

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA

Faculdade de Tecnologia de Praia Grande

Curso Superior de Tecnologia em Processos Químicos

DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE
TRANSPORTADOR HELICOIDAL PARA TRANSPORTE DE
MATERIAL PARTICULADO

Victor de Oliveira Kühne

Praia Grande

Dezembro – 2023

Equipe técnica:

Ana Luiza Rodrigues Silva

Isaac Azevedo Gonçalves

William Rafael dos Santos Conceição Santos

ANA LUIZA RODRIGUES SILVA

ISAAC AZEVEDO GONÇALVES

WILLIAM RAFAEL DOS SANTOS

DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE
TRANSPORTADOR HELICOIDAL PARA TRANSPORTE DE
MATERIAL PARTICULADO

Relatório técnico apresentado como requisito parcial para obtenção de aprovação na disciplina Trabalho de Graduação, 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
Dezembro – 2023

RESUMO

O propósito deste projeto é a construção de um protótipo de transportador helicoidal, com ênfase em seu uso como ferramenta educacional. Este dispositivo, com aplicações abrangentes em diversas indústrias, opera por meio de uma rosca helicoidal que é rotacionada por um conjunto de polias, as quais desmultiplicam a velocidade. Essas polias estão interligadas entre si e conectadas ao motor, situado em uma das extremidades do transportador. É fundamental destacar que, para o desenvolvimento deste projeto, priorizou-se o uso de materiais acessíveis e disponíveis na instituição de ensino, assim como a impressora 3D.

PALAVRAS-CHAVE: Ferramenta educacional, transportador helicoidal, materiais acessíveis.

ABSTRACT

The purpose of this project is to build a prototype screw conveyor, with emphasis on its use as an educational tool. This device, which has wide-ranging applications in various industries, operates by means of a helical screw that is rotated by a set of pulleys, which demultiply the speed. These pulleys are interconnected and connected to the motor at one end of the conveyor. It is important to note that, for this project's development, priority was given to the use of accessible materials available at the educational institution, such as the 3D printer.

KEYWORDS: Educational tool, screw conveyor, accessible materials.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1 Operações unitárias	8
2.2 Transportador Helicoidal	8
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	10
3.1 Materiais Utilizados	10
3.2 Materiais impressos.....	11
3.3 Equipamentos e Ferramentas	11
3.4 Procedimentos e metodologia	12
3.5 Análise de custos	24
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	25
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Parafuso de Arquimedes.....	9
Figura 2 - Transportador Helicoidal com Calha em “U”	10
Figura 3 - Tubo Após a moldagem.....	13
Figura 4 - Recorte de Escoamento.....	13
Figura 5 - Calha Finalizada	14
Figura 6 - Fluxograma para Determinação de Variáveis	14
Figura 7 - Caixa do Motor.....	17
Figura 8 - Capacitor Conectado ao Circuito	18
Figura 9 - Polia (Vista Lateral).....	19
Figura 10 - Polia (Vista Frontal).....	19
Figura 11 - Polia do Motor	20
Figura 12 - Mancais.....	20
Figura 13 - Sistema de Polias	21
Figura 14 - Acrílico Fixado.....	21
Figura 15 - Tubos de PVC Fixados	22
Figura 16 - Bucha Impressa	22
Figura 17 - Helicoide	22
Figura 18 - Transportador Helicoidal Finalizado	23
Figura 19 – Protótipo inclinado.....	24

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1.1 – Primeiro Método de Cálculo de RPM	14
Equação 1.2 – Segundo Método de Cálculo de RPM	14
Equação 2 – Vazão Mássica	15
Equação 3 – Vazão Volumétrica	16
Equação 4.1 – Cálculo de Potência Segundo Gomide.....	16
Equação 4.2 – Cálculo de Potência Segundo Spivakovsky,e Dyachkov.....	16
Equação 5 – Dimensionamento de Polias.....	18
Equação 6 – Relação Trigonométrica para Definir a Altura	24

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Velocidade da Rosca em Função do seu Diâmetro para Materiais de Baixa Densidade e Não Abrasivos	15
Quadro 2 - Velocidade Mínima e Máxima Recomendada Baseado no Diâmetro da Rosca (Adaptado)	17
Quadro 3 – Custo	25

1. INTRODUÇÃO

Na indústria contemporânea, a movimentação de materiais desempenha um papel central, sustentando uma ampla gama de processos produtivos, que se estendem desde a geração de energia até o setor salineiro (GUALBERTO, 2019). Em cada um desses setores, a transferência de substâncias é fundamental para assegurar a continuidade operacional. Contudo, a aplicação de métodos de otimização utilizando cálculos leva a melhorias significativas na produtividade, como por exemplo, da velocidade de transporte adequada para o tipo de material transportado. Esse cuidado evita o desgaste excessivo dos equipamentos e garante intervalos maiores entre manutenções (FREITAS, 2016). Além disso, a complexidade da transferência de grandes volumes de material não se limita a abordagens teóricas. Garantir operações eficazes e usar dados em tempo real para tomada de decisões são elementos essenciais para o bom funcionamento do processo produtivo, e quando a compreensão dos cálculos é limitada desafios começam a surgir (MCCABE *et al.*, 2005).

Diante deste cenário, o curso de Processos Químicos da Faculdade de Tecnologia (Fatec) assume um papel protagonista na formação de profissionais habilitados a enfrentar tais exigências da indústria. Como parte do compromisso de elevar o padrão educacional e fortalecer a ligação entre o conhecimento teórico e suas aplicações concretas, o presente projeto tem como meta oferecer aos alunos uma vivência imersiva nos desafios intrínsecos à transferência de materiais.

Esta abordagem permite que conceitos abstratos da sala de aula se transformem em ações tangíveis. Ao trabalharem com protótipos industriais, os alunos compreendem onde e porque aplicar cálculos e teoria na prática, estabelecendo uma ligação direta entre esses conceitos e as operações unitárias (SILVA *et al.*, 2000). As operações unitárias abrangem diversos estágios nos processos industriais, como por exemplo, a mistura, separação e transferência de calor, lidando com transformações físicas e químicas durante a produção (GOMIDE, 1983). A experiência de trabalhar com protótipos industriais facilita a transição dos estudantes para o mercado de trabalho, reduzindo desafios na aplicação de seus conhecimentos e ampliando suas habilidades práticas. Isso os prepara para desempenhar um papel significativo no ambiente industrial. (SILVA *et al.*, 2000)

No intuito de assegurar a acessibilidade e a relevância do projeto, adota-se a estratégia de utilizar materiais de baixo custo na construção do transportador helicoidal. Este equipamento é responsável pela transferência de materiais, enquadrando-se como operação unitária de transporte. (GOMIDE, 1983) Essa escolha vai além de uma mera decisão prática; ela enfatiza a viabilidade econômica e a capacidade de adaptação da ideia proposta (RABELLO, *et al.*, 2017). É importante ressaltar, também, que essa abordagem se alinha com o ambiente acadêmico da Fatec.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Operações unitárias

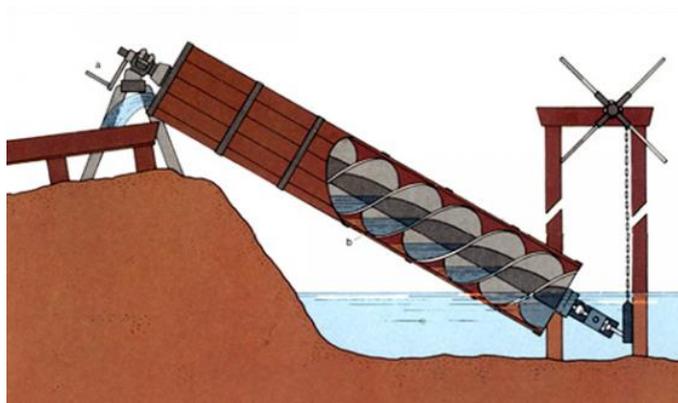
As operações unitárias desempenham um papel importante na indústria de transformação convertendo matérias-primas em produtos. Elas abrangem uma ampla gama de procedimentos, sendo a fragmentação e o transporte de sólidos granulares exemplos significativos em setores como os de alimentos, farmacêuticos e mineradores, onde a precisão do tamanho das partículas é vital. O transporte de sólidos granulares é essencial em indústrias como papel e celulose, afetando tanto o fluxo de produção quanto a eficiência no uso de recursos. 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).

O conhecimento aprofundado sobre as operações unitárias garante o bom funcionamento da planta industrial. O transportador helicoidal desempenha um papel significativo nesse grupo. Esse equipamento é projetado para mover materiais granulares de forma contínua, utilizando um helicóide revestido pelas paredes de um cilindro, com intuito de evitar perda de carga e mover materiais ao longo de uma superfície plana ou inclinada.

2.2 Transportador Helicoidal

O "parafuso de Arquimedes" é uma invenção do filósofo e matemático grego Arquimedes, que viveu de 287 a 212 A.C. Essa tecnologia, criada há mais de dois mil anos, foi pioneira no transporte e elevação de água e outros materiais em terrenos com depressões, contribuindo significativamente para atividades agrícolas, especialmente na irrigação de terras. Esse engenho consiste em um parafuso inserido no interior de um tubo cilíndrico vazado, que, quando girado manualmente com uma manivela, efetua a transferência de materiais, como água. Ocorre de áreas mais baixas para áreas mais elevadas, superando a ação da gravidade. A simplicidade desse dispositivo o torna valioso não apenas na agricultura, mas também em diversas outras aplicações ao longo da história (PEREIRA, 2011).

Figura 1 - Parafuso de Arquimedes



Fonte: Antonio Randazzo, 2023

A evolução do "parafuso de Arquimedes" ao longo dos séculos não se limitou apenas às adaptações históricas, mas também envolveu a incorporação de avanços tecnológicos modernos. Engenheiros e fabricantes refinaram seu design e seu nome para transportador helicoidal, incorporando materiais avançados, como aço inoxidável e polímeros de alta resistência, para garantir sua durabilidade. Além disso, os sistemas de acionamento foram aprimorados com a integração de motores elétricos, sistemas de controle avançados e sensores para monitorar o desempenho em tempo real. O novo design tornou-o uma opção viável para a geração de energia renovável, especialmente em usinas de energia de biomassa, onde é utilizado para alimentar materiais orgânicos para a produção de biogás. (RORRES, 2017)

Sua popularidade é atribuída à simplicidade de instalação e manutenção, à baixa perda de carga, ao baixo consumo energético e à capacidade de transportar grandes quantidades de produtos (BARRIOS, 2021).

No que tange os transportadores helicoidais, diferentes tipos são ajustados para atender a requisitos específicos de processos industriais. Ressalta-se o transportador helicoidal flexível, que se destaca pela adaptabilidade a trajetórias complexas e irregulares. Este transportador é frequentemente empregado quando restrições de espaço ou necessidade de contornar obstáculos no ambiente industrial estão presentes, conferindo-lhe versatilidade operacional. Ele encontra aplicação em indústrias automotivas, de embalagens e logística, onde a necessidade de movimentar materiais em espaços limitados e trajetórias não convencionais é comum (FILHO, 2016).

O transportador helicoidal tubular se configura como o mais difundido e amplamente empregado. Sua concepção envolve uma hélice fixada a um rotor e inserida dentro de um tubo, sendo direcionado para o transporte de materiais a granel, como grãos, pós e pellets (RORRES, 2017). A rotação da hélice impulsiona esses materiais ao longo do tubo, viabilizando sua movimentação em trajetórias horizontais, inclinadas ou verticais, de acordo com as especificidades do processo industrial em questão. Esse tipo de transportador encontra aplicação em setores como o agrícola, alimentício e de mineração (SANTOS, *et al*, 2002).

Outra adaptação aplicável a um transportador helicoidal é a integração de diversas operações unitárias, como aquecimento ou resfriamento do material

transportado, através da adição de uma jaqueta térmica ao redor do transportador ou alteração da temperatura da helicoide, mistura, através do uso de parafusos com formato específico, e lavagem, ao permitir a passagem de fluídos pela parte de baixo da calha sem deixar que o material transportado também caia. (SPIVAKOVSKY et al., 1965)

Indústrias de construção utiliza-os para o transporte de materiais granulares como areia, cimento e agregados. No segmento de reaproveitamento são empregados na movimentação de resíduos e materiais recicláveis. Já na indústria química, são aplicados na transferência de substâncias químicas e materiais a granel, muitas vezes em inclinações íngremes (BARRIOS, 2021).

Por outro lado, o transportador helicoidal com calha em U apresenta uma hélice dentro de um canal aberto com formato distinto dos demais. Esse design é frequentemente utilizado em situações em que a visualização contínua dos materiais é essencial, como em processos em que é necessário monitorar o fluxo ou a qualidade dos materiais transportados ou misturados enquanto se realiza intervenções como inspeções ou manutenções (FILHO, 2016).

Figura 2 - Transportador Helicoidal com Calha em “U”



Fonte: Carmomaq, 2023

A diversidade de transportadores helicoidais não se limita apenas à sua forma externa, mas também aos seus componentes internos, que desempenham papéis específicos em cada processo produtivo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais Utilizados

1. Tubos de PVC: Um tubo de 1,5 metros de comprimento e 6 polegadas de diâmetro foi usado como a calha. Além disso, um tubo menor, com 1,40 metros

- de comprimento e 2,04 polegadas, foi utilizado para dar suporte à helicoide no sistema;
2. Caixa de madeira: Sua construção foi baseada na utilização de madeira compensada com 10 milímetros de espessura e dimensões medindo 24 centímetros;
 3. Madeira semicircular: A madeira apresenta 8 centímetros e atua como suporte para fixar a extremidade da helicoide no final da calha;
 4. Chapas de acrílico: As duas possuem 56 centímetros de comprimento e 15,5 centímetros de largura;
 5. Cantoneiras de alumínio: Possui 1,27 centímetros de comprimento e 2 centímetros de largura;
 6. Motor: O motor escolhido é da marca WEG, sendo monofásico e possuindo 1625 rpm e 220V;
 7. Fios elétricos: Dois fios de ligação com espessura de 2,5 milímetros.
 8. Capacitor: Possui 25 μ F e 380V;
 9. Interruptor: Apresenta dimensões de 2 centímetros de comprimento e 1,5 centímetro de largura;
 10. Plug de tomada: Dimensão padronizada e para plug macho com dois pinos;
 11. Filamento da impressora 3D: Foi utilizado 200 gramas de filamento PLA;
 12. Correias de borracha: Constituída de borracha, as 4 correias possuem um diâmetro de 15 cm;
 13. Tábua de madeira e chapa de policarbonato: Ambas possuem 24 centímetros de altura e 25 centímetros de largura;
 14. Parafusos: 24 unidades do tipo “chipboard” com 3,5 centímetros de comprimento;
 15. Barra roscada: Inclui barras de 20 centímetros, 11,5 centímetros e 3,5 centímetros;
 16. Porcas: Utilizou-se 31 porcas com dimensões de 10 milímetros e 24 porcas menores com dimensões de 7 milímetros;
 17. Arruelas: Foram fixadas 41 arruelas de 20 milímetros e 28 arruelas de 14 milímetros;
 18. Base de madeira: Possui 1 metro e 20 centímetros de comprimento e 52 centímetros de largura.

3.2 Materiais impressos

1. Polias: Duas polias projetadas com diâmetro de 100 milímetros e uma polia menor com diâmetro de 35 milímetros;
2. Mancais: Impressos com 4 centímetros de largura e 4 centímetros comprimento;
3. Bucha: Apresenta 3 centímetros de altura e 5 centímetros de largura.

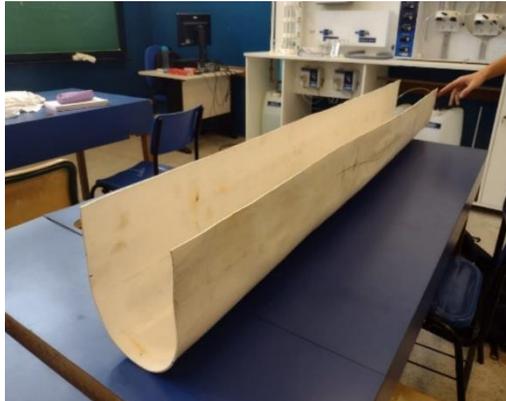
3.3 Equipamentos e Ferramentas

1. Serra tico-tico: Execução do corte horizontal no tubo da calha utilizando a ferramenta elétrica da marca "Wesco";
2. Soprador térmico: Utilização do aparelho da marca "Black & Decker" para aquecimento da calha;
3. Arco de serra: Realizou os cortes feitos nos tubos de PVC;
4. Lixa: Sua numeração é de 40 e auxiliou a criar uma superfície porosa na calha, ideal para receber a pintura;
5. Tintas: Aplicação de duas camadas de tinta fosca preta à base d'água da marca "Suvinil", seguida por uma demão de tinta em spray da marca "Lukscolor" na calha. E para a helicoide duas camadas de tinta branca à base de óleo da marca "Tintas SV";
6. Serra copo: Os nove orifícios na caixa de madeira, feitos com esse equipamento;
7. Chave de fenda cruzada: A chave de fenda cruzada foi empregada para fixar os parafusos em diversas partes do projeto, incluindo a caixa, as cantoneiras, a madeira no tubo, entre outras;
8. Fio e solda de estanho: os fios foram conectados através da soldagem com estanho;
9. Impressora 3D: A impressora "GTMax Core A2V2" disponível na instituição possibilitou o ajuste de cada componente de acordo com as especificações do projeto, como as polias, mancais e a bucha. Esta tecnologia adotou uma abordagem de fabricação aditiva, onde desenhos digitais são convertidos em objetos físicos por meio da deposição de material em camadas sucessivas;
10. Software de modelagem 3D: A escolha do software "Fusion 360" foi fundamental para a criação e design de peças complexas. Além disso, foi selecionado por ser compatível com a impressora disponível na instituição, permitindo uma transição fluida do design para a produção das peças no ambiente acadêmico;
11. Fatiador: O software de fatiamento "Cura" foi utilizado para gerenciar o processo de impressão. Convertendo os modelos em instruções específicas para a impressora através de filamentos em PLA a cem graus celsius;
12. Paquímetro: Utilizado para fazer a medição da parte externa do eixo que gira o motor, mediu a altura e largura;
13. Furadeira: Fundamental para perfurar o acrílico, a tábua de madeira como também, a base de madeira;
14. Tesoura de chapa: Auxiliou no corte do PVC para modelagem da helicoide.

3.4 Procedimentos e metodologia

Um tubo de PVC foi escolhido como a estrutura principal do transportador helicoidal devido ao seu baixo custo e à maleabilidade que permite a conformação ao formato de calha. Utilizou-se uma serra tico-tico para criar cortes transversais. Em seguida, a aplicação de um soprador de calor possibilitou a modelagem do material. Os resultados obtidos nesse processo estão documentados nas figuras 3.

Figura 3 - Tubo Após a moldagem



Fonte: Acervo Pessoal, 2023.

Para permitir a saída do material a ser transportado ao longo do comprimento, uma abertura foi estrategicamente cortada com o auxílio do arco de serra na parte inferior da calha, como demonstra a figura 4.

Figura 4 - Recorte de Escoamento



Fonte: Acervo Pessoal

O tubo da calha foi submetido a um minucioso processo de preparação. Isso envolveu um lixamento interno e externo para criar uma superfície porosa adequada à pintura. Foram aplicadas três camadas de tinta preta líquida, utilizando um pincel para garantir uma cobertura adequada. A finalização ocorreu com uma última demão

de tinta fosca preta em spray, que além de fortalecer a resistência e durabilidade do tubo, conferiu-lhe um acabamento esteticamente atraente como a figura abaixo:

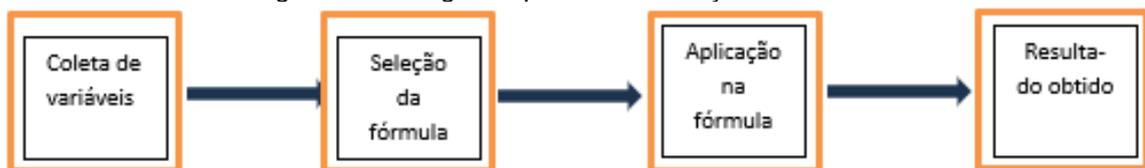
Figura 5 - Calha pintada



Fonte: Acervo Pessoal

A próxima etapa do projeto envolveu a seleção e dimensionamento do motor, que é fundamental para o funcionamento do sistema. Gomide (1983), descreve cinco abordagens para dimensionar o motor em um transportador helicoidal, sendo três voltadas para o dimensionamento das rotações por minuto e duas para a potência do motor. Esses cálculos dependem de informações prévias, como o comprimento do transportador (que, no nosso caso, é de 1,5 metros), o diâmetro da helicoides (aproximadamente 0,1437 metros) e a densidade do material. Diante disso, é possível considerar o seguinte fluxograma:

Figura 6 - Fluxograma para Determinação de Variáveis



Fonte: Acervo Pessoal

Dos três métodos para dimensionar a velocidade do motor, duas delas são baseadas em fórmulas, sendo representadas pelas seguintes equações:

$$N = \frac{18,75}{D} \quad (1.1)$$

$$N = \frac{92,2}{D^{0,4}} \quad (1.2)$$

Onde:

N = velocidade do motor [RPM]

N = velocidade do motor [RPM]

D = diâmetro da calha [m]

Aplicando os valores previamente medidos às fórmulas propostas, dois

resultados diferentes foram observados: 130 RPM e 200 RPM. Por possuir resultados tão discrepantes, optou-se por uma terceira via, sugerido também pelo Gomide (1983): baseado em um gráfico. Para isso, é necessário definir o material baseado na classificação pré-estabelecida pelo livro e definir sua capacidade volumétrica, seguindo a lógica da Figura 6, dada por:

$$Q = (D * 15,2)^2 \quad (2)$$

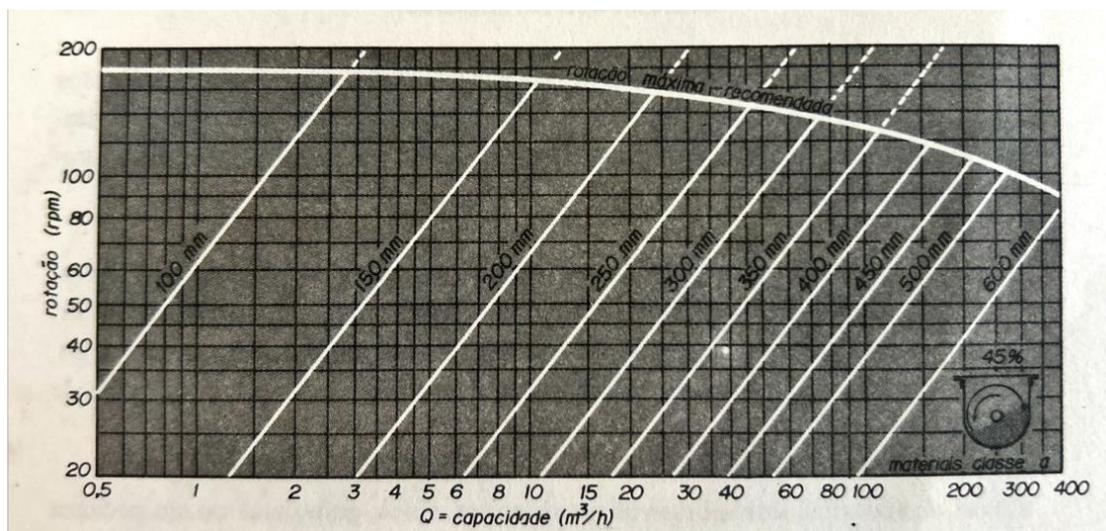
Onde:

Q = capacidade do transportador [m³/h]

D = diâmetro da calha [m]

O resultado foi 4,77 m³/h, logo, baseado na Tabela 1, o valor é de 200 RPM.

Quadro 1 - Velocidade da Rosca em Função do seu Diâmetro para Materiais de Baixa Densidade e Não Abrasivos



Fonte: Operações Unitárias 1º Volume: Operações com Sistemas Sólidos Granulares (1983)

O livro *Conveyors and Related Equipment* (1965), não apresenta uma ferramenta para a medição de velocidade do motor, apenas uma tabela com uma velocidade mínima e máxima sugerida baseada no diâmetro do motor, vide tabela 2.

Quadro 2 - Velocidade Mínima e Máxima Recomendada Baseado no Diâmetro da Rosca (Adaptado)

Diâmetro da Rosca [mm]		150	200	250	300	400	500	600
Velocidade [RPM]	Mínima	23.6	23.6	23.6	19	19	19	15
	Máxima	150	150	118	118	95	95	75

Fonte: *Conveyors and Related Equipment*, 1965

Como os cálculos apontam para uma velocidade de 200 RPM, esta tabela não será levada em consideração.

Para medir a potência do motor, os dois livros apresentam fórmulas diferentes para tal. No livro de Gomide (1983) uma confusão que pode ser gerada é que, por mais que as medidas utilizem o sistema internacional (SI), o resultado também será em cavalos. Já Spivakovsky, Dyachkov (1965), tem-se medidas do padrão internacional e seu resultado respeita o mesmo. As fórmulas de todos necessitam da vazão, seja mássica ou volumétrica, para tal, novamente, apenas o primeiro propõe um cálculo para tal, sendo:

$$C = 12,3 * D^3 * \rho * N \quad (3)$$

Onde:

Q = capacidade do transportador [m³/h]

C = capacidade [t/h]

D = diâmetro da calha [m]

ρ = densidade [t/m³]

N = velocidade do motor [RPM]

Segundo Gomide (1983), a determinação da pode ser dada por:

$$P = C * \left(\frac{L.F}{273} + \frac{h}{152} \right) \quad (4.1)$$

Onde:

P = potência [HP]

C = capacidade [t/h]

L = comprimento da calha [m]

F = fator do material (definido no livro, variando a depender do tipo de material)

h = altura [m]

Enquanto Spivakovsky, e Dyachkov (1965) definem a potência através da seguinte equação:

$$P = \frac{C * L * w_0}{367} \quad (4.2)$$

Onde:

P = potência [kW]

C = capacidade [t/h]

L = comprimento da calha [m]

w₀ = fator de movimento (definido no livro, variando a depender do tipo de material)

Ambos os cálculos deram resultados consideravelmente diferentes, respetivamente 10,44W e 2,94W. Neste caso, optou-se pelo maior resultado para que

ter certeza de que o motor terá a potência necessária.

Foi selecionado o motor monofásico da marca "WEG" de 220V e 1625 RPM, aproveitando sua potência significativa. Esta escolha foi reforçada pela disponibilidade do motor na faculdade. Foi posicionado no interior de uma caixa de madeira que tem como objetivo proporcionar alocação segura e ocultar os fios da repartição elétrica.

Para garantir a ventilação adequada e evitar superaquecimento, foram realizadas seis perfurações com o auxílio da serra copo na parte oposta à face do motor. Adicionalmente, foi criado um buraco no lado direito da caixa para a passagem segura do cabo que liga o sistema.

O motor foi posicionado com a parte rotativa voltada para fora, possibilitando o acionamento do sistema de polias que movimenta a helicóide através de um mecanismo de desmultiplicação de velocidade. Na face aberta da caixa fixou-se duas chapas de metal com furos centralizados para suportar a suspensão do motor, conforme documentado na figura 7.

Figura 7 - Caixa do Motor



Fonte: Acervo pessoal

O sistema elétrico que está por baixo do interruptor é composto por uma entrada de corrente alternada (AC), um capacitor, uma chave liga-desliga e fios de ligação. O capacitor é posicionado no circuito para otimizar o desempenho do motor, enquanto a chave liga-desliga proporciona controle prático sobre o sistema. Os fios de ligação conectam o motor, o capacitor e a chave do interruptor, formando uma rede elétrica coesa. O sistema é conectado a uma tomada para alimentação elétrica. Pode-se observar na figura a seguir:

Figura 8 - Capacitor Conectado ao Circuito



Fonte: Acervo Pessoal

Para adequar a alta velocidade do motor, que operava a 1625 rotações por minuto, à velocidade calculada, adotou-se um sistema de transmissão por polias. Esse enfoque se mostrou imperativo, pois a conexão direta do motor pela face aberta da caixa à helicoide não era viável dadas as diferenças de velocidade. O dimensionamento do sistema de polias teve início com a medição da roldana existente no motor, servindo como ponto de partida. Em seguida, o sistema foi configurado com base na fórmula:

$$\frac{RPM\ 1}{RPM\ 2} = \frac{D2}{D1} \quad (5)$$

Onde:

RPM 1 = velocidade da polia 1 [RPM]

RPM 2 = velocidade da polia 2 [RPM]

D1 = diâmetro de polia 1 [cm]

D2 = diâmetro de polia 2 [cm]

A partir do cálculo, duas polias idênticas foram projetadas utilizando o software "Fusion 360". Posteriormente, a impressão foi realizada na impressora "GTMax Core A2V2", utilizando o software de fatiamento "Cura" para preparar o molde. As polias foram projetadas com aberturas laterais para acomodar as correias, estabelecendo a conexão mecânica entre o torque gerado pelo motor e o movimento rotativo da helicoide. Esses detalhes podem ser observados nas figuras 9 e 10:

Figura 9 - Polia (Vista Lateral)



Fonte: Acervo Pessoal

Figura 10 - Polia (Vista Frontal)



Fonte: Acervo Pessoal

A última polia projetada conecta as polias maiores ao motor. Sua criação foi motivada pela inadequação da polia original do motor para o projeto, devido ao seu tamanho excessivo e incompatibilidade com as especificações do transportador helicoidal. O modelo preciso da nova polia está representado na figura 11:

Figura 11 - Polia do Motor



Fonte: Acervo pessoal

Foi imperativo o desenvolvimento de mancais por meio também da impressora 3D para garantir a estabilidade e a funcionalidade das polias no sistema. No total, seis mancais foram projetados: quatro destinados a sustentar as polias maiores e dois destinados a manter o parafuso que gira a helicóide firmemente posicionado nas extremidades internas do tubo. Esses mancais reduzem as vibrações e garantem que os parafusos que sustentam as polias possam girar suavemente, mantendo a integridade do sistema.

Figura 12 - Mancais



Fonte: Acervo Pessoal

Após a impressão desses componentes, surgiu a necessidade de estabelecer um suporte adequado para as polias. Optou-se por utilizar uma tábua de madeira que foi fixada no tubo e na caixa do motor, servindo como elo entre esses elementos. Na extremidade oposta, foi fixado a chapa de policarbonato e essa combinação de materiais forneceu um suporte sólido para a montagem do sistema de polias. O resultado pode ser observado na imagem a seguir, onde o sistema de polias encontra-se fixado às estruturas de suporte.

Figura 13 - Sistema de Polias

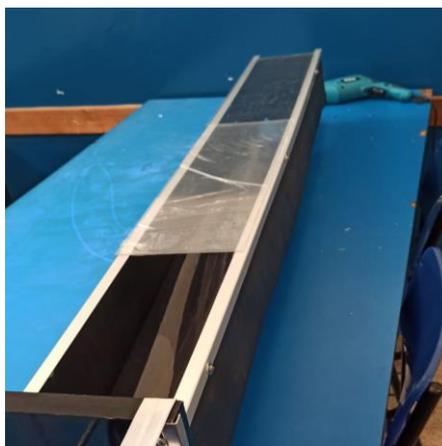


Fonte: Acervo Pessoal

Diante do desafio de posicionar a helicoide dentro do tubo não foi possível obter uma conformação perfeita em formato de U. Pequenas deformidades persistiram, o que poderia resultar em atritos indesejados entre o material transportado e as paredes do tubo.

Para solucionar essa questão, optou-se por instalar peças de acrílico e barras roscadas na parte superior do tubo. Essas peças exerceram pressão sobre as paredes do tubo, forçando-as a aumentar a distância entre si, o que, por sua vez, minimizou a influência das deformações remanescentes. A fixação foi realizada utilizando cantoneiras. A adição desse elemento contribuiu para a estabilidade e aspecto estético ao conjunto.

Figura 14 - Acrílico Fixado

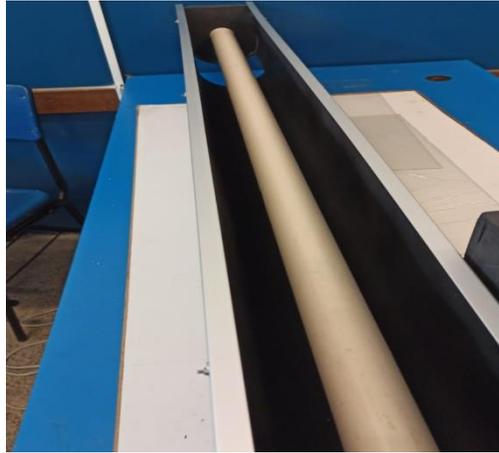


Fonte: Acervo Pessoal

A integração da helicoide no sistema exigiu a construção de uma base adequada que acomodasse essa peça. Para garantir a estabilidade e a funcionalidade foram instaladas duas barras roscadas, localizadas nas extremidades da calha. Os parafusos atuaram como suporte para a helicoide, um deles estava conectado à polia, enquanto o outro era fixado no mancal da extremidade oposta.

No entanto, para garantir que o tubo de 2,04 polegadas se mantivesse firmemente conectado às barras e evitasse qualquer tremor ou deslocamento indesejado, optou-se por imprimir uma bucha 3D. Essa bucha possuía o diâmetro correspondente ao do tubo, e apresentava abertura no meio de sua extensão, permitindo que o parafuso se encaixasse com precisão. Essa solução assegurou que o parafuso girasse o suporte onde a helicoide seria montada, e as configurações podem ser observadas a seguir:

Figura 15 - Tubos de PVC Fixados



Fonte: Acervo Pessoal

Figura 16 - Bucha Impressa



Fonte: Acervo pessoal

É importante mencionar que para a fabricação da helicoide houve outra tentativa, que seria utilizando impressora 3D. Optou-se por trocar após o resultado da impressão de uma peça não apresentar a resistência mecânica necessária para o sistema. Ainda assim, pôde se aproveitar dos cálculos feitos em relação as barras roscadas e ao diâmetro da calha na confecção da segunda helicoide.

A fabricação da helicoide na segunda tentativa envolveu o corte de tubos de PVC de diâmetros variados com um arco de serra. No laboratório, utilizando um bico

de Bunsen, o tubo foi aquecido até perder a resistência, transformando-se em uma placa de PVC maleável. Um gabarito foi empregado para marcar as dimensões da helicoide, e o corte preciso dos círculos foi realizado com uma tesoura de chapa. Após aquecimento adicional para garantir flexibilidade, a helicoide foi montada utilizando supercola e cola de PVC, incluindo a abertura central para encaixe no tubo de suporte. A conclusão do processo de montagem da helicoide foi alcançada com a aplicação de duas camadas de tinta líquida de cor branca. Esta etapa não só proporcionou um revestimento protetor à estrutura, mas também aprimorou sua estética, conferindo-lhe um acabamento mais refinado.

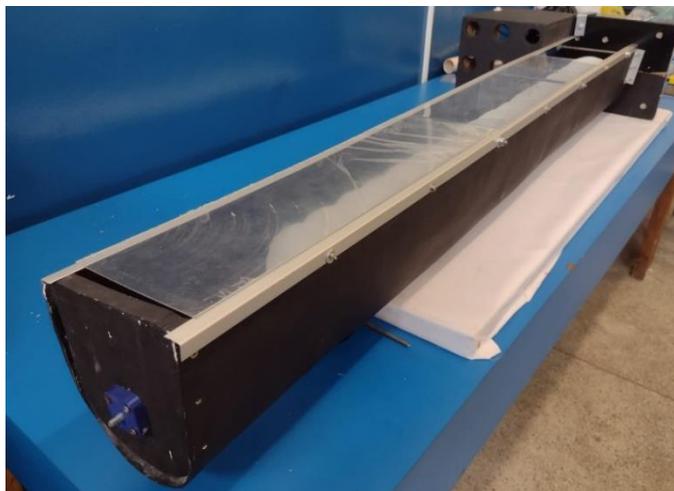
Figura 17 - Helicoide



Fonte: Acervo Pessoal

Após a conclusão da helicoide, foi necessário integrar todas as peças confeccionadas ao longo do projeto, a fim de obter o equipamento finalizado, conforme ilustrado na figura 18. Posteriormente, foram conduzidos testes para verificar se o recém-criado equipamento atenderia às expectativas e estaria em conformidade com os dimensionamentos previamente estabelecidos.

Figura 18 - Transportador Helicoidal Finalizado



Fonte: Acervo Pessoal

Após a conclusão do projeto, optou-se por realizar a inclinação do equipamento para demonstrar o seu funcionamento quando necessário a troca de altura entre dois pontos. Para isso, primeiro foi essencial definir a angulação desejada, a qual foi escolhida 12° para o comprimento de 123 centímetros. Então, realizou-se uma relação trigonométrica para definir a diferença de altura entre o ponto inicial e final, podendo ser representada pela seguinte equação:

$$h = \text{tg}\theta * L \quad (6)$$

Onde:

h = altura final [m]

θ = ângulo de inclinação [°]

L = comprimento da calha [m]

Ao realizar o dimensionamento, chegou-se à conclusão de que a diferença entre ambos os pontos citados anteriormente seria de aproximadamente 32 centímetros. Então, um tubo de PVC foi cortado em duas partes diferentes com a altura desejada e uma cavidade igual ao diâmetro externo deste tubo foi feita na base que sustentava o equipamento, para assim poder encaixá-lo. Pode-se observar a seguir:

Figura 19 – Protótipo inclinado



Fonte: Acervo Pessoal

3.5 Análise de custos

Durante o desenvolvimento do protótipo do transportador helicoidal, adotou-se uma abordagem financeira estratégica, priorizando a utilização de materiais de baixo custo. Essa estratégia se baseou na disponibilidade de materiais já existentes na faculdade, também na aquisição de materiais acessíveis do ponto de vista econômico.

Em algumas etapas do projeto, foi necessário adquirir materiais específicos para atender a requisitos técnicos e garantir padrões de qualidade. A tabela abaixo detalha os materiais comprados e seus custos unitários, fornecendo uma visão transparente dos investimentos financeiros neste projeto.

Quadro 2 – Custo

Materiais	Preço
Tubo de PVC com diâmetro de 6 “	R\$ 100,00
Tubo de PVC com diâmetro de 2,04 “	R\$ 40,00
Correias de borracha	R\$ 10,00
Parafusos	R\$ 50,00
Filamento PLA	R\$ 97,00
Rolamentos	R\$ 15,00
Colas	R\$ 45,00
Total	R\$ 367,00

Fonte: Acervo Pessoal

Enquanto a tabela acima oferece uma visão detalhada dos custos dos materiais adquiridos, é fundamental destacar que a economia de recursos financeiros também foi impulsionada pela disponibilidade de materiais previamente armazenados em nossa instituição de ensino que estão citados em todo o relatório.

Em nossa pesquisa de mercado, identificamos transportadores helicoidais comerciais sendo oferecidos por cerca de 3 mil reais com o mesmo tamanho do protótipo. Em comparação, o presente projeto atendeu às mesmas funcionalidades a um custo significativamente mais baixo.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo do desenvolvimento deste projeto, priorizou-se a reintegração de materiais subutilizados, conferindo-lhes uma nova função e evitando o descarte desnecessário. Essa abordagem, voltada para a maximização de recursos disponíveis, não apenas evidenciou a viabilidade econômica, mas também destacou estratégias inovadoras.

Os testes realizados confirmaram que o equipamento atendeu integralmente às especificações e cálculos estabelecidos. Cada componente, desde a helicoide até os mancais e polias, demonstrou desempenho consistente.

O resultado obtido reforça a viabilidade prática e funcional do transportador helicoidal, destacando seu potencial como ferramenta didática. Sua capacidade de reproduzir os princípios fundamentais desse tipo de equipamento, aliada ao baixo custo de produção, torna-o não apenas um objeto de estudo valioso, mas também uma proposta promissora para futuros trabalhos e aprimoramentos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SPIVAKOVSKY, A.; DYACHKOV. *Conveyors and Related Equipment.*, 1965.

GOMIDE, Reynaldo. *Operações Unitárias: operações com sistemas sólidos granulares.* v. 1. São Paulo: Edição do autor, 1983.

MCGUIRE, Patrick M. *Conveyors application, selection and integration.* Boca Raton: CRC Press, 2010.

CEMC. *Componentes do Transportador de Rosca & Design.* Transportador Eng. & Mfg. Co., 2012.

SANTOS, R.L.C.; SOBRAL, L.G.S.; ARAÚJO, R.V.V. *PRODUÇÃO DE FOSFATO NO BRASIL: COMPLEXO DE MINERAÇÃO DE CATALÃO I ULTRAFERTIL.*, 2002.

BARRIOS, Jonathan. *CONCEPÇÃO E CONSTRUÇÃO DE UMA BANCADA DE ENSAIOS DE DESGASTE EM HÉLICOIDE DE TRANSPORTADORES HELICOIDAIS UTILIZADOS NA MOVIMENTAÇÃO DE GRÃOS*, 2021

FILHO, José. *Projeto de um Transportador Helicoidal aplicado a uma indústria de Biodiesel*, 2016

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

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

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

DE SÁ, Ilydio Pereira. Arquimedes de Siracusa e o seu Método da Exaustão: uma Atividade Didática para o Cálculo de π . *Revista Eletrônica TECCEN*, v. 4, n. 2, p. 15-23, 2011.

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.

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

BENDER, Willian N. *Aprendizagem baseada em projetos: educação diferenciada para o século XXI.* Penso Editora, 2015.

Freitas, L. F. (2016). *Gestão da Manutenção. Planejamento e Controle da Manutenção.* Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Juiz de Fora.

Rabello, Vinícius Malta, and Marcelo de Jesus Rodrigues da Nóbrega.
"DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPOS PARA ENSINO DE ENGENHARIA: UMA
ABORDAGEM CONSTRUTIVA DE BAIXO CUSTO." Projectus 1.2 (2017): 41-49.

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

CALDEROL. Transportador helicoidal. Disponível em:
<<https://www.calderol.com.br/transportador-helicoidal>>. Acesso em: 5 set. 2023.

RORRES, Chris. Archimedes in the 21st Century: Proceedings of a World Conference
at the Courant Institute of Mathematical Sciences, 2017.