

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
Faculdade de Tecnologia de Praia Grande
Curso Superior de Tecnologia em Processos Químicos

DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DIDÁTICO PARA
SEPARAÇÃO DE MISTURA SÓLIDO-GÁS

Bruno Pereira Santana
Marcos Henrique de Souza da Silva
Stelio dos Santos Figueiredo

Victor de Oliveira Kühne

Praia Grande
Fevereiro – 2024

Equipe técnica:

Bruno Pereira Santana

Marcos Henrique de Souza da Silva

Stelio dos Santos Figueiredo

BRUNO PEREIRA SANTANA

MARCOS HENRIQUE DE SOUZA DA SILVA

STELIO SANTOS FIGUEIREDO

DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DIDÁTICO PARA
SEPARAÇÃO DE MISTURA SÓLIDO-GÁS

Relatório técnico apresentado como requisito para obtenção de aprovação no Curso Superior de Tecnologia em Processos Químicos da Faculdade de Tecnologia de Praia Grande.

Orientador: Prof.^a Esp Victor de Oliveira Kühne

Praia Grande

Fevereiro – 2024

RESUMO

O intuito central deste trabalho é a criação de um protótipo de câmara inercial de baixo custo, com a finalidade didática. O equipamento, em sua essência, é composto principalmente por Acrílico. A estrutura e funcionamento do mecanismo é baseada nas características do material particulado e do gás (Ar atmosférico) em questão. O processo de separação se efetua através da diminuição da energia cinética das partículas, resultante da modificação brusca da trajetória do fluxo de ar, assim possibilitando a separação desejada.

PALAVRAS-CHAVE: Protótipo, Câmara inercial, Separação.

ABSTRACT

The main purpose of this work is to create a low-cost inertial chamber prototype for educational purposes. The equipment, at its core, is primarily composed of polymers. The structure and functioning of the mechanism are based on the characteristics of the particulate material and the gas (atmospheric air) in question. The separation process occurs by reducing the kinetic energy of the particles, resulting from the abrupt alteration of the airflow trajectory, thus enabling the desired separation.

KEY WORDS: Prototype, Inertial chamber, Separation.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1	Operações unitárias.....	8
2.2	Câmara Inercial	8
2.3	Ventiladores.....	9
2.4	Utilização dos ventiladores	10
2.5	Turbo bombas	10
2.6	Difusor	11
2.7	Lei de Stokes.....	11
2.8	Peneiramento	13
2.9	Protótipos	14
3	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAMENTO	14
3.1	Classificação Granulométrica	14
3.2	Análise do diâmetro médio através de peneiras	18
4	CÁLCULO DE EFICIÊNCIA DO EQUIPAMENTO.	20
	MATERIAIS E MÉTODOS	22
4.1	Materiais Utilizados.....	22
4.2	Materiais impressos.....	22
4.3	Equipamentos e Ferramentas	23
4.4	Procedimentos e metodologia	23
4.5	Análise de custo	29
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	31
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Câmara Inercial.....	9
Figura 2 - Trajetória das partículas.....	9
Figura 3 - Modalidades construtivas dos rotores dos ventiladores.	10
Figura 4 - Rotores fechados de turbo bombas.	11
Figura 5 – Sistema de Peneira e um agitador eletromagnético	14
Figura 6 - Massa retida na segunda peneira.	15
Figura 7 - Massa retida na terceira peneira.....	16
Figura 8 - Massa retida na quarta peneira.....	16
Figura 9 - Massa retida na quinta peneira.	17
Figura 10 - Massa retida na sexta peneira.	17
Figura 11 - Taxa de eficiência em função do Número de Separação Ns.	21
Figura 12 - Cortando o compensado naval plastificado.....	24
Figura 13 - Estrutura principal.	25
Figura 14 - Reforço com Perfil tipo T na estrutura.....	25
Figura 15 - Anteparos finalizados.....	26
Figura 16 – Fixação dos anteparos na estrutura.	26
Figura 17 – Anteparos fixados na estrutura.....	27
Figura 18 - Bandejas finalizadas.	27
Figura 19 – Sistema de alimentação.	28

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Lei de Stokes	12
Equação 2 - Teorema de Stokes.....	12
Equação 3 - Média simples para a obtenção do diâmetro médio em cada peneira. .	18
Equação 4 - Fórmula para obtenção do diâmetro médio total	18
Equação 5 - Número de Separação	20

LISTA FLUXOGRAMA

Fluxograma 1 – Principais etapas do processo de separação da câmara inercial.....9

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise granulométrica.....	19
Tabela 2 - Custo.	30

1 INTRODUÇÃO

Na indústria atual, a transferência de materiais assume um papel crucial, sustentando variados processos produtivos que vão desde a produção de energia até atividades no setor salineiro (GUALBERTO, 2019). Em todos esses contextos, mover substâncias de maneira eficiente é essencial para manter a operação contínua. Adicionalmente, ao empregar técnicas de otimização por meio de cálculos precisos, observa-se um incremento notável na eficiência, como o ajuste adequado da velocidade de transporte conforme o material. Esse ajuste previne desgastes excessivos em máquinas e amplia os intervalos entre as necessidades de manutenção (FREITAS, 2016). Entretanto, lidar com a transferência de grandes quantidades de material vai além da teoria. Assegurar práticas operacionais robustas e utilizar informações em tempo real para decisões é crucial. Quando há lacunas na compreensão dos cálculos envolvidos, enfrentamos desafios operacionais (MCCABE et al, 2005).

O curso de Processos Químicos da Faculdade de Tecnologia (Fatec) desempenha um papel fundamental na formação de profissionais aptos a atender às atuais demandas da indústria. Com o compromisso de aprimorar a qualidade educacional, estreitando a relação entre teoria e prática, este projeto visa proporcionar uma imersão prática nos desafios associados à transferência de materiais.

Essa abordagem prática possibilita que os conceitos teóricos, muitas vezes abstratos, sejam transformados em aplicações concretas. Ao interagir com protótipos industriais, os alunos conseguem visualizar e entender a relevância da teoria em operações reais, como, por exemplo, a separação de misturas, que são componentes essenciais dos processos industriais.

A experiência adquirida ao trabalhar diretamente com protótipos industriais prepara os estudantes de maneira mais eficaz para ingressar no mercado de trabalho. Com isso, é possível minimizar as dificuldades na aplicação prática de conhecimentos teóricos e competências práticas, capacitando-os para contribuir no setor industrial e afins.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Operações unitárias

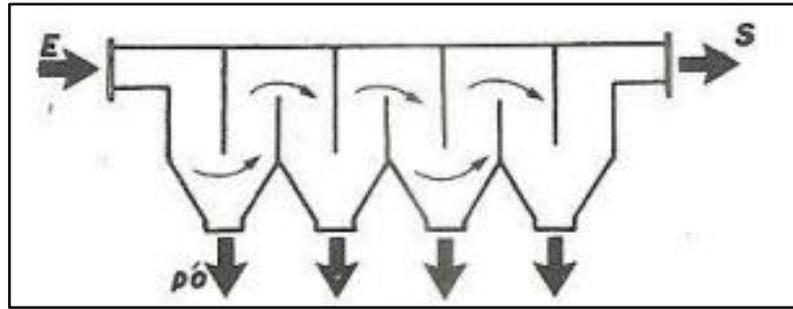
As operações unitárias desempenham um papel importante na indústria de transformação, fazendo parte do processo produtivo. Podemos classificar as operações unitárias como processos físicos, no qual não envolvem transformações químicas, mas fenômenos físicos. Dentre as operações unitárias, podemos destacar alguns processos: secagem, transporte de sólidos granulares, separação de misturas heterogêneas. Compreender e dominar essas operações é fundamental, fornecendo a base necessária para a realização eficaz de uma ampla variedade de processos industriais (MCCABE et al, 2005).

2.2 Câmara Inercial

A Câmara inercial é um equipamento utilizado para realizar a separação de misturas heterogêneas do tipo sólido gás. A separação nestes equipamentos baseia-se na diferença entre a quantidade de movimento das partículas sólidas e a do gás. Conseqüentemente, as partículas não seguirão o caminho do gás se este mudar bruscamente de direção. Sua trajetória será menos curvada do que as linhas de corrente do gás, sendo fácil obrigá-las a atingir anteparos como chicanas ou material poroso de enchimento. Por gravidade as partículas chegarão aos pontos de descarga.

Nos tipos comuns de separadores desta classe deve-se prever uma velocidade mínima de escoamento de 18 m/s para conseguir a separação de partículas de 50 μ . Pode-se aumentar o rendimento recobrando as chicanas com óleo não secativo ou água (GOMIDE, 1980).

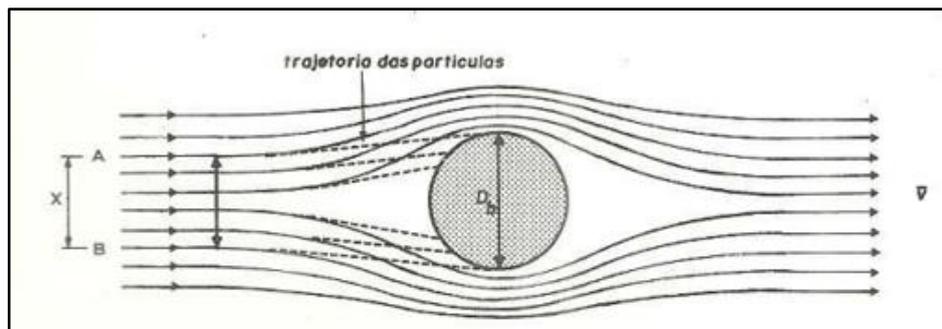
Figura 1 - Câmara Inercial.



Fonte: Gomide, 1980.

A remoção do material depende do impacto das partículas nas barreiras colocadas na direção do fluxo da corrente gasosa e na mudança brusca na direção de movimento do gás, assim, as partículas vão, ao se chocarem com as barreiras, perder energia cinética e, por consequência, vão se depositar ao fundo ou em recipientes pré-estabelecidos.

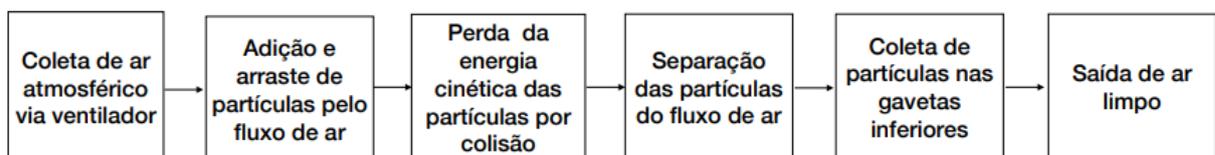
Figura 2 - Trajetória das partículas.



Fonte: Gomide, 1980.

Em linhas gerais, podemos resumir o processo de separação em seis etapas principais, como podemos ver no fluxograma abaixo.

Fluxograma 1 – Principais etapas do processo de separação da câmara inercial.

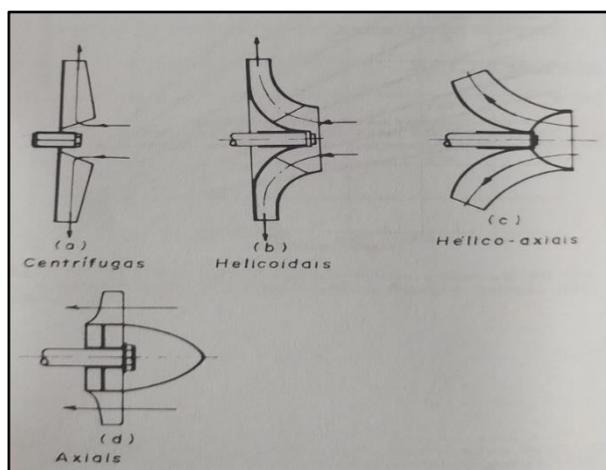


Fonte: Acervo pessoal, 2024.

2.3 Ventiladores

Ventiladores são turbo máquinas geratrizes ou operatrizes, também designadas por máquinas turbo dinâmicas, que se destinam a produzir o deslocamento dos gases. A rotação de um rotor dotado de pás adequadas, acionado por um motor, em geral elétrico, permite a transformação de energia mecânica do rotor nas formas de energia que o fluido é capaz de assumir, ou seja, a energia potencial de pressão e a energia cinética. Devido a energia cinética adquirida, o fluido (no caso, o ar ou os gases) torna-se capaz de escoar em dutos, vencendo as resistências que se oferecem ao seu deslocamento, proporcionando a vazão desejável de ar para a finalidade que se tem em vista (Macintyre, 2014).

Figura 3 - Modalidades construtivas dos rotores dos ventiladores.



Fonte: Macintyre, 2014

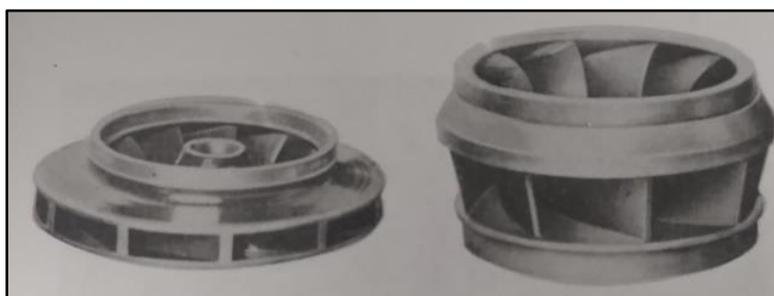
2.4 Utilização dos ventiladores

Os ventiladores são usados nas indústrias em ventilação, climatização e em processos industriais, como na indústria siderúrgica nos altos-fornos e em sinterização; muitas indústrias nas instalações de caldeiras; em pulverizadores de carvão, queimadores, em certos transportes pneumáticos e em muitas outras aplicações (Macintyre, 2014).

2.5 Turbo bombas

As turbos bombas, também chamadas bombas roto dinâmicas e kinetic pumps pelo Hydraulic Institute, são caracterizadas por possuírem órgãos rotatórios dotados de pás, chamado rotor, que exerce sobre o fluído, forças que resultam da aceleração que o rotor imprime ao líquido. Essa aceleração, contrário do que se verifica nas bombas de deslocamento positivo, não possui uma direção e o mesmo sentido do movimento do líquido em contato com as pás (Macintyre, 2014).

Figura 4 - Rotores fechados de turbo bombas.



Fonte: Macintyre, 2014

2.6 Difusor

Também conhecido como recuperador, este componente desempenha um papel fundamental na transformação da maior parte da considerável energia cinética do fluído, que é gerada quando este sai do rotor, em energia de pressão. Conseqüentemente, quando o líquido atinge a saída da bomba, sua capacidade de escoar a uma velocidade razoável permite equilibrar a pressão que se opõe ao seu fluxo.

Essa transformação segue os princípios do teorema de Bernoulli, pois o difusor, geralmente caracterizado por uma seção que cresce gradualmente, promove uma redução contínua e progressiva na velocidade do líquido que passa por ele, ao mesmo tempo em que ocorre um aumento simultâneo na pressão. Isso é essencial para garantir o funcionamento eficiente e adequado do sistema de bombeamento. (Macintyre, 2014).

2.7 Lei de Stokes

A lei foi elaborada por George G. Stokes, Matemático e físico Britânico, conhecido por seus estudos sobre o comportamento de fluidos viscosos. A lei de

Stokes descreve o movimento de uma esfera sobre um fluido viscoso, relacionando o às dimensões da esfera, a velocidade de queda, o peso específico do fluido e da esfera.

Em suma, a Lei de Stokes descreve as forças que agem em um objeto em movimento dentro de um fluido viscoso, considerando as propriedades tanto do objeto quanto do fluido. Ela é uma ferramenta fundamental para compreender como objetos se comportam ao se deslocar em meios com resistência, como água ou ar de baixa velocidade, sendo dada por:

Equação 1 – Lei de Stokes

$$\mu = \frac{2r^2}{9V_e}(\gamma_e - \gamma_f)$$

Sendo:

μ = Viscosidade dinâmica

r = Raio da esfera

V_e = Velocidade da Esfera

γ_e = Massa específica da esfera

γ_f = Massa específica do fluido

Para calcular a velocidade de sedimentação ou velocidade limite, é utilizado o Teorema de Stoke, sendo dada por:

Equação 2 - Teorema de Stokes

$$U_t = \frac{g(\gamma_e - \gamma_f)D^2}{18\mu}$$

Sendo:

μ = Viscosidade dinâmica

U_t = Velocidade de sedimentação

D = Diâmetro da partícula

g = Aceleração gravitacional

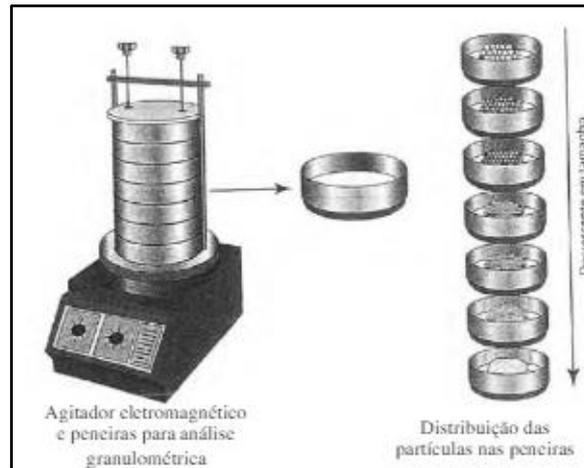
γ_e = Densidade da partícula

γ_f = Densidade do fluido

2.8 Peneiramento

O peneiramento é uma técnica na qual se faz passar uma quantidade de material através de uma série de peneiras com diferentes diâmetros de abertura. Nessa técnica, distribuem-se as peneiras em ordem decrescente de diâmetro. Ao alimentar o sistema com a amostra, uma certa quantidade do material poderá ficar retida na primeira peneira, enquanto boa parte do material atravessa e se deposita na segunda peneira, a qual, por sua vez, poderá reter uma quantidade do material remanescente da primeira, enquanto o restante seguirá para a próxima peneira. Após o material passar por todo o sistema de peneiras, poderemos observar a separação dos materiais com base no seu diâmetro. Após determinar a granulometria da amostra com o sistema de peneiras, é possível determinar o diâmetro médio da amostra, o qual pode ser definido por diversos métodos. (CREMASCO, 2012)

Figura 5 – Sistema de Peneira e um agitador eletromagnético



Fonte: Cremasco, 2012

2.9 Protótipos

Protótipos são modelos preliminares de um produto ou sistema que servem para testar sua funcionalidade, design e usabilidade antes de sua produção final. Os protótipos podem ser de baixa ou alta fidelidade, dependendo do nível de detalhamento e acabamento que apresentam. (SILVA et al, 2004).

Através deles é possível validar hipóteses, identificar problemas, reduzir custos e coletar feedbacks. Porém existe outra categoria de protótipos que são realizados com o objetivo de facilitar o aprendizado, tornando conceitos teóricos em palpáveis (NEVES, 2000) e para isso o custo monetário utilizado possui valor inferior aos demais que visam a lucratividade da empresa.

3 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAMENTO

3.1 Classificação Granulométrica

O experimento iniciou-se pesando o material a ser peneirado, totalizando 300 gramas, e posicionando as peneiras, utilizadas com as seguintes aberturas: 2,0 mm, 1,18 mm, 850 μ m, 600 μ m 106 μ m, 53 μ m. As peneiras foram empilhadas de forma crescente em relação a abertura da malha. Após isso, inseriu-se o material no topo

das peneiras e em seguida o sistema foi agitado até que ocorresse a separação do material de acordo com o diâmetro do material. Após isso, foi pesado a massa do material retido em cada peneira, separadamente.

Na primeira peneira, com uma abertura de 2 mm, não ficou retido nenhum material. Porém, na segunda peneira, com uma abertura de 1,18 mm, ficou retido, aproximadamente, 48,54 gramas de um total de 300 gramas, sendo 16,18% da massa total do sistema, conforme a figura 6.

Figura 6 - Massa retida na segunda peneira.



Fonte: Acervo pessoal, 2024.

Na terceira peneira, com uma abertura de 850 μm , foi retido uma massa de, aproximadamente, 115,48 gramas, de um total de 300 gramas, sendo 38,49% da massa total do sistema, conforme a figura 7.

Figura 7 - Massa retida na terceira peneira.



Fonte: Acervo pessoal, 2024.

Na quarta peneira, com uma abertura de 600 μm , foi retido uma massa de, aproximadamente, 108,13 gramas, de um total de 300 gramas, sendo 36,04% da massa total do sistema, conforme a figura 8.

Figura 8 - Massa retida na quarta peneira.



Fonte: Acervo pessoal, 2024.

Na quinta peneira, com uma abertura de 106 μm , foi retido uma massa de, aproximadamente, 26,55 gramas, de um total de 300 gramas, sendo 7,9% da massa total do sistema, conforme a figura 9.

Figura 9 - Massa retida na quinta peneira.



Fonte: Acervo pessoal, 2024.

Na sexta peneira, com uma abertura de 53 μm , foi retido uma massa de, aproximadamente, 1,20 gramas, de um total de 300 gramas, sendo 0,4% da massa total do sistema, conforme a figura 10.

Figura 10 - Massa retida na sexta peneira.



Fonte: Acervo pessoal, 2024.

A próxima etapa do projeto envolve o cálculo do diâmetro médio da partícula, com base nas massas retidas e o diâmetro de abertura da malha de cada peneira, é possível determinar um diâmetro médio.

3.2 Análise do diâmetro médio através de peneiras

Essa etapa envolve, após o peneiramento da amostra, a determinação do diâmetro médio da amostra através das frações retidas em cada peneira e com o diâmetro de abertura da malha de cada peneira. Após separar as frações retidas em cada peneira e pesar a massa retida, será realizado um cálculo do diâmetro médio de cada partícula em cada peneira onde ocorreu a retenção do material, usando uma média simples:

Equação 3 - Média simples para a obtenção do diâmetro médio em cada peneira.

$$D = \frac{Da + Di}{2}$$

Onde:

D = diâmetro médio do material retido na peneira [mm] ou [μm].

Di = diâmetro da abertura da peneira onde o material ficou retido [mm] ou [μm].

Da = diâmetro da abertura da peneira anterior [mm] ou [μm].

Em seguida, após ter realizado o cálculo para cada peneira onde ocorreu a retenção do material, será realizado o cálculo do diâmetro médio total das partículas que constituem a mistura, através da seguinte fórmula:

Equação 4 - Fórmula para obtenção do diâmetro médio total

$$Dm = \sum \left(\frac{Mi}{M} \cdot D \right)$$

Onde:

Dm = Diâmetro médio da partícula [mm] ou [μm].

Mi = Massa da amostra retida na peneira [mm] ou [µm].

M = Massa total da amostra no sistema [g].

Ao realizarmos todas as etapas descritas anteriormente, obtivemos os dados a seguir, de acordo com a tabela 1 abaixo.

Tabela 1 - Análise granulométrica

Abertura (Mash Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Porcentagem (m/M)	Diâmetro Médio da partícula retida (mm)
9	2	0	0	0
14	1,18	48,55	16,18	1,59
20	0,85	115,57	38,52	1,015
28	0,6	108,13	36,04	0,725
150	0,106	26,55	8,85	0,353
270	0,53	1,2	0,4	0,636

Fonte: Produzida com base nos dados do experimento, 2024.

A tabela acima mostra o diâmetro médio encontrado para cada parte da amostra retida nas peneiras com base no cálculo demonstrado anteriormente. Com os diâmetros, é possível determinar o diâmetro médio total da amostra, como demonstrado pela equação abaixo:

$$Dm = \sum \left(\frac{Mi}{M} \cdot D \right)$$

Sendo:

Dm = Diâmetro médio da partícula [mm] ou [µm].

Mi = Massa da amostra retida na peneira [mm] ou [µm].

M = Massa total da amostra no sistema [g].

Com isso, encontramos o seguinte valor para o diâmetro médio total:

$$Dm = 0,9334 \text{ mm}$$

Com a determinação do diâmetro médio total, é possível calcular, na próxima etapa do projeto, a taxa de eficiência da separação da amostra no protótipo.

4 CÁLCULO DE EFICIÊNCIA DO EQUIPAMENTO.

De acordo com Gomide (1980), podemos calcular a eficiência de separação do protótipo, através de um número N, que indica a porcentagem que será retida na faixa de 26 cm dos anteparos, isto é, indica a eficiência do equipamento, sendo este obtido através do Número de separação, adimensional, sendo dada por:

Equação 5 - Número de Separação

$$Ns = \frac{Ut \cdot V}{gDb}$$

Onde:

Ns = número de Separação

Ut = Velocidade terminal ou velocidade de escoamento

g = Aceleração gravitacional

Db = Largura do obstáculo.

Antes de determinarmos o número de separação, iremos utilizar a lei de Stokes para encontrar a Velocidade de escoamento.

$$Ut = \frac{g(\gamma_e - \gamma_f)D^2}{18\mu}$$

De acordo com Santos (2022), a densidade do pó de pedra que foi utilizado no teste do equipamento é de 2,5 g/cm³. Considerando a aceleração gravitacional local de 9,81 m/s², a densidade do ar de 1225 kg/m³ e uma viscosidade dinâmica do ar de 1,18. 10⁻⁵ Kg/ms, podemos determinar a velocidade de escoamento.

Após colocar os dados nas mesmas unidades, foi encontrada uma velocidade de escoamento de:

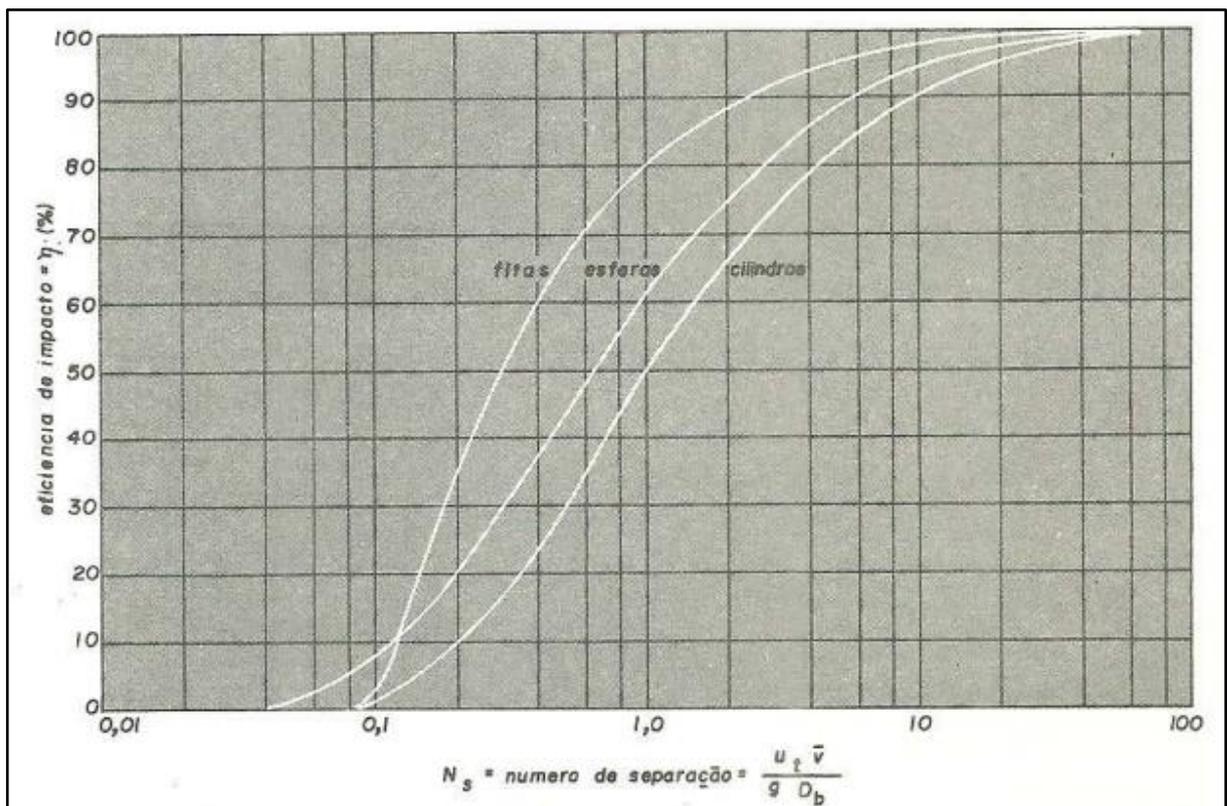
$$U_t = 33,57 \text{ m/s.}$$

Conforme Gomide (1890), a velocidade de escoamento nesse tipo de equipamento deve ser de, no mínimo, 18 m/s. Com isso, o valor encontrado é excelente, sendo o mesmo 1,87 vezes maior em relação ao valor mínimo sugerido. Após termos encontrado esse valor, poderemos prosseguir para a próxima etapa que corresponde na determinação do número adimensional N_s . Em seguida, após os cálculos terem sido realizados, obtivemos o seguinte valor para N_s .

$$N_s = 12,7 \text{ [Adimensional]}$$

Para encontrarmos o valor de N , devemos localizá-lo, através do valor de N_s , na figura 11, localizada abaixo:

Figura 11 - Taxa de eficiência em função do Número de Separação N_s .



Ao analisarmos o quadro, encontramos um número próximo a 98%, isso indica que em uma faixa de 26 cm, será retido, no total, 98% do pó de pedra com o diâmetro de 0,9334 mm.

MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais Utilizados

1. Placas de Acrílico transparente de 2mm de espessura utilizado na vedação da câmara inercial;
2. Compensado Naval Plastificado 10mm (2200x1100mm) que formou uma estrutura em “U” 1 unidade medindo (130cm x 65cm x 1cm) e 2 unidades medindo (65cm x 55cm x 1cm), que foram alocadas nas laterais e na parte traseira da câmara inercial;
3. Sarrafo de Madeira (5,0cmx2,0cm) com 3 metros.
4. Perfil Tipo T - Alumínio 1 x 1/16 (2,54cm x 1,58cm) com 6 metros;
5. Perfil Tipo L - Alumínio 1/2 (12x12mm) com 6 metros;
6. Rebite de Repuxo 4,0mm x 10mm (arrebite reforçado).
7. Pregos sem cabeça polido 15x15;
8. Parafuso Cabeça chata Philips (3,5x40mm);
9. Parafuso Cabeça chata Philips (3,5x12mm);
10. Parafuso Redonda 1/8 x 1 Fenda com porca;
11. Broca-aço-rápido 6,0mm e 8,0mm;
12. Broca para madeira 8,0mm;
13. Motor: Marca Star Make modelo (SM-50B) - frequência 50/60Hz, possuindo 7500 rpm e voltagem 220V, 0,5A.;
14. Silicone Tekbond acético 280g (branco)
15. Estilete 18mm

4.2 Materiais impressos

1. Funil dosador de materiais (partículas);
2. Tubo de Alimentação misto de ar e partículas

4.3 Equipamentos e Ferramentas

1. Serra Tico-tico: Utilizada para realizar os cortes na madeira;
2. Serra copo: realização dos furos na madeira;
3. Chave de fenda e Philips: Foram empregadas para fixar os parafusos em diversas partes do projeto, incluindo as madeiras para forma a estrutura em “U”, as cantoneiras, acrílicos, entre outras;
4. Paquímetro;
5. Furadeira (com brocas de aço 6,0mm e 8,0mm): Essencial para perfurar o acrílico, a madeira da estrutura em “U”.
6. Estilete: Auxiliou no corte das chapas de acrílico para modelagem das vedações da câmara inercial.
7. Trena Lukin (5m/16’)
8. Martelo de Unha – Stanley
9. Arco de Serra Starrett 12” com lâmina Bimetal (Starrett).

4.4 Procedimentos e metodologia

O Compensado naval plastificado foi escolhido como estrutura principal para a câmara de inercial devido seu baixo custo e sua resistência. Utilizamos uma serra tico-tico para criar cortes transversais, onde foi formado 1 placa de (130x55x1cm) e 2 placas (70cmx55cmx1cm), conforme a figura 12 abaixo:

Figura 12 - Cortando o compensado naval plastificado.



Fonte: Acervo pessoal, 2024.

Foi utilizado de madeira (65x5x2cm) para fixar as madeiras das laterais e a parte traseira, para dar uma maior estabilidade a estrutura. Foi utilizado pregos e parafusos com porcas para unir a estrutura, conforme figura abaixo.

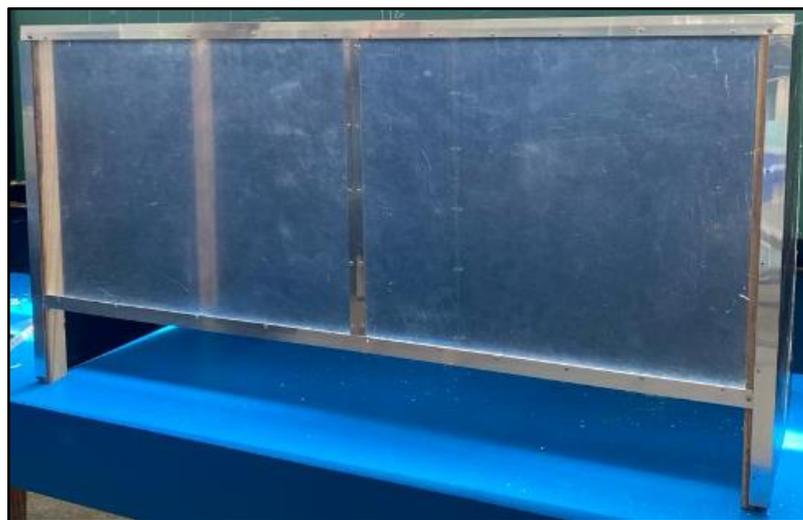
Figura 13 - Estrutura principal.



Fonte: Acervo pessoal, 2024.

Foi utilizado o Perfil Tipo T - Alumínio 1 x 1/16 (2,54cm x 1,58cm) como reforço na estrutura, além de ser utilizado para fixar as placas frontais de acrílico, conforme figura abaixo.

Figura 14 - Reforço com Perfil tipo T na estrutura.



Fonte: Acervo pessoal, 2024.

Após isso, construímos os anteparos com moldura em Perfil Tipo L - Alumínio 1/2 (12x12mm) e placas de acrílico (55cmx26cmx0,2cm), conforme figura abaixo.

Figura 15 - Anteparos finalizados.



Fonte: Acervo pessoal, 2024.

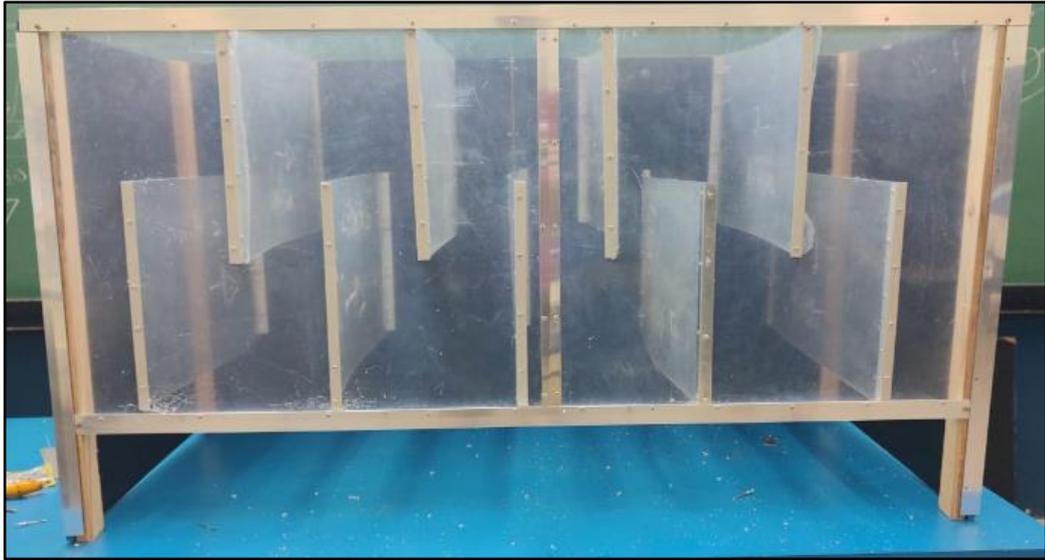
Nesta etapa realizamos a fixação dos anteparos na câmara inercial, com auxílio de parafusos com porcas, parafusos Philips e rebites de repuxo, como mostra nas figuras 16 e 17.

Figura 16 – Fixação dos anteparos na estrutura.



Fonte: Acervo pessoal, 2024.

Figura 17 – Anteparos fixados na estrutura.



Fonte: Acervo pessoal, 2024.

Foram feitas caixas para realizar a coleta do material que se depositará ao fundo do protótipo. As bandejas foram feitas com acrílico (55cmx26cmx0,2cm) e reforçadas com Perfil Tipo L Alumínio 1/2 (12x12mm), conforme figura abaixo.

Figura 18 - Bandejas finalizadas.

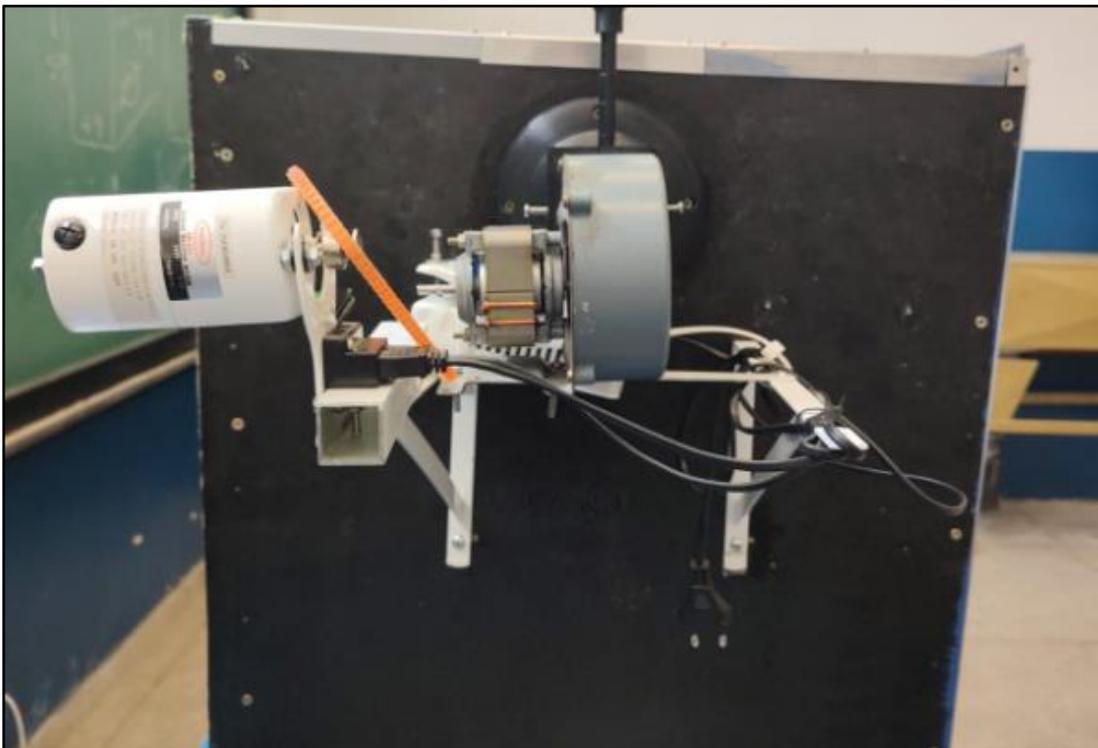


Fonte: Acervo pessoal, 2024.

O motor, modelo SM-50B, foi acoplado na entrada da alimentação do protótipo, junto a um rotor, para realizar a alimentação e arrastar o material para dentro do protótipo, como podemos ver na figura 19. O sistema apresentou uma vazão de entrada de $5,76 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ e uma velocidade na entrada do sistema $2,04 \text{ m/s} \pm 0,444$.

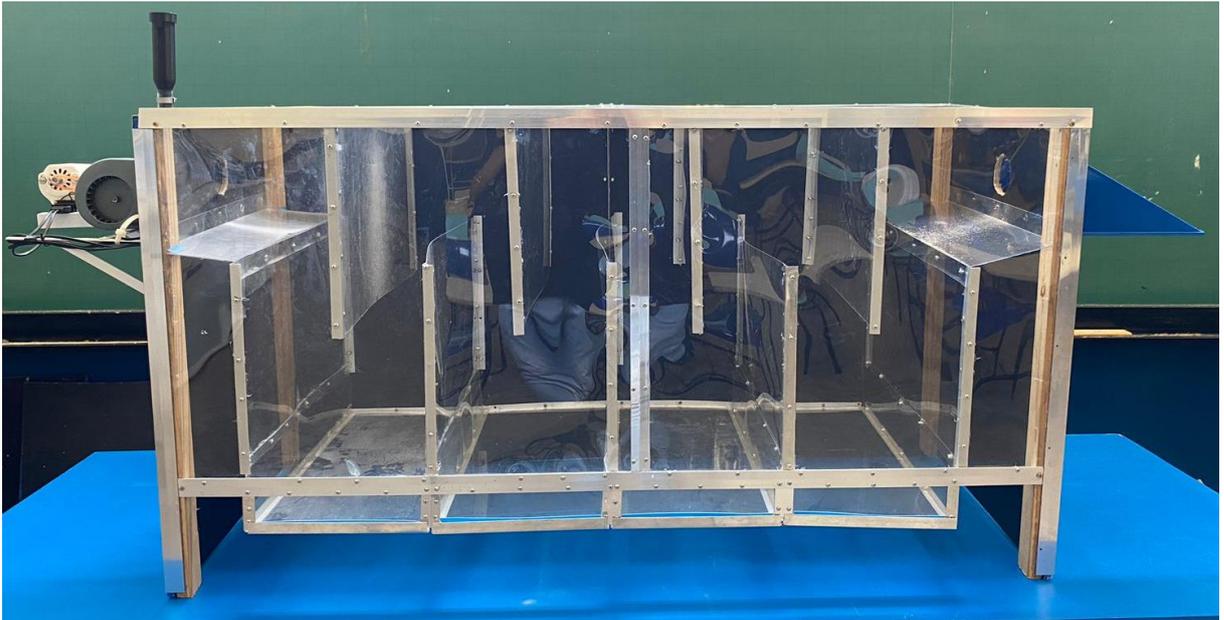
O sistema de alimentação é do tipo de transmissão por correias e base única, onde o motor do ventilador, a transmissão por polias e correias, são montados em uma base, formando uma unidade pronta para ser acionada. O sistema conta com um rotor centrífugo do tipo 'A' pás airfoil, que é movimentado pelo motor para impulsionar o ar para dentro do protótipo. O protótipo finalizado conta com um comprimento de 1,30m e uma altura de 0,7m, e uma estrutura feita, principalmente, de compensado naval, como podemos ver na figura 20.

Figura 19 – Sistema de alimentação.



Fonte: Acervo pessoal, 2024.

Figura 20 - Protótipo finalizado.



Fonte: Acervo pessoal, 2024.

4.5 Análise de custo

Ao decorrer do desenvolvimento do protótipo, foi abordado uma estratégia financeira, que tinha o objetivo de utilizar materiais que já estavam em posse da equipe técnica, além da aquisição de materiais de custo-benefício que atendiam as necessidades do projeto. Além disso, utilizamos materiais que já estavam nas instalações da instituição de ensino, o que possibilitou um custo menor para o desenvolvimento do protótipo. Os valores levantados nesta análise, dos materiais que foram utilizados na construção do protótipo, podem sofrer alterações, considerando a região, loja e a qualidade.

Tabela 2 - Custo.

Materiais	Preço
Placas de Acrílico transparente de 2mm	R\$ 200,00
Compensado Naval Plastificado 10mm (2200x1100mm)	R\$ 89,90
Sarrafo de Madeira (5,0cmx2,0cm) 3 metros	R\$ 12,00
Perfil Tipo T - Alumínio 1 x 1/16 (2,54cm x 1,58cm) - metros	R\$ 64,50
Perfil Tipo L - Alumínio 1/2 (12x12mm) - 9 metros	R\$ 66,00
Rebite de Repuxo 4,0mm x 10mm (arrebite reforçado) 300 unidades	R\$ 40,00
Pregos sem cabeça polido 15x15 (40 unidades)	R\$ 5,00
Parafuso Cabeça chata Philips (3,5x40mm) (100 unidades)	R\$ 16,00
Parafuso Cabeça chata Philips (3,5x12mm) (100 unidades)	R\$ 16,00
Parafuso Redonda 1/8 x 1 Fenda com porca (90 unidades)	R\$ 18,00
Broca-aço-rápido 6,0mm	R\$ 7,00
Broca-aço-rápido 8,0mm	R\$ 8,00
Silicone Tek bond acético 50g (transparente)	R\$ 10,00
Lâmina Bimetal (Starrett)	R\$ 10,00
Total	R\$ 562,40

Fonte: Acervo pessoal, 2024.

Nessa tabela, consta o valor de todos os produtos utilizados no desenvolvimento do protótipo, sem levar em consideração os materiais que já estavam disponíveis na instituição ou em posse da equipe técnica, nos dando uma noção do investimento total do equipamento. Devido a utilização dos materiais já em posse, foi possível economizar cerca de 200 reais no desenvolvimento do protótipo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante o desenvolvimento deste projeto, foi priorizada a reutilização de materiais pouco utilizados, conferindo-lhes novas funções e evitando descartes desnecessários. Essa abordagem, centrada na otimização dos recursos disponíveis, não apenas demonstrou viabilidade econômica, mas também destacou estratégias inovadoras.

Os testes realizados confirmaram que o equipamento atendeu completamente às especificações e cálculos estabelecidos, reforçando a praticidade e funcionalidade da câmara inercial.

O resultado obtido evidencia seu potencial como ferramenta educacional, capacitando a replicação dos princípios fundamentais desse tipo de equipamento a baixo custo de produção. Isso não só o torna um objeto de estudo valioso, mas também uma proposta promissora para futuros trabalhos e melhorias em aula.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CREMASCO, M. A. **Operações Unitárias em Sistemas Particulados e Fluido mecânicos. 1. ed.** São Paulo: Blucher, 2012. p. 142-154.

GOMIDE, Reynaldo. **Operações Unitárias: operações com sistemas sólidos granulares. v. 3.** São Paulo: Edição do autor, 1983.

GUALBERTO, Victor. **Projeto Preliminar de Transportador Helicoidal Aplicado à Indústria Salineira de Mossoró e Região, 2019.**

McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (2005). **Unit operations of chemical engineering. McGraw-Hill.**

MIRAVETE, Antonio. **Los transportes em la ingeniería industrial.** Barcelona, 1998.

ROTHER-NEVES, Max; SILVA, Orlando Fonseca; BARREIROS, José Augusto Lima. **Metodologia para a construção de protótipos didáticos para os cursos de controle e automação de sistemas.** In: Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. COBENGE. 2004.

SANCHES, Vinícius. **PROJETO DE UM SISTEMA DE DOSAGEM E PESAGEM PARA UM MÓDULO INSTRUCIONAL DIDÁTICO, 2020.**

SANTOS, Eduardo. **Elaboração de um protótipo para separação sólido-gás. 2022. 19 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo, Praia Grande.**

SILVA, O. F., Rothe-Neves, M., & Alves, J. D. (2000). **Metodologia para a construção de protótipos didáticos: um estudo de caso.** ICECE.