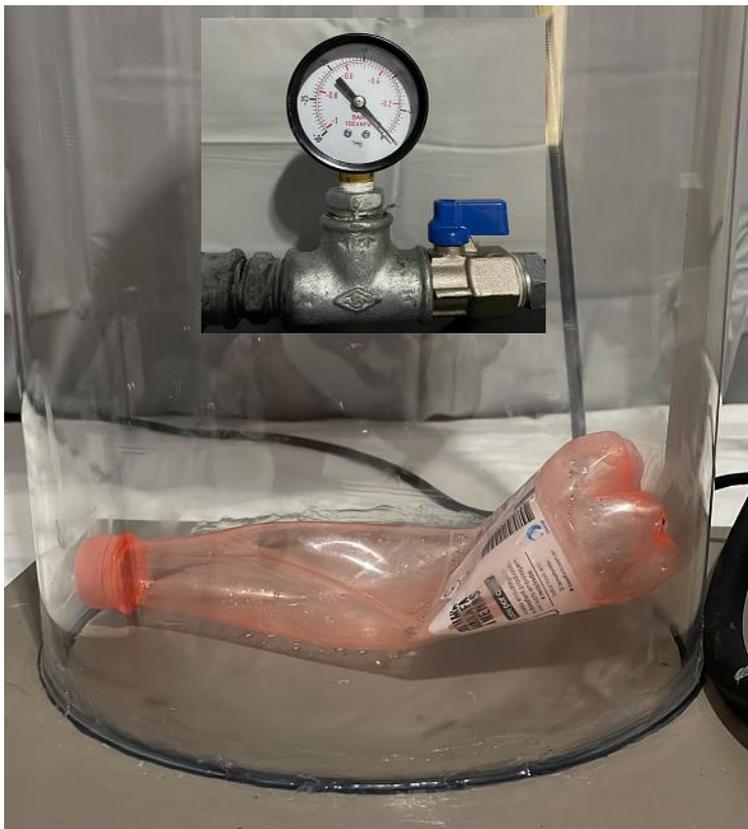
Para validar a câmara de vácuo é preciso que a mesma mantenha a pressão do vácuo gerado. Como teste final, mas não menos importante, foi gerado o vácuo a uma pressão de -0,3 bar, de acordo com o vacuômetro, e mantido o mesmo, sem diminuir a pressão. Com isso, após algum tempo foi verificado se o vacuômetro marcava a mesma pressão que inicialmente tinha sido escolhida para este teste. E com as pressões inicial e final iguais, foi validado que a câmara mantém a pressão do vácuo, assim a tornado utilizável.

#### **4.7 EXPERIMENTO**

Como forma de validação final da funcionalidade da bancada didática, foi realizado um experimento prático utilizando uma garrafa de plástico.

Para este experimento a garrafa de plástico foi amassada e fechada para ser colocada dentro da câmara como mostra na figura 17.

Figura 17 – Garrafa amassada sem vácuo.



Fonte: autor (2022)

Seguidamente é fechado a câmara e ligado a bancada na energia, fazendo com que o motor compressor comece a retirar o ar de dentro da câmara e gerando o vácuo, assim diminuindo a pressão atmosférica da câmara. Com o decorrer da retirada do ar, o vácuo tenta abrir a garrafa, assim fazendo com que a garrafa volte a sua condição original.

A garrafa volta ao seu estado original quando o vacuômetro atinge -0,24 bar, como mostra a figura 18.

Figura 18 – Garrafa em seu estado normal no vácuo.



Fonte: o autor (2022)

Depois de visualizar o experimento, é liberado o vácuo abrindo a válvula, com a volta do ar para a câmara, a garrafa volta a sofrer com a pressão e retorna para o seu estado inicial, amassada.

Com isso conclui-se o experimento e valida a utilização da bancada didática para experimentos simples com o vácuo.

#### 4.8 CRONOGRAMA DE AULA UTILIZANDO A BANCADA DIDÁTICA

Para que se tenha um base de utilização da bancada didática sobre vácuo, foi desenvolvido um cronograma para a sua utilização.

Este cronograma que está no Apêndice A, contempla alguns dos principais conhecimentos necessários para se utilizar a bancada didática. Começando com os conhecimentos gerais sobre o vácuo, logo após demonstrando como funciona um

sistema simples de vácuo, também possui um passo a passo para a utilização da bancada didática e por fim traz alguns possíveis experimentos para se fazer.

## 5 CONCLUSÃO

A bancada didática é de suma importância para o desenvolvimento e aprendizagem dos estudantes, pelo fato de conciliarem os aprendizados teóricos com os práticos e somando os mesmos. Além de trazer formas diferentes de aulas, com outras dinâmicas com objetivo de aguçar os acadêmicos a buscarem mais informações.

Vale ressaltar o elevado preço de equipamentos didáticos no mercado, onde este trabalho teve como base, a construção de uma bancada didática com melhor custo benefício, a tornando com um preço mais acessível. Ficando evidente que a construção de equipamentos didáticos é uma boa alternativa para qualquer instituição, assim aprimorando o conhecimento concedido pela mesma.

A partir dos resultados obtidos ao decorrer do trabalho, pode-se concluir que os objetivos propostos foram alcançados, conseguindo trazer conhecimento teórico sobre o vácuo, além de demonstrar como um sistema básico de vácuo atua. O projeto e construção da bancada didática também foi concluído.

Conclui-se neste trabalho que o uso da bancada é de fácil execução, pois como a mesma foi projetada de maneira objetiva, não tem nenhum empecilho que possa atrapalhar ou dificultar o uso da mesma. A mesma ainda tem portas para melhorias, como um motor compressor mais forte para gerar mais pressão de vácuo.

Para que a utilização da bancada didática, foi criado um cronograma com itens teóricos para se passar antes de utilizar a mesma. Também tem um passo a passo de utilização da bancada para que qualquer um possa manusear a mesma sem ter grandes dúvidas. Além disso, possui uma lista de possíveis experimentos para se fazer com a bancada.

O uso da bancada didática desenvolvida será indicado pelos professores da FAHOR em suas aulas, quando acharem necessário ou útil, com o intuito de impulsionar e incentivar o interesse dos acadêmicos no conteúdo apresentado.

## REFERÊNCIAS

AMORIM, M.J. **Desenvolvimento de Bancada Didático-Experimental de Baixo Custo para Aplicação em Controle de Ativo de Vibrações**: Mestrado em Engenharia Mecânica. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2006.

ANDERLE, Bruno P. **Dimensionamento de uma bancada didática de hidráulica**. 2017. Disponível

em: [http://www.fahor.edu.br/images/Documentos/Biblioteca/TFCs/Eng\\_Mecanica/2017/BrunoPaseAnderle.pdf](http://www.fahor.edu.br/images/Documentos/Biblioteca/TFCs/Eng_Mecanica/2017/BrunoPaseAnderle.pdf). Acesso em: 28 mai. 2022.

AUSUBEL, D.P. **Educatioanl psychology**: a cognitive view. New York: Rinehart and Winston, 1986.

BORGES, A. Tarciso . **Novos Rumos Para o Laboratório Escolar de Ciências**.

Porto Alegre: Atas, 2002. Disponível em:

<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6607/6099> . Acesso em: 10 out. 2022.

ÇENGEL, Y.A, & CIMBALA, J.M., 2007, "Mecânica dos Fluidos. Fundamentos e Aplicações", 1 .ed, Ed. McGraw Hill, Brasil, 816 p.

CHAMBERS, A. **Basic Vacuum Technology**. New York: University of York, 1998.

CHIARELLO, Marluce Paolazi. **Dificuldades e transtornos na aprendizagem**: Núcleo do Conhecimento. São Paulo, 2019.

DEGASPARI, F.T. **Contribuições para análise, cálculo e modelagem de sistema de vácuo**. Campinas, 2006 Tese (Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual de Campinas.

DESGASPARI, F.T.. **Modelagem e Análise Detalhadas de Sistema de Vácuo**. São Paulo: UNICAMP, 2002.

DMITRUK, Hilda Beatriz (Org.). **Cadernos metodológicos**: diretrizes da metodologia científica. 5 ed. Chapecó: Argos, 2001. 123 p.

GAMA, Sergio. **Introdução à Ciência e Tecnologia do Vácuo**. Universidade Estadual de Campinas: Campinas. Disponível em:

<https://sites.ifi.unicamp.br/labvacrio/files/2014/09/F-640-apostila.pdf>. Acesso em: 10 set. 2022.

GIL, Antonio C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. Quarta Edição. São Paulo: Atlas, 2002.

GIORDANI, R.E; JURACH, P.J; RODRIGUES, M.J . **Bancada didática de pneumática**. Rio Grande do Sul: CEFET, 2003.

HARSCH, V. **Otton Von Guericke (1602-1686) and His Pioneering Vacuum Experiments**. 2007.

KNWAAGEN. **ENTENDA IMPORTÂNCIA DA PRECISÃO DE INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO**. 2019. Disponível em: <https://blog.knwaagen.com.br/instrumentos-de-medicao/>. Acesso em: 15 set. 2022.

LAFFERTY, J.M. **Foundations of Vacuum Science and Technology**. New York: John Wiley & Sons, 1998.

LIMA, I.A.M. **Proposição de uma bancada didática para análise de vibração em manutenção preditiva**. Brasília, DF, 2014.

Mecânica dos Fluidos, . **Mecânica dos Fluidos, Fundamentos e Aplicações**. Brasil: McGraw-Hill, 2007.

MOUTINHO, A.M.C. **Tecnologia do Vácuo**. Lisboa, Portugal: Universidade Nova de Lisboa, 1980.

NÉRICI, Imídeo G.. **Didática geral dinâmica**. São Paulo: Atlas, 1987.

O'HANLON, J.F. **A User's Guide to Vacuum Technology**. United State: Wiley-Interscience, 2003.

REDHEAD, P.A. **History of Vacuum Devices**: National Research Council. Ottawa, Canada, 1999. Disponível em: <https://www.chem.elte.hu/departments/altkem/vakuumtechnika/CERN23.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2022.

RICHARDSON, Roberto Jarry. **Pesquisa social: Métodos e técnicas**. São paulo: atlas, 1999.

ROSENBERG, M.I. **E-Leraning: Estratégia para a transmissão na Era Digital**. São Paulo: Editora Makro Books, 2002.

RYANS, J.L; ROPER, D.L. **Process Vacuum System Design and Operation**. United State: MacGraw-Hill, 1986.

SAUNDERS, Simons; BROWNS, Harvey R.. **The filosophy of vacuum**. New York: Clarendon press oxford, 1991.

SCHNEIDER, G.B. **Engenharia de produção e Mecânica desenvolvem bancadas didáticas**. Disponível

em: [http://www.unibrasil.com.br/noticias/detalhes.asp?id\\_noticia=13619](http://www.unibrasil.com.br/noticias/detalhes.asp?id_noticia=13619). Acesso em: 28 mai. 2022.

STEMPNIAK, Robert A.. **A Ciência e a Tecnologia do Vácuo**. Disponível em: <http://www.sbvacu.org.br/noticias/o-que-e-vacu.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2022.

VAILLANT, Alcaide; MARCELO, García. **Ensinando a ensinar**: As quatro etapas de uma aprendizagem. Curitiba: Editora da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012.

APÊNDICE A — Cronograma de uma aula sobre vácuo e utilização da bancada didática.

**Objetivos da aula:**

- 1 - Conceitos gerais**
- 2 - Sistema genérico de vácuo**
- 3 - Método de utilização da bancada**
- 4 – Possíveis experimentos**

**1 - Conceitos gerais**

Pressão de vácuo

De acordo com o que se tem na literatura e também é utilizado até nos dias atuais, o cálculo da força em relação a pressão é dito como uma força que a atmosfera exerce em cima de um objeto que está sujeito a uma diferente pressão. Essa diferença pode ser calculada através de uma equação a seguir.

$$p = \frac{F}{A}$$

Onde:

$p$  - Diferença de pressão (Pa)

$F$  - Força da atmosfera externa (N)

$A$  – Área submetida a diferença de pressão (m<sup>2</sup>)

Através da equação (3), sabe-se que para uma mesma diferença de pressão, pode-se possuir uma força proporcional e diferente da área que é utilizada, com base nisso a espessura da câmara de vácuo deve ser resistente o suficiente para aguentar a força exercida na mesma. O vácuo pode criar uma diferença de pressão de até 10<sup>5</sup> Nm<sup>-2</sup> (DEGASPERI, 2002).

O sistema que possuir uma pressão abaixo da atmosfera padrão é definido como pressão de vácuo. Sabendo disso, pode-se calcular a diferença da pressão do

sistema usando a desigualdade das pressões do vácuo e da atmosfera que agem na câmara (RYANS & ROPER, 1986).

As unidades de medidas de pressão do vácuo são as seguintes: atm, mmHg, torr, bar e Pa (N/m<sup>2</sup>). E podem ser convertidas da seguinte forma representada no quadro a seguir:

Quadro 5 — Quadro de conversões

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

Fonte: O autor (2022).

O vácuo tem diferentes faixas de pressões, desde o baixo vácuo até o ultra alto vácuo, como está representado na imagem da tabela a baixo.

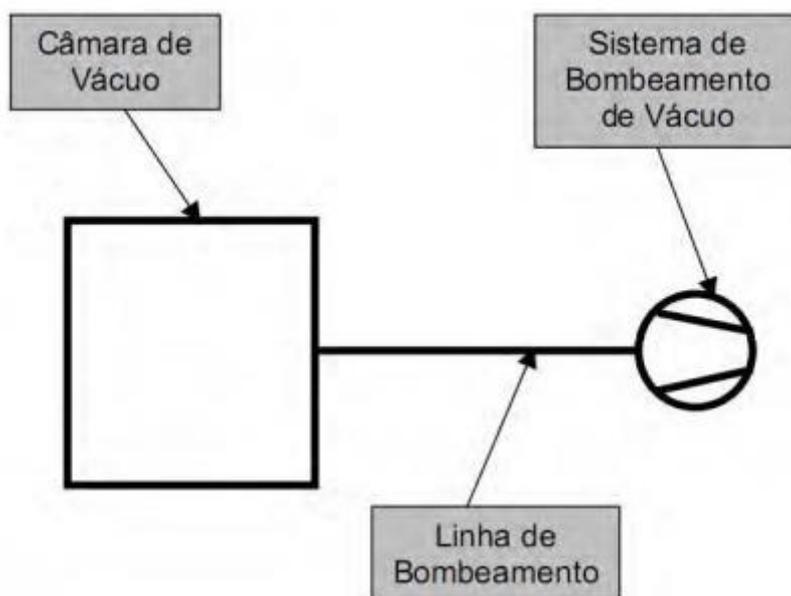
| <b>Faixa de Pressão de Vácuo</b>              | <b>Nomenclatura</b>                        |
|---|--|
| Atmosfera – 1 mbar                            | Baixo vácuo / Low vacuum                   |
| 1 mbar – 10 <sup>-3</sup> mbar                | Médio vácuo / Medium vacuum                |
| 10 <sup>-3</sup> mbar – 10 <sup>-7</sup> mbar | Alto vácuo / High vacuum (HV)              |
| Abaixo de 10 <sup>-7</sup> mbar               | Ultra-alto vácuo / Ultra-high vacuum (UHV) |

### **Aplicações do vácuo**

O vácuo tem diversas aplicações em suas mais variadas áreas, alguns exemplos de suas aplicações mais amplamente: ciência básica, física aplicada, física nuclear, estudos de plasma, física atômica, nanotecnologia, metalurgia a vácuo, microeletrônica, aeronáutica, simulação espacial, têmpera de metais, embalagens, microscópios eletrônicos, acelerados de partículas, feixes moleculares, etc.

## **2 - Sistema genérico de vácuo**

O sistema mais simples de vácuo é composto por apenas três componentes, sendo eles a câmara de vácuo, o sistema de bombeamento de vácuo e a linha de bombeamento. Como mostra a imagem a seguir.



A câmara é onde o vácuo será gerado, sendo a responsável por manter a pressão, não deixando que ocorra a entrada de ar dentro da mesma.

Já a linha de bombeamento tem como finalidade fazer a passagem do ar de dentro da câmara para fora do sistema inteiro.

Para finalizar, o sistema de bombeamento é o que faz a retirada do ar de dentro da câmara e pela linha de bombeamento, assim sendo, quanto mais forte for o bombeamento, mais forte será a pressão do vácuo gerada, se o sistema aguentar.

### **3 - Método de utilização da bancada**

A bancada é composta de um tubo de acrílico, uma base em que o tubo é encaixado, uma tampa que se encaixa na parte superior do tubo, um motor compressor que está ligado por uma mangueira ao sistema de válvulas e o sistema é rosqueado na tampa do tubo.

Para o funcionamento da mesma deve-se seguir os seguintes passos:

- 1 - Deve-se retirar a tampa de cima do tubo;

- 2 - Colocar o material que sofrerá a pressão do vácuo;
- 3 - Recolocar a tampa no tubo;
- 4 - Certificar que a válvula da mangueira está aberta e a outra fechada;
- 5 – Encaixa a chapa nas barras roscadas e apertar a mesma com as porcas;
- 6 - Ligar o motor compressor para que comece a retirada do ar;
- 7 - Com isso o vacuômetro começará a marcar a diferença de pressão que existe dentro da câmara com a de fora;
- 8 - Será possível ver se as alterações que o vácuo fez no item que foi testado;
- 9 - Após terminado o experimento desliga-se o motor compressor da tomada;
- 10 - E por fim abre-se a válvula de alívio para que o ar volte para dentro da câmara;
- 11 - Assim possibilitando mexer em todos os componentes novamente.

#### **4 – Possíveis experimentos**

Por espuma em um recipiente e exercer vácuo sobre o mesmo, observando-a se expandindo e contraindo novamente ao abrir a válvula.

Amassar um litro de plástico e deixá-lo dentro do ambiente de vácuo para que o mesmo volte a sua forma original.

Colar uma ventosa na parede interna da câmara e exercer o vácuo para ver em que nível de pressão ela se solta.