



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO
IFPE – CAMPUS CARUARU

LUCAS ANTUNES DE MENEZES

**PROJETO DE UM TRANSPORTADOR HELICOIDAL APLICADO A
UMA INDÚSTRIA DE BATERIAS**

Caruaru - PE

2023

LUCAS ANTUNES DE MENEZES

**PROJETO DE UM TRANSPORTADOR HELICOIDAL APLICADO A
UMA INDÚSTRIA DE BATERIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco como parte dos requisitos à obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Felipe Augusto Cruz

Caruaru – PE

2023

M543p

Menezes, Lucas Antunes de

Projeto de um transportador helicoidal aplicado a uma indústria de baterias / Lucas Antunes de Menezes; orientação de Felipe Augusto Cruz – Caruaru, 2023.

69 f.

Trabalho de Conclusão de Curso – (Graduação em Engenharia Mecânica) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Departamento de Engenharia Mecânica, Curso de Engenharia Mecânica, 2023.

1. Baterias elétricas. 2. Acumuladores elétricos. 3. Óxido de chumbo. 4. Transportador helicoidal. 5. Morredutores. 6. Engenharia Mecânica - IFPE. I. Cruz, Felipe Augusto. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco. III. Trabalho de Conclusão de Curso. IV. Título.

CDD: 621.3

CDU: 621.3

LUCAS ANTUNES DE MENEZES

PROJETO DE UM TRANSPORTADOR HELICOIDAL APLICADO A UMA INDÚSTRIA DE BATERIAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco como parte dos requisitos à obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica.

Avaliado pela banca avaliadora em: **12 / dezembro / 2023**



Documento assinado digitalmente
FELIPE AUGUSTO CRUZ
Data: 27/12/2023 17:11:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

BANCA AVALIADORA

Prof. Dr. Felipe Augusto Cruz

Orientador / IFPE



Documento assinado digitalmente
ROMULO MEDEIROS DE ANDRADE
Data: 27/12/2023 20:49:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Eng. Rômulo Medeiros de Andrade

Avaliador Externo



Documento assinado digitalmente
THIAGO LUIS COSTA CAVALCANTI NOVAES
Data: 08/01/2024 21:47:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Thiago Luis Costa Cavalcanti Novaes

Avaliador Interno / IFPE

À minha família e amigos, em especial aos meus pais por todo o apoio de sempre.

AGRADECIMENTOS

A Deus por toda força, oportunidade e direcionamento durante a graduação e toda a vida.

Ao Prof. Dr. Felipe Augusto Cruz, pela excelente orientação e apoio no decorrer do processo.

A minha família e amigos, que me apoiaram durante todo o processo e me deram força e motivação para superar os desafios. Seu amor, compreensão e encorajamento foram essenciais para mim.

"O conhecimento é um tesouro, mas a prática é a chave para alcançá-lo." - Thomas Fuller

Resumo

Este trabalho aborda o projeto mecânico de um transportador helicoidal contínuo com uma capacidade de transporte de 12 toneladas por hora. O objetivo principal é direcionar o óxido de chumbo, um material crítico em uma indústria de bateria, do novo sistema instalado para o sistema antigo. A necessidade desse transporte se deve à ausência de equipamentos existentes para realizar essa tarefa de maneira adequada, inviabilizando a produção. O projeto se baseou em parâmetros como a capacidade de transporte e o tipo de material, seguindo as recomendações de um fabricante especializado. Embora não haja regulamentações específicas a serem atendidas, a integridade do sistema e a não contaminação do ambiente externo são considerações importantes. A principal contribuição deste trabalho é o projeto da rosca transportadora em e seus componentes como acoplamento, mancal e motorreductor, que desempenham um papel fundamental na viabilização do transporte de óxido de chumbo, garantindo a continuidade da produção na indústria de bateria. Além disso, este trabalho inclui os desenhos e dimensões necessários para a fabricação do transportador.

Palavras chaves: Transportador helicoidal. Óxido de chumbo. Projeto mecânico. Motorreductor.

ABSTRACT

This work deals with the mechanical design of a continuous screw conveyor with a conveying capacity of 12 tons per hour. The main objective is to direct lead oxide, a critical material in a battery industry, from the new system installed to the old system. The need for this transport is due to the lack of existing equipment to carry out this task properly, making production unfeasible. The project was based on parameters such as transport capacity and the type of material, following the recommendations of a specialized manufacturer. Although there are no specific regulations to be met, the integrity of the system and non-contamination of the external environment are important considerations. The main contribution of this work is the design of the screw conveyor and its components such as the coupling, bearing and geared motor, which play a key role in enabling the transportation of lead oxide, guaranteeing the continuity of production in the battery industry. In addition, this work includes the drawings and dimensions needed to manufacture the conveyor.

Keywords: Helical Conveyor. Lead Oxide. Lead Oxide. Gearmotor.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Esteira transportadora.....	16
Figura 2 - Usos do Chumbo	19
Figura 3 - Classificação das operações unitárias	20
Figura 4 - Parafuso de Arquimedes.....	22
Figura 5 - Recepção Automatizada de Big Bags, Desgrumagem, Pesagem e Transporte.....	23
Figura 6 - Ponte rolante movimentando carga	24
Figura 7 – Elevador de canecas.....	25
Figura 9 - Parafuso do transportador helicoidal e eixo motor.....	27
Figura 10 - Componentes do Transportador Helicoidal.....	28
Figura 11 - Hélice Padrão ou Simples.....	29
Figura 12 - Hélice Passo Curto.	29
Figura 13 - Hélice Passo Variável.	30
Figura 14 - Hélice Cortada.	30
Figura 15 - Hélice cortada e dobrada.	30
Figura 16 - Hélice com pás.....	31
Figura 17 - Transportador de pás.....	31
Figura 18 - Mancais e suportes.....	32
Figura 19 - Tampa de Fechamento.	32
Figura 20 – Carcaça.....	33
Figura 21 - Boca de entrada.....	33
Figura 22 - Flange de fixação.....	34
Figura 23 - Boca de descarga.	34
Figura 24 – Suportes.....	35
Figura 25 - Fluxograma de produção.	38
Figura 26 - Fluxograma de automação do sistema de roscas existentes.....	38
Figura 27 - Local de instalação dos transportadores helicoidais.....	41
Figura 28 – Posição de instalação dos transportadores helicoidais.....	42
Figura 29 – Distância até o sistema antigo.	43
Figura 30 – Altura de elevação e ângulo de inclinação.	44
Figura 31 - Esquema de montagem do sistema de transportadores.....	45

Figura 32 – Transição do silo para a rosca.	46
Figura 33 - Classificação do Material.	50
Figura 34 - Código do óxido de chumbo.	51
Figura 35 – Fator de Capacidade.....	52
Figura 36 - Velocidade do Transportador.....	53
Figura 37 – Fator D.	54
Figura 38 – Motorreductor FA47/GDRN90SP4.....	55
Figura 39 - Diâmetro do tubo.....	56
Figura 40 - Dimensões do transportador helicoidal.....	57
Figura 41 - Dimensões e espaçamentos recomendados para os componentes.	57
Figura 42 - Transportador helicoidal principal - RTS13.....	58
Figura 43 - Transportador helicoidal principal - RTS13a.....	58
Figura 44 - Arquitetura final no local de instalação.....	60
Figura 45 - Especificações da Válvula Guilhotina	64
Figura 46 - Especificações técnicas do motorreductor.....	65
Figura 47 - Especificações técnicas do Acoplamento	66
Figura 48 - Especificações técnicas do Rolamento.....	67
Figura 49 - Especificações técnicas do mancal.....	68
Figura 50 - Cronograma	69

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 - Características do Transportador	53
Tabela 2 - Dados principais do transportador projetado.....	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C1	Capacidade de 1 rpm
C _{eq}	Capacidade equivalente
C _{req}	Capacidade requerida do projeto
D _t	Diâmetro do tubo
H	Potência para superar o atrito e transportar o material
h	Altura de elevação
L ₁₃	Comprimento da rosca de número 13
L _{13a}	Comprimento da rosca de número 13-a
L ₁₄	Comprimento da rosca de número 14
L ₁₅	Comprimento da rosca de número 15
L ₁₆	Comprimento da rosca de número 16
L _A	Distância entre o centro do silo e o local de entrega do antigo sistema
L _b	Distância entre o centro do silo e o local de entrega na rosca de número 13
N	Rotação de operação
P	Fator de correção de potência
P _h	Passe do helicóide
P _{inc}	Potência extra para levantar o material inclinado
RTO	Rosca transportadora de Óxido
RTS	Rosca transportadora
RPM	Rotações por minuto
SL	Silo

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
©	Copyright
®	Marca registrada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivos	17
1.1.1 Objetivos gerais	17
1.1.2 Objetivos específicos	17
1.2 Estrutura do trabalho	17
2 Estado da arte / Revisão Bibliográfica	19
2.1 Indústria e mercado de óxido de chumbo	19
2.2 Operações unitárias e transporte de sólidos	20
2.3 Máquinas de transporte	23
2.4 Transportadores Helicoidais	25
2.4.1 Componentes	28
2.4.2 Tipos de Hélice	28
2.4.3 Mancais intermediários	31
2.4.4 Tampas de Fechamento	32
2.4.5 Carcaça e Boca de Entrada	33
2.4.6 Flange de fixação	33
2.4.7 Boca de descarga	34
2.4.8 Suporte	35
3 Metodologia	36
3.1 Processo de fabricação do óxido e concepção do novo sistema	36
3.1 Descritivo do processo de produção	37
3.1.1 Fluxograma geral de produção	38
3.2 Instalação do novo sistema	39
3.3 Concepção do sistema	39

3.3.1 Definição do escopo do projeto	39
3.3.2 Local da Instalação	40
4 Dimensionamento dos transportadores helicoidais e válvulas guilhotinas	42
4.1 Comprimento dos transportadores helicoidais	42
4.2 Dimensionamento da válvula guilhotina	46
4.3 Dimensionamento dos transportadores helicoidais	47
4.3.1 Projeto dos transportadores.....	47
4.3.2 Tipo do material a ser transportado	48
4.3.3 Fluxo obrigatório	49
4.3.4 Distância de transporte do material	49
4.3.5 Identificar o material e o código do material correspondente.....	49
4.3.6 Determinar a capacidade, o tamanho e a velocidade do transportador	51
4.4 Seleção do mancal, rolamento e acoplamento.....	56
5 Resultados e Discursões.....	57
6 Conclusão	61
REFERÊNCIAS.....	62
Anexo A – Especificações da Válvula Guilhotina	64
Anexo B – Catálogo Motorreductor SEW.....	65
Anexo C – Catálogo Acoplast Brasil.....	66
Anexo D – Catálogo BRM	67
Anexo E – Catálogo Rolmax	68
Anexo F – Cronograma	69

1 Introdução

O transporte de materiais é um processo fundamental para as indústrias, sendo um fator determinante na eficiência e produtividade de alguns processos fabris. Diversas empresas utilizam os mais diferentes tipos de meios para o transporte de materiais, desde sistemas mais simples, como pontes rolantes, até sistemas pneumáticos de grande capacidade.

Empresas como a Nestlé utilizam esteiras transportadoras (figura 1) em suas plantas industriais para realizar o transporte de materiais e pontes rolantes para movimentar itens de cargas elevadas.

Figura 1 - Esteira transportadora



Fonte: <http://www.redeangola.info>

Nas indústrias, os transportadores são utilizados para movimentar desde a matéria-prima até o produto acabado. As máquinas de transporte são peças fundamentais no conjunto produtivo de uma indústria. Um sistema de movimentação define o ritmo da produção e garante que ela seja executada sempre em menos tempo, caso fosse utilizada mão de obra humana ou animal (RUDENKO, 1976).

Com as metas de produtividade cada vez mais arrojadas e restrição de novos investimentos nas indústrias, os problemas e aplicações requerem cada vez mais equipamentos específicos e criatividade na solução. Neste contexto, o transportador helicoidal é uma solução amplamente utilizada devido à sua simplicidade construtiva, baixo custo e facilidade de manutenção.

Dentro deste conteúdo, o presente trabalho apresenta o projeto de um conjunto de transportadores helicoidais aplicado a uma indústria de baterias, com o objetivo de viabilizar a entrega do óxido de chumbo dos silos para o sistema existente que por

sua vez encaminha para o transportador pneumático. O transporte de materiais é um desafio para esta indústria em particular, uma vez que requer uma solução que atenda às especificações técnicas e de qualidade exigidas para a produção de baterias, assim como a exigência e necessidade de equipamentos adequados para que não haja vazamento do material transportado para o meio externo.

Ao longo deste trabalho, serão apresentados os conceitos fundamentais relacionados ao transporte de materiais na indústria, bem como as etapas e metodologias utilizadas para o projeto do transportador helicoidal. Serão abordados aspectos relevantes, como, o layout dos equipamentos a serem instalados, o dimensionamento e seleção de materiais.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos gerais

O presente trabalho tem como objetivo propor um projeto conceitual de um transportador helicoidal para ser utilizado em uma indústria de baterias.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Dimensionar o transportador;
- b) Selecionar motorreductor e mancal intermediário;
- c) Definir layout do sistema;
- d) Apresentar o detalhamento do sistema de transportadores;
- e) Especificar válvulas guilhotinas.

1.2 Estrutura do trabalho

A estrutura deste trabalho está organizada de forma a abordar sistematicamente os principais aspectos relacionados à concepção e dimensionamento de um sistema de transporte de óxido por meio de transportadores helicoidais.

Capítulo 2: no capítulo de Referencial teórico, será explorado alguns conceitos de transporte de sólidos.

Capítulo 3: apresenta a abordagem metodológica adotada para realizar o estudo;

Capítulo 4: dedicado à Concepção do Sistema, é apresentado o processo de fabricação de óxido, o layout, a análise de requisitos e as etapas envolvidas na criação do sistema;

Capítulo 5: será abordado o Dimensionamento da Válvula Guilhotina e o detalhamento do processo de dimensionamento dos Transportadores Helicoidais;

Capítulo 6: apresenta o encerramento do trabalho com os desenhos e Arquitetura Final, onde serão apresentados a configuração final do sistema e o detalhamento do Helicoide. Esta estrutura visa proporcionar uma visão abrangente e organizada do estudo realizado e dos resultados obtidos.

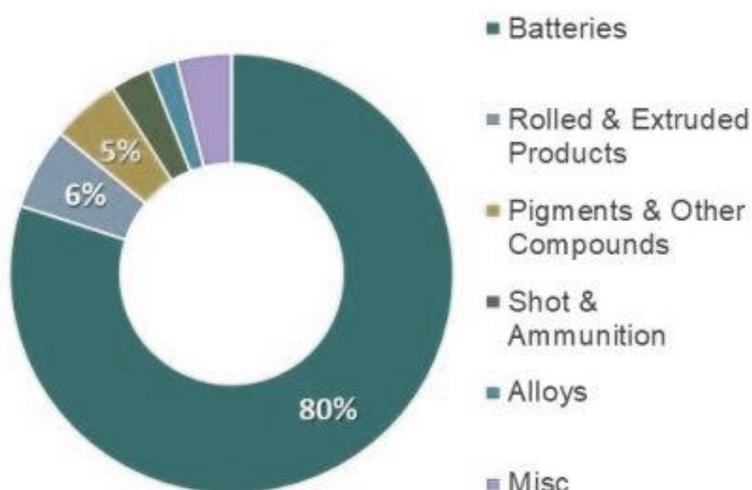
2 Estado da arte / Revisão Bibliográfica

2.1 Indústria e mercado de óxido de chumbo

O grande crescimento do mercado de baterias no século XX acompanhou o crescimento da indústria automobilística, onde as baterias encontraram aplicação para partida, iluminação e ignição (baterias SLI - starting, lighting and ignition). Estima-se que esse mercado tenha consumido cerca de 80% da produção mundial de chumbo.

A média do uso mundial do chumbo nos últimos cinco anos está na figura 2.

Figura 2 - Usos do Chumbo



Fonte: ILZSG (2023)

O óxido de chumbo desempenha um papel crucial na reação envolvida no processo de fabricação da placa empastada da bateria chumbo-ácido. Esses óxidos são empregados nas placas de baterias, conhecidas como acumuladores elétricos. Eles também desempenham funções importantes na fabricação de borracha, são utilizados como ingredientes em tintas e constituem componentes em vitrificados, esmaltes e vidros (PAOLIELLO, 2001).

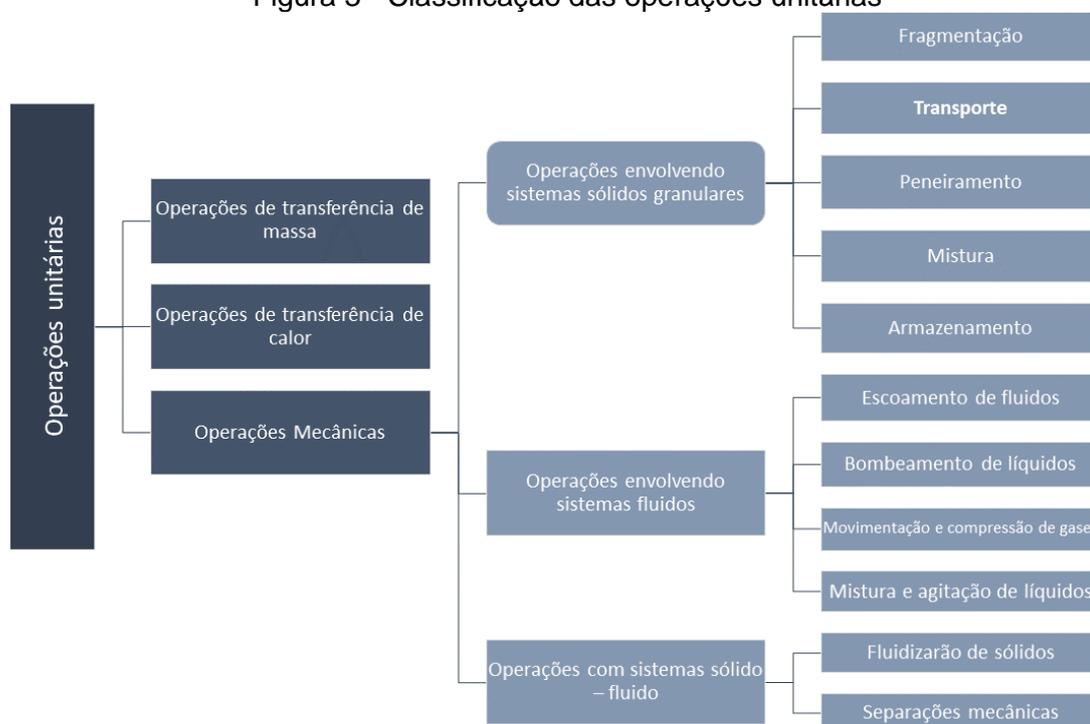
2.2 Operações unitárias e transporte de sólidos

As operações unitárias desempenham um papel crucial nas indústrias, sendo essenciais para a alteração física e/ou química de materiais, incluindo sólidos, líquidos e gases. Essas operações vão além da transformação propriamente dita, abrangendo também atividades relacionadas ao manuseio, armazenagem e distribuição de matérias-primas ou produtos para a comercialização. Esse escopo é abraçado por diversas indústrias, como as químicas, petroquímicas, alimentícias e farmacêuticas.

Em diferentes processos industriais, como no refino do petróleo, na obtenção de polímeros, na purificação de gases, na extração do alumínio e na fabricação de ácido sulfúrico, por exemplo, a aplicação de operações unitárias é indispensável. Cada uma dessas operações é projetada com uma finalidade específica, contribuindo para a consecução do produto desejado (TORREN, 2012).

Segundo GOMIDE (1983), as operações unitárias podem ser classificadas de acordo com a figura 3.

Figura 3 - Classificação das operações unitárias



Fonte: Adaptado pelo autor, com base em Gomide (1983)

A demanda por movimentação de cargas em ambientes diversos, como mineração, setores industriais, portuários e comerciais, cresce proporcionalmente ao desenvolvimento econômico, requisitando a utilização de equipamentos especializados que demandam uma aplicação significativa dos conhecimentos de engenharia (NASSAR, 2004).

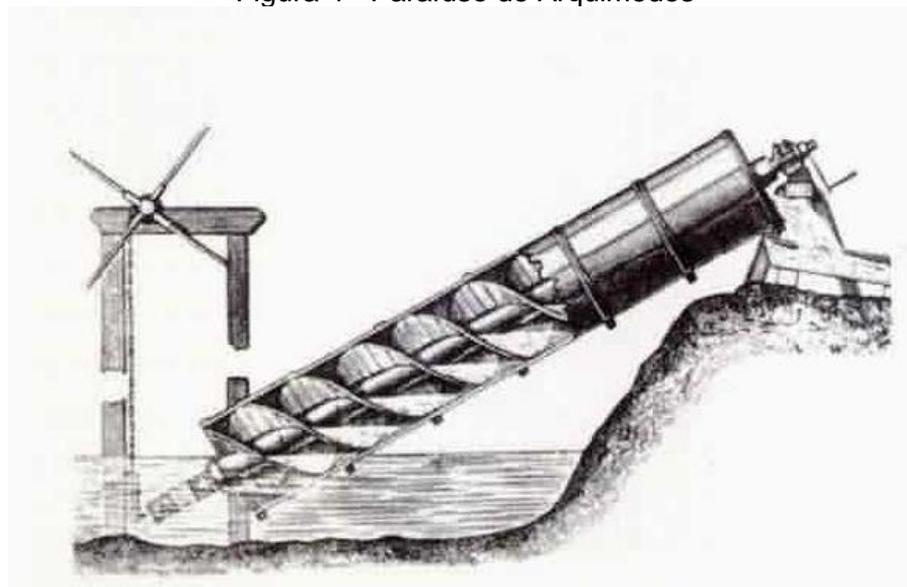
Esses equipamentos específicos, conhecidos como máquinas de elevação e transporte, constituem um conjunto de dispositivos de ação periódica, projetados tanto como mecanismos dedicados à elevação quanto para a elevação e movimentação de cargas (RUDENKO, 1976).

O transporte de sólidos é uma operação unitária que tem como objetivo movimentar sólidos granulares em regimes contínuos bem definidos no interior de áreas de produção. A importância do transporte de sólidos é evidenciada pelo significativo desenvolvimento dos conhecimentos práticos relacionados a essa operação unitária, impulsionado por vários fatores. Em primeiro lugar, destaca-se a influência crucial do transporte de sólidos na economia global de muitos processos, sendo que, em alguns casos, seu custo pode representar até 80% do custo total de operação. Além disso, o encarecimento contínuo da mão-de-obra tem impelido à substituição gradual do trabalho humano por máquinas, demandando equipamentos mais modernos que necessitam de menos atenção humana. A necessidade do transporte de sólidos, em maior ou menor escala, é uma constante em praticamente qualquer tipo de indústria, dada a grande variedade de sólidos a serem transportados e a variabilidade das condições relacionadas à capacidade, espaço disponível e economia do processo (Adaptado de GOMIDE, 1983).

Dentre os transportadores de sólidos, temos o transportador helicoidal, que foi desenvolvido com base no princípio do parafuso de Arquimedes. Esse mecanismo ancestral tem sido empregado desde civilizações antigas como um dispositivo para movimentar diversos tipos de materiais verticalmente ou horizontalmente.

O parafuso de Arquimedes (figura 4) consiste em uma rosca embutida em um tubo. Ao introduzir uma de suas extremidades no material a ser transportado e girar o conjunto, o material é conduzido pela rosca, ascendendo ao longo do eixo até transbordar na parte superior.

Figura 4 - Parafuso de Arquimedes



Fonte: <https://fisica.netspa.com.br/2017/02/13/002-aplicacoes-da-fisica/> acesso em 11/11/2023

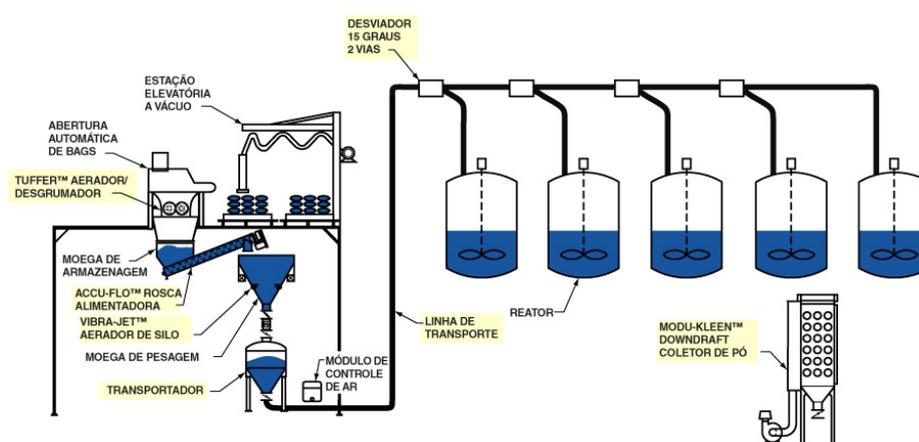
Atualmente, o princípio do parafuso de Arquimedes é aplicado em diversos mecanismos de transporte para elevar grãos, sendo um processo tradicional nessa função. Além disso, demonstra utilidade na remoção de terra durante operações de escavação e, em dimensões menores, é utilizado para conduzir alimentos até trituradores em máquinas de moer.

Os transportadores helicoidais são um tipo versátil de transportador para pequenas distâncias, servindo para realizar simultaneamente outros tipos de operação como misturam lavagem, cristalização, resfriamento, extração ou secagem. O detalhamento e classificação dos transportadores será apresentado na seção a seguir (Gomide, 1983)

2.3 Máquinas de transporte

O transporte pneumático, apresentado na figura 5, é um exemplo de sistema que movimenta materiais por meio de fluxo de ar comprimido. Ele consiste em condutores ou tubos pelos quais o ar é direcionado para transportar materiais a granel, como pós, grãos e partículas, de um ponto para outro de forma eficiente e controlada.

Figura 5 - Recepção Automatizada de Big Bags, Desgrumagem, Pesagem e Transporte



Fonte: Dynamic Air® (2023)

As máquinas de transporte são dispositivos essenciais em diversas áreas da indústria, sendo responsáveis por movimentar cargas pesadas de um local para outro. Neste contexto, é importante compreender a fundamentação teórica que embasa o funcionamento e a utilização dessas máquinas, bem como os princípios físicos envolvidos.

Existem diferentes tipos de máquinas de elevação e transporte, cada uma projetada para atender a necessidades específicas. Alguns exemplos comuns incluem guindastes, pontes rolantes, empilhadeiras, elevadores, esteiras transportadoras e sistemas de transporte por correias ou cabos. Cada tipo de máquina tem características e capacidades distintas, dependendo do ambiente de trabalho e da carga a ser movimentada, as pontes rolantes, por exemplo, são máquinas de transportes frequentemente utilizadas para a manutenção de equipamentos (levantando e movimentando equipamentos pesados) ou transporte de materiais para a área de armazenamento ou linha de produção conforme apresentado na figura 6.

Figura 6 - Ponte rolante movimentando carga



Fonte: Ferro Indústria® (2023)

Existem duas classificações de equipamentos destinados ao transporte de sólidos: 1º) aqueles cuja posição permanece fixa durante o transporte, muito embora possuam partes móveis; 2º) os que se movimentam com o sólido, como pás carregadoras, vagonetas, empilhadeiras, caminhões, guinchos e guindastes. O primeiro tipo citado é o mais adequado a transportes contínuos de sólidos e os mais utilizados na indústria de processos químicos. Tem-se também a subdivisão pelo tipo de ação no qual o transportador irá desenvolver, podendo desempenhar as seguintes funções: carregadores; elevadores; arrastadores; alimentadores e pneumáticos (GOMIDE, 1983).

A figura 7 apresenta um dos tipos de equipamentos destinados ao transporte de sólidos mencionado acima. Um elevador de canecas é utilizado para transportar materiais a granel, como grãos, pós, produtos químicos, entre outros, de um ponto para outro em uma instalação industrial. O seu funcionamento é relativamente simples, mas eficaz. É composto por uma série de canecas que são fixadas a uma correia ou corrente. Essas canecas são o componente essencial do sistema, pois são responsáveis por recolher o material a granel no ponto de alimentação e transportá-lo até o ponto de descarga.

O processo começa quando as canecas vazias estão posicionadas no ponto de alimentação. O material a granel é então depositado na parte superior das canecas, que estão dispostas em uma configuração contínua na correia ou corrente. À medida que a correia ou corrente se move, as canecas carregadas com material são transportadas para cima.

Conforme as canecas sobem, o material é mantido dentro delas devido à sua forma e ao fechamento adequado da parte superior das canecas. À medida que as canecas atingem o ponto de descarga, o material é despejado em um local designado, geralmente um silo, transportador ou outro ponto de destino. O material é liberado das canecas devido à gravidade ou a um mecanismo de descarga específico, como uma válvula ou um sistema de abertura das canecas.

Figura 7 – Elevador de canecas



Fonte: Wam do Brasil® (2023).

Quando o sólido é arrastado em calhas ou dutos, tem-se os dispositivos arrastadores, os quais de modo geral possuem menor custo inicial de instalação se comparados aos carregadores. Estes equipamentos são indicados para transporte inclinado, podendo chegar a inclinações de trabalho de 45°, porém, essa peculiaridade faz com que o custo de manutenção seja mais elevado, devido ao desgaste gerado no equipamento. Enquadram-se nos dispositivos arrastadores os transportadores de calha e helicoidal (SILVA, 2008).

Todo processo de produção, em cada empresa, depende essencialmente de uma escolha racional dos tipos de máquinas de elevação e transporte, determinação correta de seus principais parâmetros e eficiente operação (Rudenko, 1976).

2.4 Transportadores Helicoidais

Os transportadores de parafuso movem os materiais nas direções horizontais, inclinadas ou verticais. São utilizados para alimentar, distribuir, recolher ou misturar e podem ser equipados para aquecer ou arrefecer enquanto efetuam esta transferência.

Com a cobertura e as juntas adequadas, são facilmente estanques ao pó ou às intempéries e à prova de roedores. O seu design compacto e limpo poupa espaço valioso, uma vez que não é necessário um percurso de retorno. Os transportadores de parafuso cabem em espaços apertados, são simples de suportar e fáceis de instalar... e custam menos do que a maioria dos outros tipos de transportadores. (screw conveyor catalog & engineering manual, 2010).

As máquinas de elevação transporte se destinam a movimentação horizontal e vertical na indústria, nos canteiros de obra, de equipamentos e materiais, sendo decisivas quando se necessita agilidade e precisão (Brasil, 1985).

Como outro exemplo de transporte de pó, os dispositivos pneumáticos são largamente empregados na movimentação e elevação de materiais particulados finos em indústrias. A grande utilização destes equipamentos decorre da sua versatilidade de distâncias, desde pequenas até longas, variabilidade da granulometria do material, podendo ser transportado pós finos com tamanhos acima de 100 μm até grãos de 1 cm, e a densidade do material que pode variar desde 15 kg/m^3 até 3 t/m^3 (GOMIDE, 1983).

De um modo geral, se um material pode ser transportado em uma Rosca Transportadora horizontal, ele pode ser elevado em uma Rosca Elevatória e sem os muitos problemas inerentes a outros tipos de equipamentos de elevação e pode ser utilizado para o transporte de diversos tipos de materiais. A figura 8 ilustra um conjunto de um transportador de parafuso vertical e horizontal.

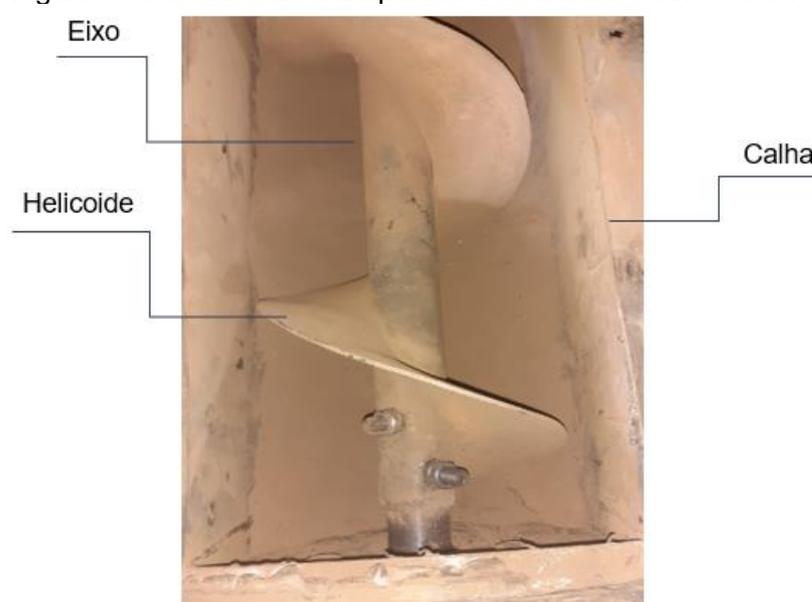
Figura 8 - Transportador helicoidal vertical e horizontal



Fonte: Catalog and Engineering Manual (2020).

Comumente, a rosca transportadora é composta por um eixo central unido a vários helicoides. O eixo deve ser livre de qualquer desalinhamento, pois isso pode comprometer o transporte de grãos, resultando em pontos onde o material fica acumulado e pontos de atrito significativo entre a calha e a rosca. Já a rosca normalmente é constituída de seções que têm comprimentos entre 3 m e 4 m. Para o transporte horizontal, comumente o passo é igual ao diâmetro do helicoide, isto é, a distância entre as cristas mais próximas se equivalem ao diâmetro do helicoide (CHANSELME, 2014).

Figura 8 - Parafuso do transportador helicoidal e eixo motor.



Fonte: O autor (2023)

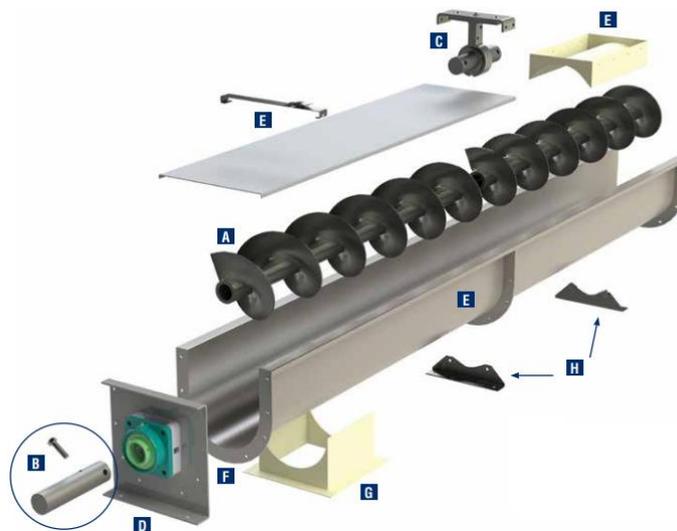
Para que o equipamento não perca eficiência, o material não deve ultrapassar o nível do eixo, como ocorre na figura 9.

Logo, recomenda-se que o material represente aproximadamente 45% da área da seção transversal da calha. Com essas configurações de rosca, a inclinação máxima que o transportador pode atuar é 20°. Caso a inclinação a ser utilizada seja maior do que os 20°, a capacidade de carga do transportador deve ser reduzida e a rosca deve ter um espaço menor, para evitar retorno de material e excesso de peso em cada seção do helicoide, tendo em vista que terá uma componente da força peso agindo no parafuso (CHANSELME, 2014).

2.4.1 Componentes

Em linhas gerais, desconsiderando o conjunto de acionamento, podemos determinar os seguintes elementos para um transportador helicoidal, conforme apresentado na figura 7.

Figura 9 - Componentes do Transportador Helicoidal.



Fonte: Catalog and Engineering Manual (2020).

- A. Hélice ou helicoide;
- B. Componentes de travamento e segurança;
- C. Mancais intermediários;
- D. Tampas de fechamento;
- E. Calha limitadora de carga (carcaça) e boca de entrada;
- F. Flange de fixação;
- G. Boca de descarga;
- H. Suporte de fixação;

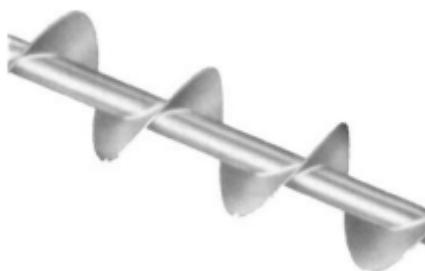
Os subtópicos a seguir abordam os itens mencionados anteriormente.

2.4.2 Tipos de Hélice

De acordo com Screw Conveyor Components & Design (2020), os principais helicóides podem ser classificados entre:

Hélice padrão ou simples: Apresentado na figura 11, este é o tipo mais comum de hélice usada em transportadores helicoidais. Consiste em uma única hélice contínua que percorre todo o comprimento do transportador, onde o passo do helicoide é igual ao seu diâmetro externo. É eficaz para transportar uma variedade de materiais a granel.

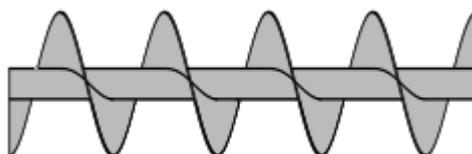
Figura 10 - Hélice Padrão ou Simples.



Fonte: Screw Conveyor Components & Design (2020)

Hélice passo curto: Apresentado na figura 12, o passo curto, comumente metade do passo padrão, é usado em transportadores inclinados para garantir uma ação de transporte eficiente ao longo de sua extensão. Isso envolve um passo menor do que o padrão completo, contribuindo para uma operação mais eficaz.

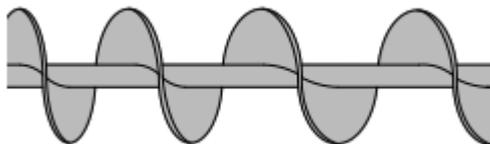
Figura 11 - Hélice Passo Curto.



Fonte: Screw Conveyor Components & Design (2020)

Hélice passo variável: Apresentado na figura 13, hélices de passo variável são empregados como alimentadores sob longos funis de armazenamento. Eles permitem retirar o material ao longo da abertura, evitando que o material flua apenas da extremidade inicial, o que pode levar ao acúmulo de material se o funil nunca for esvaziado por completo.

Figura 12 - Hélice Passo Variável.



Fonte: Screw Conveyor Components & Design (2020)

Hélice cortada: Apresentado na figura 14, ao criar entalhes profundos nas pás, é gerada uma ação de mistura altamente eficiente de materiais secos, especialmente em altas velocidades. O material é fragmentado e agitado durante o transporte. Essa estrutura também é vantajosa ao mover materiais propensos a aglomeração.

Figura 13 - Hélice Cortada.



Fonte: Screw Conveyor Components & Design (2020)

Hélice cortada e dobrada: Apresentado na figura 15, essa construção gera uma agitação mais intensa do que as pás cortadas sozinhas. Além disso, é eficaz para resfriar ou secar materiais leves.

Figura 14 - Hélice cortada e dobrada.



Fonte: Screw Conveyor Components & Design (2020)

Hélice com pás: Apresentado na figura 16, pás de mistura podem ser adicionadas a parafusos transportadores padrão para aumentar a ação de mistura e diminuir o fluxo de material. Essas pás são fixadas na extremidade oposta à direção das pás do parafuso e podem ser ajustadas quanto à direção e ao passo.

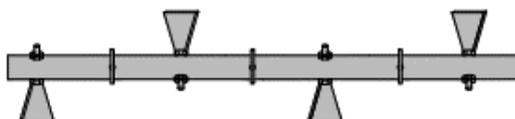
Figura 15 - Hélice com pás.



Fonte: Screw Conveyor Components & Design (2020)

Transportador de pás: Apresentado na figura 17, um transportador de pás é uma opção que maximiza a agitação, sendo especialmente adequado quando a eficiência do transporte não é uma prioridade. A construção do parafuso transportador oferece uma variedade de variações possíveis.

Figura 16 - Transportador de pás.



Fonte: Screw Conveyor Components & Design (2020)

2.4.3 Mancais intermediários

Para sustentar o peso do eixo transportador e evitar flexões, é recomendado que seja instalado um mancal intermediário que pode ser fixado nas próprias chapas conforme apresentado na figura 18. Mancais com rolamentos devem ser perfeitamente alinhados e distantes de 3 a 4 m, para evitar as flexões. Para roscas curtas, mancais fixados nas chapas de extremidade são suficientes. Para roscas compridas, mancais são fixados sobre suportes rígidos firmemente fixados numa parede da calha como no caso da rosca distribuidora (CHANSELME, 2014).

Figura 17 - Mancais e suportes.



Fonte: CHANSELME (2014)

2.4.4 Tampas de Fechamento

As tampas de fechamento apresentadas na figura 19 são componentes que cobrem as seções do transportador helicoidal, protegendo o material transportado e evitando que ele se espalhe ou caia durante o transporte. Elas são especialmente úteis quando o material sendo transportado é fino, em pó ou facilmente dispensável. As tampas de fechamento ajudam a conter o material dentro do transportador, reduzindo a possibilidade de vazamentos e minimizando a exposição ao ambiente circundante. Elas também podem ajudar a controlar o ambiente dentro do transportador, mantendo a temperatura, a umidade ou outros fatores em níveis desejados.

Figura 18 - Tampa de Fechamento.



Fonte: Screw Conveyor Components & Design (2020)

2.4.5 Carcaça e Boca de Entrada

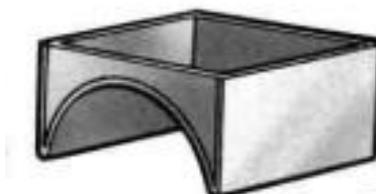
A calha limitadora de carga, ilustrada na figura 20, é a estrutura que abriga o transportador helicoidal. Ela é projetada para fornecer suporte ao transportador, protegendo-o contra danos externos e garantindo a integridade do equipamento. Além disso, a calha limitadora de carga ajuda a conter o material transportado e direcioná-lo ao longo do caminho da hélice. A boca de entrada, ilustrada na figura 21, é a abertura na calha onde o material é introduzido no transportador. É importante que a boca de entrada seja projetada de forma adequada para permitir um carregamento eficiente do material no transportador.

Figura 19 – Carcaça.



Fonte: Screw Conveyor Components & Design (2020)

Figura 20 - Boca de entrada



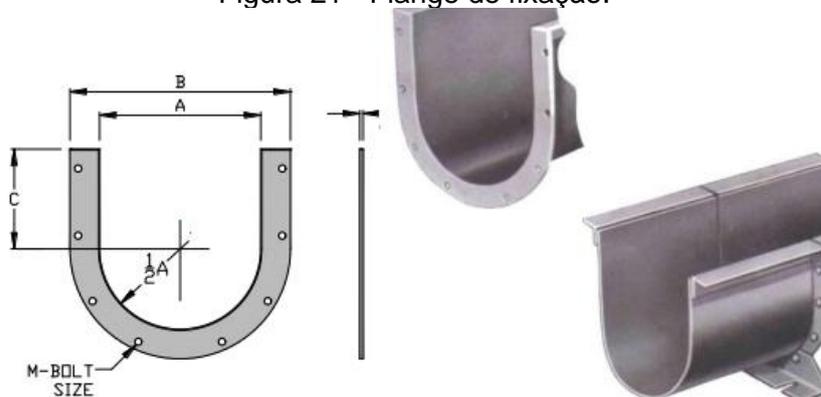
Fonte: Screw Conveyor Components & Design (2020)

2.4.6 Flange de fixação

A flange de fixação, apresentado na figura 22, é uma estrutura que está localizada na extremidade de entrada do transportador helicoidal, onde ele se conecta a outras partes do sistema. Esse flange é usado para fixar o transportador a outros equipamentos, como silos, funis ou pontos de descarga. Ela fornece uma interface sólida

para garantir que o transportador esteja firmemente conectado e que o material seja transferido de maneira consistente entre diferentes partes do sistema.

Figura 21 - Flange de fixação.

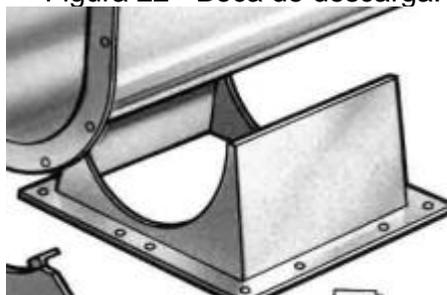


Fonte: Screw Conveyor Components & Design (2020)

2.4.7 Boca de descarga

A boca de descarga é uma abertura localizada na extremidade de saída do transportador helicoidal, conforme apresentado na figura 23. É por onde o material transportado é descarregado do transportador para o destino. A forma e o design da boca de descarga podem variar dependendo da aplicação e dos requisitos específicos. A boca de descarga deve ser dimensionada de maneira adequada para permitir que o material seja descarregado de maneira eficiente e controlada. Isso pode incluir dispositivos adicionais, como válvulas de controle, comportas ou outros mecanismos para regular o fluxo e evitar derramamentos excessivos.

Figura 22 - Boca de descarga.

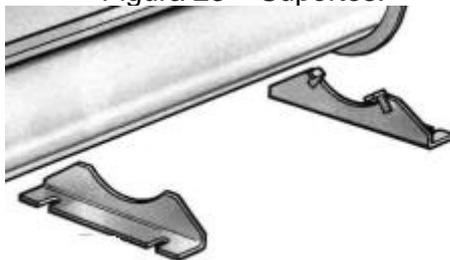


Fonte: Screw Conveyor Components & Design (2020)

2.4.8 Suporte

O suporte de fixação, apresentado na figura 24, é uma estrutura que oferece suporte e estabilidade ao transportador helicoidal. Ele pode ser usado para ancorar o transportador em uma posição específica, garantindo que ele permaneça seguro e estável durante a operação. O suporte de fixação também pode permitir a regulagem de altura ou do ângulo do transportador, permitindo a adaptação a diferentes configurações e requisitos de transporte. Esses suportes podem ser personalizados para atender às necessidades do sistema em que o transportador está sendo integrado.

Figura 23 – Suportes.



Fonte: Screw Conveyor Components & Design (2020)

3 Metodologia

Com base nos guias de fabricantes, foram empregados os métodos de dimensionamento e projeto de componentes neste estudo. Para a obtenção do projeto final, foi necessário realizar uma análise minuciosa do local e mapear os equipamentos já instalados a fim de obter os requisitos necessários para a instalação do transportador helicoidal.

Após a obtenção dos requisitos, foram elaboradas folhas de dados que direcionaram o dimensionamento dos transportadores helicoidais. Essas folhas de dados incluíram informações importantes como a capacidade de transporte, velocidade e potência necessária para o funcionamento do equipamento.

Uma vez concluído o projeto do transportador, foi utilizado um software de desenho para criar um modelo do sistema proposto. Isso possibilitou uma visualização clara do projeto e auxiliou na montagem futura do sistema pela empresa executora.

A aplicação da metodologia de gestão de projetos é essencial para o sucesso desejado, proporcionando alinhamento com as partes interessadas e o planejamento adequado de modo que todas as etapas sejam cumpridas e o equipamento e layout dimensionado atendam aos requisitos e expectativas do cliente. Assim, cumprindo as devidas etapas do gerenciamento de projetos, foi desenvolvido um cronograma elaborado no MS Project para garantir uma gestão eficiente do tempo (Anexo F).

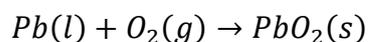
Por fim, os desenhos e modelos do transportador foram criados no Autodesk AutoCAD®, garantindo uma representação detalhada do equipamento. Essas ferramentas foram essenciais para garantir um projeto eficiente e eficaz do transportador helicoidal.

3.1 Processo de fabricação do óxido e concepção do novo sistema

O transportador helicoidal desenvolvido será utilizado no início do processo de descarregamento do óxido de chumbo, que após descarregado pelo silo, será encaminhado para as demais plantas industriais e conseqüentemente para as linhas de produção. O processo de fabricação do óxido e o fluxograma de automação do sistema será detalhado na seção a seguir.

3.1 Descritivo do processo de produção.

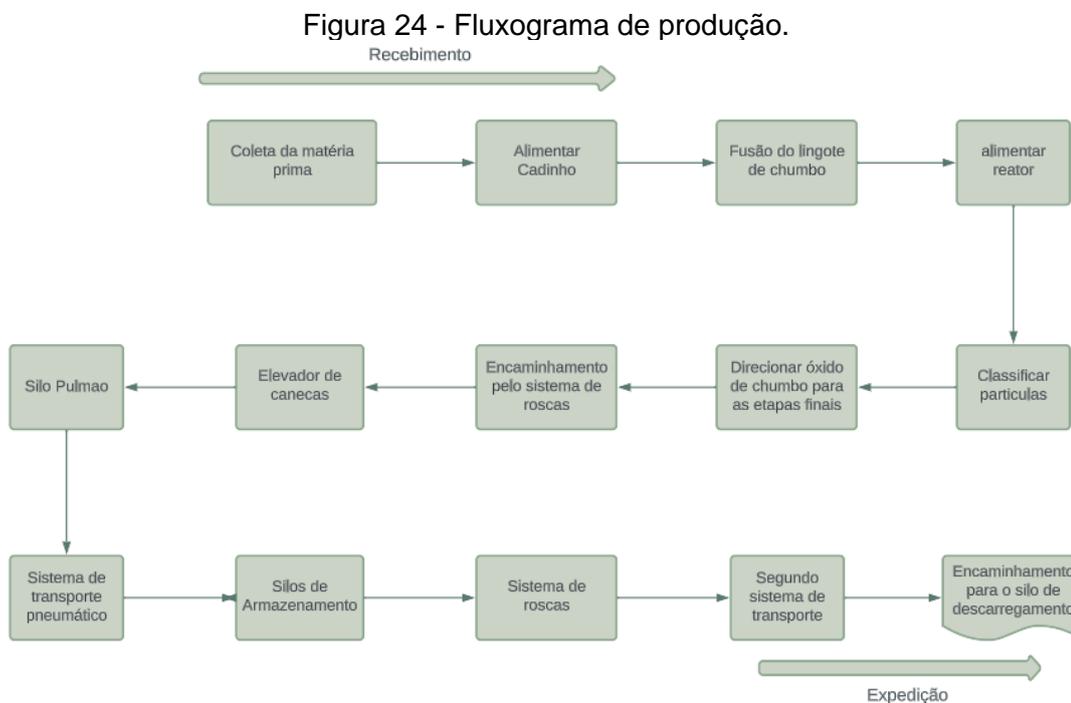
Para a fabricação do óxido de chumbo, a matéria-prima consiste basicamente em chumbo sólido, que é fundido a uma temperatura de aproximadamente 400° C e entra no reator, onde ocorre a reação a aproximadamente 450° C, que, por sua vez, forma o óxido de chumbo. As partículas que atingem as especificações desejadas são classificadas e direcionadas para as demais etapas finais do equipamento. Na última etapa, do processo, as partículas mais finas são direcionadas para o sistema de filtragem. A reação química que ocorre no processo está descrita abaixo:



Nessa equação, Pb(l) representa o chumbo líquido, O₂(g) representa o oxigênio gasoso do ar e PbO₂(s) representa o óxido de chumbo. A equação mostra que 1 átomo de chumbo reage com uma molécula de oxigênio para formar 1 molécula do óxido de chumbo sólido.

O óxido de chumbo produzido pelos moinhos é encaminhado por meio de roscas até o elevador de canecas, que é utilizado para direcionar o óxido para o transportador pneumático, que, por sua vez, entrega nos silos de armazenamento, onde o produto é armazenado por 24 horas até atingir as especificações desejadas. No sistema atual, o óxido armazenado em cada silo segue um fluxo através de roscas para outro sistema pneumático, responsável pela expedição do óxido para a carreta que direciona o óxido para as demais plantas industriais. A figura 25 apresenta o fluxo geral de produção.

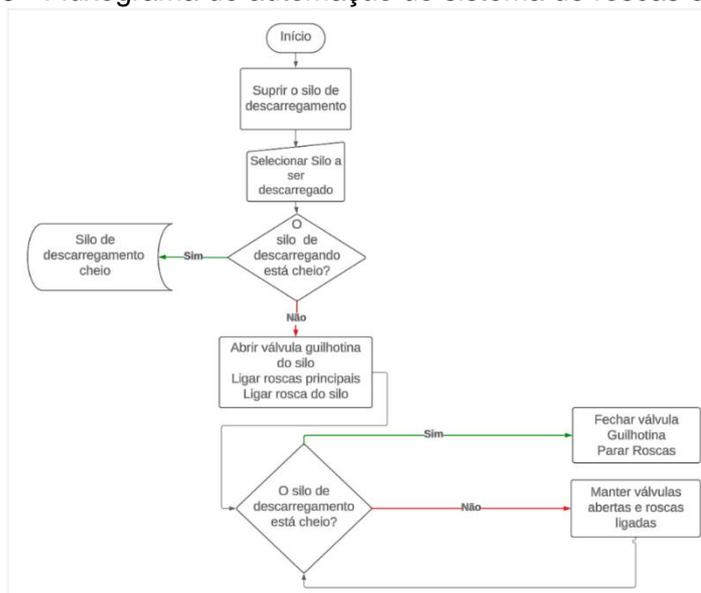
3.1.1 Fluxograma geral de produção



Fonte: Autor (2023)

Uma vez que o óxido na fábrica está na etapa de armazenamento nos silos, as roscas do sistema de transporte existente atuam seguindo o fluxo da figura 26.

Figura 25 - Fluxograma de automação do sistema de roscas existentes.



Fonte: Autor (2023)

3.2 Instalação do novo sistema

Com a alta demanda de produção, surgiu a necessidade de aumentar a produção de óxido na fábrica e, conseqüentemente, a necessidade de instalar um novo sistema de transporte pneumático e armazenamento de óxido de chumbo, que entregará uma maior capacidade de distribuição para as plantas industriais. O novo sistema contemplará um sistema pneumático de transporte e 4 novos silos de armazenamento. A empresa que fornece o sistema pneumático desenvolve exclusivamente o transporte entre o local onde o óxido é fabricado para os silos de armazenamento, ficando na responsabilidade do solicitante definir e desenvolver o encaminhamento do material que está nos silos para a finalidade desejada.

Para a área externa, onde ficam localizados os silos de armazenamento, será instalado um sistema de roscas transportadoras para direcionar o óxido que está nos silos para o sistema já existente. Esse conjunto de roscas contemplará 6 novas roscas, das quais 4 possuem as mesmas características de transporte, inclinação e comprimento, assim, as 4 roscas acopladas nos silos serão replicadas conforme o padrão já existente. Já as duas roscas principais, serão detalhadas no item a seguir.

3.3 Concepção do sistema

Para iniciar o processo de definição do sistema de roscas foi necessário realizar o mapeamento inicial da área externa dos silos, onde ficarão localizadas as roscas. Realizado com o auxílio do software Autodesk AutoCAD®. Após o levantamento será possível definir os requisitos do sistema e comprimento do transportador.

3.3.1 Definição do escopo do projeto

A definição do escopo é uma das etapas mais importantes em qualquer projeto, pois ela estabelece os limites e objetivos do projeto, determinando o que será incluído e excluído do trabalho a ser realizado. A definição clara do escopo é fundamental para que todas as partes envolvidas no projeto tenham uma compreensão comum dos objetivos, requisitos, entregáveis e limitações do projeto.

Os requisitos são essenciais porque definem as necessidades e expectativas do cliente, orientam o desenvolvimento de produtos ou projetos, ajudam a evitar erros e retrabalho, permitem a comunicação eficaz entre equipes e partes interessadas, e servem como base para avaliar o sucesso do projeto ou produto. Inicialmente, foram coletados as informações do projeto com as áreas operacionais (manutenção e produção) e patrocinador, obtendo os seguintes itens:

- Os motorreductores das roscas deverão ser da marca SEW de modo a facilitar a manutenção e o estoque de peças de reposição;
- As roscas que são ligadas aos silos são da capacidade de transporte (8ton/h), que é o padrão de transporte que se tem atualmente nas rocas do antigo sistema e deverão ser replicadas para o novo sistema;
- A rosca principal que interliga as roscas dos silos com o encaminhamento para expedição deverá possuir uma capacidade de 12 ton/h para atender uma futura produção.
- Apenas um silo é descarregado por vez, assim, apenas as roscas ligadas ao descarregamento daquele silo deverão estar em funcionamento;
- As roscas deverão ser pintadas na cor cinza de modo a manter o padrão das demais roscas da fábrica;
- As válvulas guilhotinas que ligam os silos as roscas deverão ser da marca WAN para facilitar o estoque de peças de reposição;
- Deve ser de baixo custo de modo a não ultrapassar o orçamento do projeto total do sistema;
- Elaborar um cronograma do projeto para acompanhamento por parte do cliente.

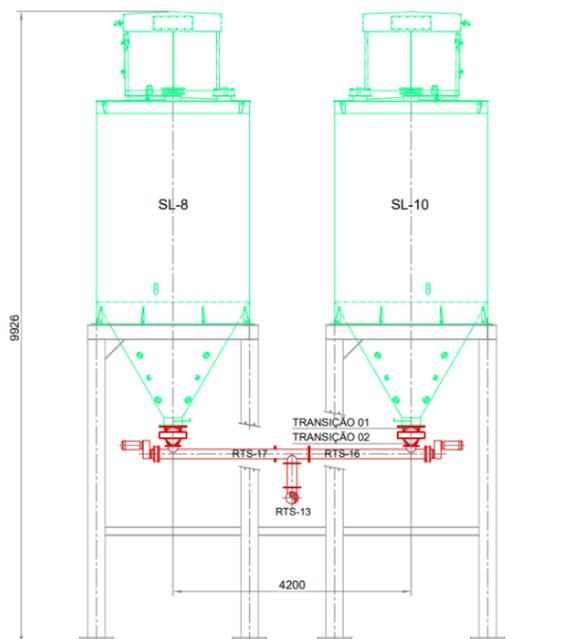
Com isso, faz parte do escopo do projeto: Dimensionar o transportador helicoidal que interliga as roscas dos silos com o antigo sistema; especificar válvulas guilhotinas e motorreductor de acionamento.

3.3.2 Local da Instalação

O local de armazenamento do óxido da fábrica possui 10 silos, sendo 6 do antigo sistema e 4 do novo equipamento, que possuem 9926mm de altura e distam 4200mm entre si, centro a centro. O novo sistema de roscas ficará conectado aos

silos. A figura 27 apresenta as dimensões mencionadas acima e a conexão das transições com a rosca e o silo bem como a conexão com as roscas principais

Figura 26 - Local de instalação dos transportadores helicoidais.



Fonte: o autor (2023)

4 Dimensionamento dos transportadores helicoidais e válvulas guilhotinas

4.1 Comprimento dos transportadores helicoidais

Cada novo silo (SL) precisará descarregar em uma rosca que leve o óxido para a rosca principal onde será encaminhado para o antigo sistema. Uma vez que os silos estão centralizados em cada quadrante da área da plataforma, temos uma distância de 2100 mm dos silos até a rosca principal, assim, as roscas transportadoras de número 15(RTS15) e 17(RTS17) dos silos da área superior terão um comprimento

$$L_{15} = 2100mm.$$

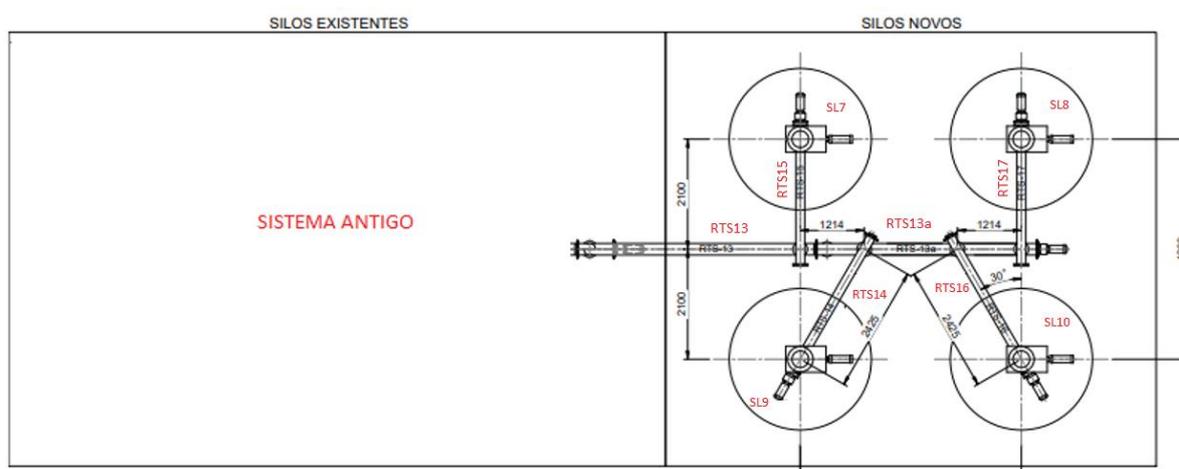
Devido ao posicionamento das roscas transportadoras de número 14(RTS14) e 16(RTS16), as roscas dos silos inferiores, deverão ter um ângulo de inclinação de 30° em relação ao Silo(no plano) para se conectar na rosca principal. Com isso, teremos que o comprimento das RTS14 e RTS16, serão:

$$L_{14} = L_{16} = L_{15} \times \frac{1}{\cos 30} \quad (4-1)$$

$$L_{14} = L_{16} = 2100 \times \frac{1}{0,866} = 2.425mm$$

Que, por sua vez, possuem as mesmas dimensões das roscas do sistema antigo conforme mencionado anteriormente. A figura 28 apresenta a configuração das roscas com os silos e entrega no sistema antigo.

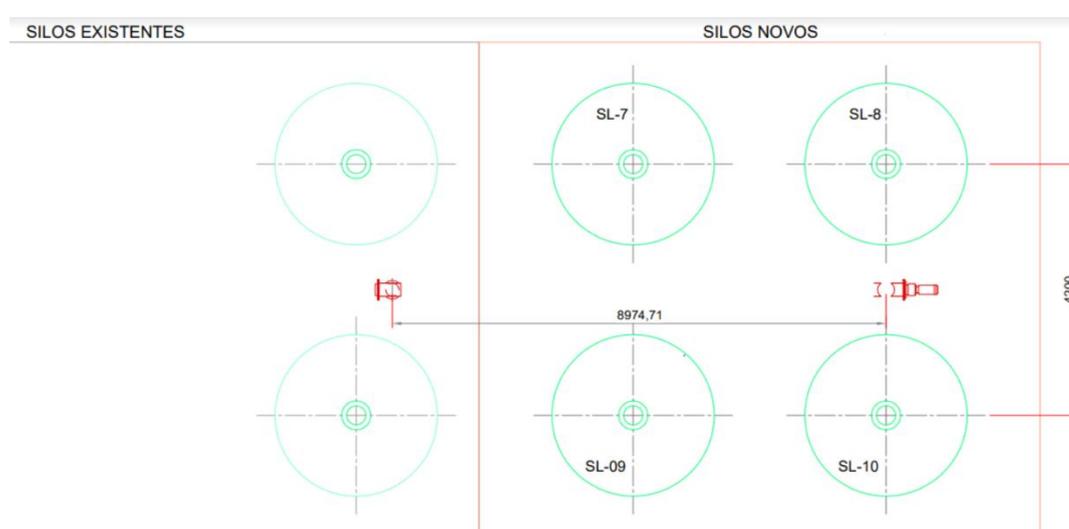
Figura 27 – Posição de instalação dos transportadores helicoidais.



Fonte: O autor (2023)

A distância entre o centro do silo 8 e o antigo sistema é de $L = 8974,71$ mm, conforme apresentado na figura 29. Se optássemos por alocar uma única rosca, poderíamos ter problemas recorrentes de acúmulo de óxido, devido à quantidade elevada de mancais intermediários, acarretando entupimento do transportador e aumentando os custos com manutenção, além de reduzir a vida útil do equipamento.

Figura 28 – Distância até o sistema antigo.

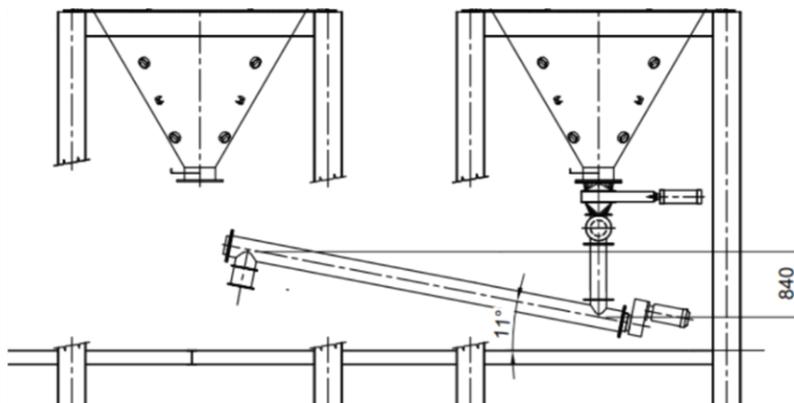


Fonte: o autor (2023)

Para resolver esse agravante, serão instaladas duas roscas idênticas, inclinadas de modo que uma entregue na outra, diminuindo, assim, o risco de acúmulo de óxido de chumbo nos transportadores e conseqüentemente uma parada da produção.

Com base das medidas realizadas in loco, a altura total de elevação disponível, ou seja, a diferença entre a plataforma e o local de entrega do antigo sistema, é de 1939 mm. Portanto, serão divididas em duas roscas de tamanhos iguais, com uma inclinação de 11° , o que é o suficiente para que uma extremidade da rosca se conecte com o último silo e a outra extremidade no antigo sistema. A figura 30 apresenta a ilustração da inclinação da rosca e sua altura de elevação.

Figura 29 – Altura de elevação e ângulo de inclinação.



Fonte: o autor (2023)

A rosca (RTS13) que se conectará com o antigo sistema possuirá um comprimento de:

$$L_3 = L_A \times \cos 11^\circ \quad (4-2)$$

$$L_3 = 4482,35 \times 0,981 = 4.400mm$$

Para o último transportador (RTS-13^a), teremos que o comprimento será:

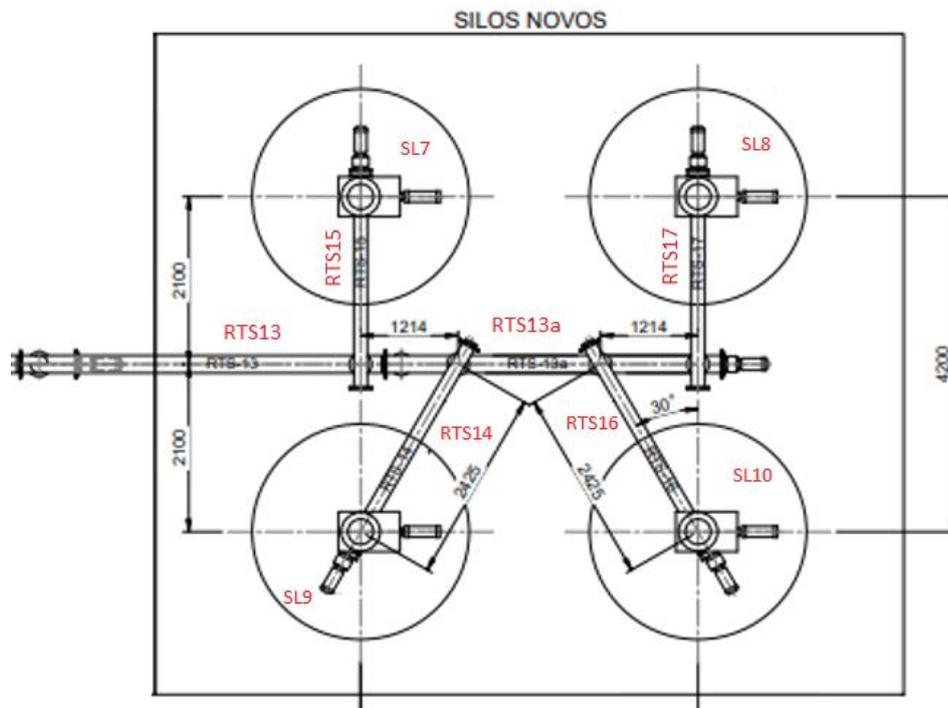
$$L_4 = L_b \times \cos 11^\circ \quad (4-3)$$

$$L_4 = 4482,35 \times 0,981 = 4.400mm$$

Assim, a figura abaixo ilustra como ficará o esquema de montagem do sistema de transportadores helicoidais, sendo as roscas que estão conectadas aos silos replicadas junto ao fornecedor no mesmo padrão das existentes e as roscas principais serão detalhadas no item a seguir.

Uma vez que serão duas roscas de propriedades iguais, serão apenas replicadas as características da rosca calculada no item a seguir, modificando apenas o local de recebimento para se adequar ao local de descarga do silo.

Figura 30 - Esquema de montagem do sistema de transportadores.



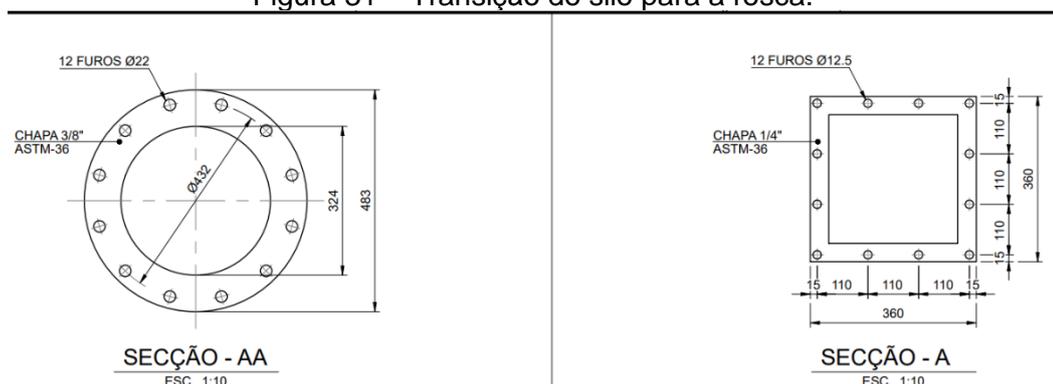
Fonte: o autor (2023)

4.2 Dimensionamento da válvula guilhotina

Para garantir que o óxido não seja direcionado para as roscas que não se encontram em funcionamento, isto é, que apenas o silo desejado de fato esteja sendo direcionado o óxido para a rosca, serão selecionadas válvulas guilhotinas que serão inseridas na saída dos silos, assim, quando a rosca estiver desligada, a válvula estará fechada interrompendo o fluxo para os transportadores.

No catálogo da WAM, conforme solicitado pelo setor de manutenção, não há nenhuma válvula guilhotina que atenda as dimensões de saída do silo, com isso, será necessário desenvolver uma transição que possibilite a conexão entre a válvula e o silo, assim, foram desenvolvidas 4 transições, conforme apresentado na figura 32:

Figura 31 – Transição do silo para a rosca.



Fonte: o autor (2023)

Na figura acima destacam-se duas imagens, a da esquerda apresenta as dimensões utilizadas conforme flange da válvula guilhotina (ref.vlq 0250), fabricante Wam do Brasil, instalada nos silos existentes (Ver anexo A), enquanto a imagem da direita representa a saída da transição cujas dimensões foram retiradas dos desenhos informados pela fabricante dos silos, Dynamic Air. Para essa transição, será utilizada uma chapa 3/16" ASTM-36.

De maneira análoga, foi desenvolvida outra transição para que pudessem ser conectadas as válvulas guilhotinas com as novas roscas a serem dimensionadas, cujos diâmetros de entrada do óxido serão mantidos de acordo com o sistema existente.

4.3 Dimensionamento dos transportadores helicoidais

Para garantir o desempenho adequado e atender às expectativas do projeto, é fundamental seguir uma série de normas e critérios durante o procedimento inicial para criar um sistema de transportadores helicoidais. Essas diretrizes devem levar em consideração os equipamentos já existentes, a fim de fornecer as condições necessárias para que o material seja entregue na vazão requerida.

Ao estabelecer as normas e critérios, é importante considerar diversos aspectos, como a capacidade de transporte do sistema, o ângulo de inclinação, bem como a potência adequada do motorreductor. Além disso, é fundamental levar em conta as características do material a ser transportado, tais como a sua granulometria, viscosidade e propriedades físicas.

Uma vez definidas as normas e critérios adequados, é possível proceder com a criação do sistema de transportadores helicoidais. Isso envolve a seleção dos equipamentos mais adequados, o dimensionamento correto das hélices, a determinação da velocidade de rotação, a escolha dos materiais de construção e a garantia de que o sistema esteja de acordo com as normas de segurança aplicáveis.

Para o cálculo do tamanho do transportador helicoidal, foram empregadas as informações encontradas no manual de dimensionamento “Screw Conveyor components & design” (2012) do fabricante Conveyor Engineering & Manufacturing, e a regulamentação da Conveyor Equipment Manufacturers Association para transportadores contínuos (CEMA, 2009).

4.3.1 Projeto dos transportadores

Para garantir o desempenho dos equipamentos de transporte e elevação o seu dimensionamento e projeto devem seguir normas e critérios de cálculo que estabeleçam as condições necessárias, com base inclusive na experiência de equipamentos existentes. Atualmente existem diversas entidades que já desenvolveram normas, manuais e critérios aplicados às máquinas de elevação e transporte. Uma das primeiras etapas no desenvolvimento ou especificação de um equipamento para estas aplicações consiste nesta definição. A escolha da norma ou critério pode influenciar em

todas as características do equipamento, principalmente no que diz respeito à segurança, custos do investimento, desempenho e custos de manutenção (Andriolli, 2016).

O passo inicial na engenharia de um Transportador Helicoidal é a análise das características físicas do material e a capacidade máxima que deverá ser entregue pelo transportador (LEITE,2020).

O guia citado anteriormente, "Screw Conveyor components & design" (2020), indica que sejam seguidos 5 passos para assegurar o correto funcionamento do equipamento. São eles:

- Estabelecer os requisitos do transporte;
- Identificar o material e o código do material correspondente;
- Determinar a capacidade, o tamanho e a velocidade do transportador helicoidal;
- Selecionar o motor adequado;
- Determinar o tamanho recomendado dos componentes;

De modo a garantir o correto dimensionamento do transportador para atender às necessidades específicas, é necessário inicialmente estabelecer alguns parâmetros fundamentais, são eles: Tipo de material a ser transportado; Sentido do fluxo de transporte e distância de transporte do material.

4.3.2 Tipo do material a ser transportado

O material a ser transportado é o óxido de chumbo, logo tipo granular. Assim, temos os seguintes dados:

Densidade: 1,96 ton/m³.

Granulometria: Mesh 200.

4.3.3 Fluxo obrigatório

O sistema atual foi projetado para um fluxo de 8 ton/h. Como o novo sistema necessitará de capacidade de fluxo adicional e entendendo que qualquer aumento na capacidade de transporte implicaria apenas em modificações no antigo sistema. Teremos que a capacidade do novo sistema será superior ao antigo, conforme apresentado na seção 5.1, assim, a capacidade requerida para o projeto é:

$$C_{req} = 12 \text{ ton/h} = 12000 \text{ kg/h}$$

4.3.4 Distância de transporte do material

Seguindo a diretriz estabelecida pela norma, o ângulo máximo recomendado para transportadores helicoidais do tipo calha é de até 20°. Isso se deve ao fato de que uma inclinação maior poderia prejudicar o fluxo do material em transporte (CEMA, 2009).

Através das medidas realizadas in loco, foi possível identificar que para as rosca que conectam os silos com a rosca principal, não é necessário nenhum ângulo de inclinação e a distância entre o centro dos silos até a entrega na rosca principal é $d = 2.425\text{mm}$ que é o mesmo padrão do sistema já existente. Já para a rosca principal, temos uma distância de transporte de $D_{RTOP} = 4.400\text{mm}$, conforme apresentado na equação 4-1 e 4-2.

4.3.5 Identificar o material e o código do material correspondente

De acordo com o livro "Screw Conveyor components & design" (2018), o tipo de material a ser transportado pode influenciar consideravelmente no tamanho e no tipo de transportador requerido. Ao selecionar os componentes, é fundamental categorizar o código do material a ser transportado. Essa classificação dependerá da densidade dos grãos, tamanho, fluidez, abrasividade e outras características relevantes possíveis.

A figura abaixo classifica cada material em 5 categorias: Tamanho, Fluidez, abrasividade, propriedades e perigos diversos.

Figura 32 - Classificação do Material.

Material Characteristics		Class Designation	
Size	Very Fine	No. 200 Sieve (.0029") And Under	A ₂₀₀
	Fine	No. 100 Sieve (.0059") And Under	A ₁₀₀
		No. 40 Sieve (.016") And Under	A ₄₀
	Granular	No. 6 Sieve (.132") And Under	B ₆
		1/2" And Under	C _{1/2}
		3" And Under	D ₃
	*Lumpy	7" And Under	D ₇
16" And Under		D ₁₆	
Irregular	Over 16" to Be Specified X — Actual Maximum Size Stringy, Fibrous, Cylindrical, Slabs, Etc	D _x E	
Flowability	Very Free Flowing	Flow Function 10	1
	Free Flowing	Flow Function 4 But 10	2
	Average Flowability	Flow Function 2 But 4	3
	Sluggish	Flow Function 2	4
Abrasiveness	Mildly Abrasive	Index 1–17	5
	Moderately Abrasive	Index 18–67	6
	Extremely Abrasive	Index 68–416	7
Miscellaneous Properties Or Hazards	Builds Up and Hardens		F
	Generates Static Electricity		G
	Decomposes — Deteriorates in Storage		H
	Flammability		J
	Becomes Plastic or Tends to Soften		K
	Very Dusty		L
	Aerates and Becomes Fluid		M
	Explosiveness		N
	Stickiness-Adhesion		O
	Contaminable, Affecting Use		P
	Degradable, Affecting Use		Q
	Gives Off Harmful or Toxic Gas or Fumes		R
	Highly Corrosive		S
	Mildly Corrosive		T
	Hygroscopic		U
	Interlocks, Mats or Agglomerates		V
Oils Present		W	
Packs Under Pressure		X	
Very Light and Fluffy — May Be Windswept		Y	
Elevated Temperature		Z	

Fonte: Catalog and Engineering Manual(2020).

De acordo com a figura 34, o óxido de chumbo é classificado como 105A20035LP, e com o auxílio da figura 33, podemos identificar a as propriedades do material. Assim, o óxido possui massa específica aproximada de 105 lb/ft³ (1.681,94 kg/m³), muito fino, possui uma fluidez média, levemente abrasivo, muito empoeirado e contaminável. Com essas informações é possível identificar o fator F (que será utilizado na seção a seguir para definir a potência necessária para realizar o transporte) e o grupo do material, conforme está detalhado na tabela abaixo.

Figura 33 - Código do óxido de chumbo.

MATERIAL	WEIGHT LBS. PER CU.FT.	MATERIAL CLASS	COMPONENT GROUP	H.P. MATERIAL FACTOR F
Lead Carbonate	240-260	250A4035R	2D	1
Lead Ore-1/8"	200-270	235B635	3D	1.4
Lead Ore-1/2"	180-230	205C1/236	3D	1.4
Lead Oxide (Red Lead)-100 Mesh	30-150	90A10035P	2D	1.2
Lead Oxide (Red Lead)-200 Mesh	30-180	105A20035LP	2D	1.2
Lead Sulphide - 100 Mesh	240-260	250A10035R	2D	--

Fonte: Catalog and Engineering Manual (2020).

4.3.6 Determinar a capacidade, o tamanho e a velocidade do transportador

Para calcular a velocidade do transportador(N), tem-se:

$$N = \frac{C_{req}}{C1} \quad (5-1)$$

Para encontrar a C_{req} , será necessário considerar e multiplicar a equação por alguns fatores que podem alterar a capacidade do transportador, assim, a capacidade requerida se torna a capacidade equivalente, sendo,

$$C_{eq} = C_{req} \times C_{f1} \times C_{f2} \times C_{f3}$$

Onde, o fator C_{f3} é utilizado para misturas de materiais, que não se aplica ao projeto. O fator C_{f2} depende do tipo de helicóide utilizado e seu nível de enchimento. O fator C_{f1} , pode ser encontrado através da figura 35 que relaciona o fator C_{f1} ao passo do helicóide.

De acordo com a norma CEMA (2009), é recomendado que o passo do helicóide para transportadores inclinados deve ser menos que o seu diâmetro, utilizando $\frac{2}{3}$ para pequenas inclinações e $\frac{1}{2}$ para maiores inclinações. Para esta aplicação, como temos uma pequena inclinação, teremos um helicóide com passo $\frac{2}{3}$ de seu diâmetro.

Figura 34 – Fator de Capacidade.

SPECIAL SCREW PITCH CAPACITY FACTOR C_{f1}				
PITCH	DESCRIPTION			C_{f1}
Standard (full)	Pitch = Diameter of screw			1.00
Short	Pitch = $\frac{3}{4}$ Diameter of screw			1.50
Half	Pitch = $\frac{1}{2}$ Diameter of screw			2.00
Long	Pitch = $1\frac{1}{2}$ Diameter of screw			0.67
SPECIAL SCREW FLIGHT MODIFICATION CAPACITY FACTOR C_{f2}				
TYPE OF FLIGHT	CONVEYOR LOADING			
	15%	30%	45%	
Standard	1.00	1.00	1.00	
Cut	1.95	1.57	1.43	
Cut & Folded	not rec.	3.75	2.54	
Ribbon	1.04	1.37	1.62	
SPECIAL SCREW MIXING PADDLE CAPACITY FACTOR C_{f3}				
STD PADDLES PER PITCH SET AT 45° REVERSE PITCH				
NONE	1	2	3	4
1.00	1.08	1.16	1.24	1.32

Fonte: Catalog and Engineering Manual (2012).

De acordo com a tabela 35, para um passe curto, temos que $C_{f1} = 1,5$; C_{f2} e C_{f3} são para tipos específicos de helicoide e mistura de materiais, que não se aplica ao projeto. Logo, teremos que:

$$C_{eq} = C_{req} \times C_{f1} \times C_{f2} \times C_{f3}$$

$$C_{eq} = 12000 \times 1,5 \times 1 \times 1 = 18.000 \text{ kg/h}$$

Com isso, a fórmula 5-1 se torna:

$$N = \frac{C_{eq}}{\text{Capacidade de 1rpm}} \quad 5-2$$

Onde, a C_{eq} é a capacidade equivalente.

Uma vez que foi definido a capacidade requerida e o tipo de material, podemos selecionar o diâmetro do helicoide adequado para a aplicação. A figura 36 apresenta a velocidade máxima e a capacidade máxima para o helicoide de acordo com seu diâmetro e a classificação do material.

Figura 35 - Velocidade do Transportador.

Material Class Code	Degree of Trough Loading	Screw Dia. Inch.	Maximum RPM *	Capacity, Cubic Feet Per Hour		
				At Max. RPM	At One RPM	
A-15	45% 	6	165	368	2.23	
A-25		9	155	1,270	8.20	
B-15		12	145	2,820	19.40	
B-25		14	140	4,370	31.20	
C-15		16	130	6,060	46.70	
C-25		18	120	8,120	67.60	
		20	110	10,300	93.70	
		24	100	16,400	164.00	
A-16 D-16		Abrasive Materials 30% B 	6	60	90	1.49
A-26 D-26			9	55	300	5.45
A-36 D-36	12		50	645	12.90	
A-46 D-46	14		50	1,040	20.80	
B-16 E-16	16		45	1,400	31.20	
B-26 E-26	18		45	2,025	45.00	
B-36 E-36	20		40	2,500	62.50	
B-46 E-46	24		40	4,360	109.00	
C-16						
C-26						
C-36						
C-46						

Fonte: Catalog and Engineering Manual(2020).

As dimensões encontradas de acordo com as características do material e capacidade requerida, o Helicoide selecionado foi o de 9 polegadas com um enchimento de 30%, uma vez que atende aos requisitos mencionados na seção 4.3. Suas especificações são detalhadas 1. A rotação de acordo com a fórmula (5-2) será 46 rpm, atendendo a recomendação do manual.

Tabela 1 - Características do Transportador

Diâmetro da Hélice (in)	rpm máximo	Capacidade (ft ³ /h)	
		rpm máximo	Em um rpm
9	55	300	5,45

Fonte: Catalog and Engineering Manual (2020).

Segundo o manual, a potência (hp) necessária para atender aos requisitos do transportador, pode ser encontrada através da equação 5-3 que é dividida em 2 passos. O primeiro passo consiste na fórmula que contempla a potência para superar o atrito e a potência para transportar o material.

$$H = \frac{L \times (D \times S + Q \times F)}{1000000} \quad (5-3)$$

Onde, L é a distância do transportador em pés, D é o coeficiente de fricção que depende do tipo de rolamento a ser utilizado, S é a rotação máxima em rpm, Q é a

vazão requerida em libras por hora e F é o “Horsepower Factor” que depende do tipo de material a ser utilizado.

De acordo com a figura 37, para um diâmetro de 9 polegadas e o rolamento de esferas ou rolos, encontramos o fator D = 32.

Figura 36 – Fator D.

Size of Conveyor, Inches	TYPE OF HANGER BEARINGS			
	Ball or Roller	Wood, Babbitt,	Self-Lubricating	White Iron or Manganese
3	10	15	24	35
4	12	21	33	50
6	18	33	54	80
9	32	54	96	130
10	38	66	114	160
12	55	98	171	250
14	78	135	255	350
16	106	186	336	480
18	140	240	414	600
20	165	285	510	700
24	230	390	690	950

Fonte: Catalog and Engineering Manual (2020).

Uma vez tendo a densidade do óxido de chumbo e a capacidade de 1 rpm encontrada na tabela 1, temos que S = 46 RPM. Por fim, F é o coeficiente encontrado na figura 34, F = 1,2. Desse modo, substituindo na equação 5-3, temos:

$$H = \frac{14,44 \times (32 \times 46 + 39683,2 \times 1,2)}{1000000} = 0,71$$

O 2º passo é multiplicar a potência (H) encontrada, por um fator P, onde P segue os critérios abaixo:

- P = 2 quando H for menor que 1
- P = 1.5 quando H for entre 1 e 2
- P = 1.25 quando H for entre 2 e 4
- P = 1.1 quando H for entre 4 e 5
- P = 1 quando H for maior que 5

Logo,

$$H_{\text{corrigida}} = 0,71 \times P = 0,71 \times 2 = 1,42$$

Ainda segundo o manual, será necessária uma potência adicional para arrancar sob carga, ultrapassar cargas de estrangulamento ou outras condições irregulares e existe também uma perda de potência através da máquina de acionamento de 10% a

15%. Para compensar estes fatores, a fórmula para a potência necessária do motor é dividida por 0,90. Logo, $H_{\text{corrigida}} = 1,58 \text{ hp}$

Uma vez que o transportador é inclinado, também é necessário adicionar a parcela de potência para vencer a inclinação. Sabendo que a altura de elevação da rosca é de 839,56 mm, segundo Spivakovsky(1965), podemos calcular a potência através da fórmula:

$$P_{\text{inc}}(\text{KW}) = \frac{Q \times h}{367} = \frac{18 \times 0,84}{367} = 0,04\text{KW} = 0,05\text{hp} \quad (5-4)$$

Onde, Q é a capacidade equivalente em ton/h e h a altura de elevação em metros conforme foi apresentado na figura 27.

Assim, a potência total para o transportador será:

$$H_{\text{corrigida}} + P_{\text{inc}} = 1,58 + 0,05 = 1,63\text{hp}$$

Com isso, será selecionado um motorreductor de 1,97HP e 46 RPM para essa aplicação. Para isso, foi utilizado o catálogo da SEW Eurodrive, em que foi selecionado o motorreductor FA47/GDRN90SP4 com uma potência 1,5 KW, uma redução de 36,61 e 48 RPM. No anexo A, pode-se consultar maiores detalhes técnicos do motorreductor.

Figura 37 – Motorreductor FA47/GDRN90SP4.



Denominação	Classe de rendimento	P [kW]	na [1/min]	Ma [Nm]	i	fB	nMot [1/min]	Fator de duração do ciclo	PLCM
FA47DRN90SP4	IR3	1,5	41	345	42,86	1,15	1753	S1-100%	
FA47DRN90SP4	IR3	1,5	48	295	36,61	1,35	1753	S1-100%	
FA47DRN90SP4	IR3	1,5	37	390	48	1,05	1753	S1-100%	
FA47DRN90SP4	IR3	1,5	52	280	34,29	1,45	1753	S1-100%	
FA57DRN90SP4	IR3	1,5	40	365	44,73	1,85	1753	S1-100%	
FA57DRN90SP4	IR3	1,5	46	310	38,21	1,95	1753	S1-100%	
FA57DRN90SP4	IR3	1,5	52	280	34,24	1,8	1753	S1-100%	
FA37DRN90SP4	IR3	1,5	63	230	28,09	0,9	1753	S1-100%	
FA47DRN90SP4	IR3	1,5	57	250	30,86	1,6	1753	S1-100%	
FA57DRN90SP4	IR3	1,5	49	290	35,79	2,1	1753	S1-100%	

Fonte: SEW Eurodrive Catalogue

Encontrando a potência necessária e o motorreductor que será utilizado, podemos especificar as características do tubo interno que será utilizado no helicóide. De acordo com o manual, a figura 39 relaciona a potência máxima que será entregue com o diâmetro do tubo e do helicóide.

Figura 38 - Diâmetro do tubo.

Size of Conveyor, Inches	Pipe Size Inches	Coupling Dia.	Max, HP @125 RPM	Max, HP @100 RPM	Max, HP @ 75 RPM	Max, HP @ 50 RPM
6, 9, and 10	2.0	1 1/2	6.25	5.0	3.75	2.5
9, 10, and 12	2.5	2.0	15.0	12.0	9.0	6.0
12 and 14	3.0	2 7/16	18.75	15.0	11.25	7.5
12,14,16, 18 and 20	3.5	3.0	30.75	24.6	18.50	12.3
20 and 24	4.0	3 7/16	43.75	35.0	26.25	17.5

Fonte: Catalog and Engineering Manual(2020).

Com isso, o tubo que atende as especificações é com o diâmetro $D_T = 2$ polegadas com uma ponta de eixo de 1.1/2 polegadas.

4.4 Seleção do mancal, rolamento e acoplamento

A ponta de eixo dimensionada possui 1 1/2" (38,1 mm) de diâmetro, com isso, o rolamento que se adequa a aplicação desejada é o UC-208-24 da BRM que possui o diâmetro interno de 1 1/2" (Anexo D), logo, o mancal utilizado será o SF-40 (Anexo F).

O acoplamento selecionado para aplicação foi o D-TORQ D – 04 que permite furos de até 42 mm, conforme apresentado no Anexo C.

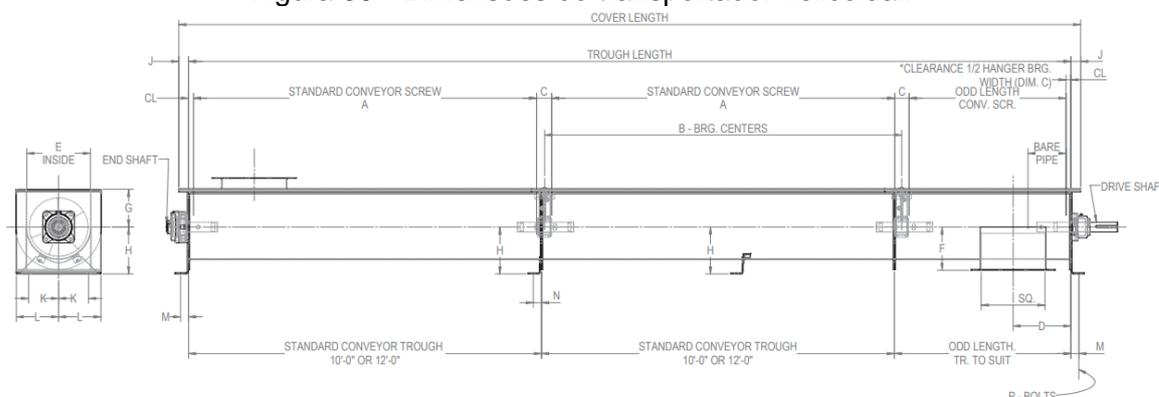
5 Resultados e Discursões

Nesta seção, serão apresentados os detalhes do projeto, revelando os desenhos e a arquitetura final do transportador helicoidal contínuo. Esses elementos são essenciais para a compreensão abrangente do projeto e fornecerão uma visão clara das dimensões, especificações e componentes do sistema. O objetivo é oferecer uma representação visual completa do resultado do trabalho, permitindo uma análise aprofundada e a possível replicação do projeto em futuras aplicações industriais.

Nesta etapa, é crucial verificar as interferências e o correto dimensionamento dos equipamentos, de modo que as roscas de saída dos silos entreguem com precisão no transportador principal.

De acordo com o manual, as tabelas 40 e 41 apresentam as dimensões recomendadas para cada componente do transportador selecionado.

Figura 39 - Dimensões do transportador helicoidal.



Fonte: Catalog and Engineering Manual(2020).

Figura 40 - Dimensões e espaçamentos recomendados para os componentes.

Conveyor Diameter Inches	Shaft and Coupling Diameter	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P
6	1 1/2	9' 10"	10' 0"	2	6	7	5	4 1/2	5 5/8	1 1/2	4 1/16	4 7/8	1	7/8	3/8
9	1 1/2	9' 10"	10' 0"	2	8	10	7 1/8	6 1/8	7 7/8	1 5/8	4 11/16	6 3/4	1 1/2	1 5/16	1/2
	2	9' 10"	10' 0"	2	8	10	7 1/8	6 1/8	7 7/8	1 5/8	4 11/16	6 3/4	1 1/2	1 5/16	1/2
10	1 1/2	9' 10"	10' 0"	2	9	11	7 1/8	6 3/8	8 7/8	1 3/4	4 3/4	7 1/4	1 3/4	1 9/16	1/2
	2	9' 10"	10' 0"	2	9	11	7 1/8	6 3/8	8 7/8	1 3/4	4 3/4	7 1/4	1 3/4	1 9/16	1/2
12	2	11' 10"	12' 0"	2	10 1/2	13	8 7/8	7 3/4	9 5/8	2	6 1/8	8 5/8	1 5/8	1 3/8	5/8
	2 7/16	11' 9"	12' 0"	3	10 1/2	13	8 7/8	7 3/4	9 5/8	2	6 1/8	8 5/8	1 5/8	1 3/8	5/8
	3	11' 9"	12' 0"	3	10 1/2	13	8 7/8	7 3/4	9 5/8	2	6 1/8	8 5/8	1 5/8	1 3/8	5/8
14	2 7/16	11' 9"	12' 0"	3	11 1/2	15	10 1/8	9 1/4	10 7/8	2	6 3/4	9 5/8	1 5/8	1 3/8	5/8
	3	11' 9"	12' 0"	3	11 1/2	15	10 1/8	9 1/4	10 7/8	2	6 3/4	9 5/8	1 5/8	1 3/8	5/8
16	3	11' 9"	12' 0"	3	13 1/2	17	11 1/8	10 5/8	12	2 1/2	7 7/16	10 5/8	2	1 3/4	5/8
18	3	11' 9"	12' 0"	3	14 1/2	19	12 3/8	12 1/8	13 3/8	2 1/2	8	12 1/8	2	1 3/4	5/8
	3 7/16	11' 8"	12' 0"	4	14 1/2	19	12 3/8	12 1/8	13 3/8	2 1/2	8	12 1/8	2	1 3/4	5/8
20	3	11' 9"	12' 0"	3	15 1/2	21	13 3/8	13 1/2	15	2 1/2	9 5/8	13 1/8	2 1/4	2	3/4
	3 7/16	11' 8"	12' 0"	4	15 1/2	21	13 3/8	13 1/2	15	2 1/2	9 5/8	13 1/8	2 1/4	2	3/4
24	3 7/16	11' 8"	12' 0"	4	17 1/2	25	15 3/8	16 1/2	18 1/8	2 1/2	10	15 1/8	2 1/2	2 1/4	3/4

Fonte: Catalog and Engineering Manual (2020).

A tabela abaixo apresenta os dados principais do transportador do projeto.

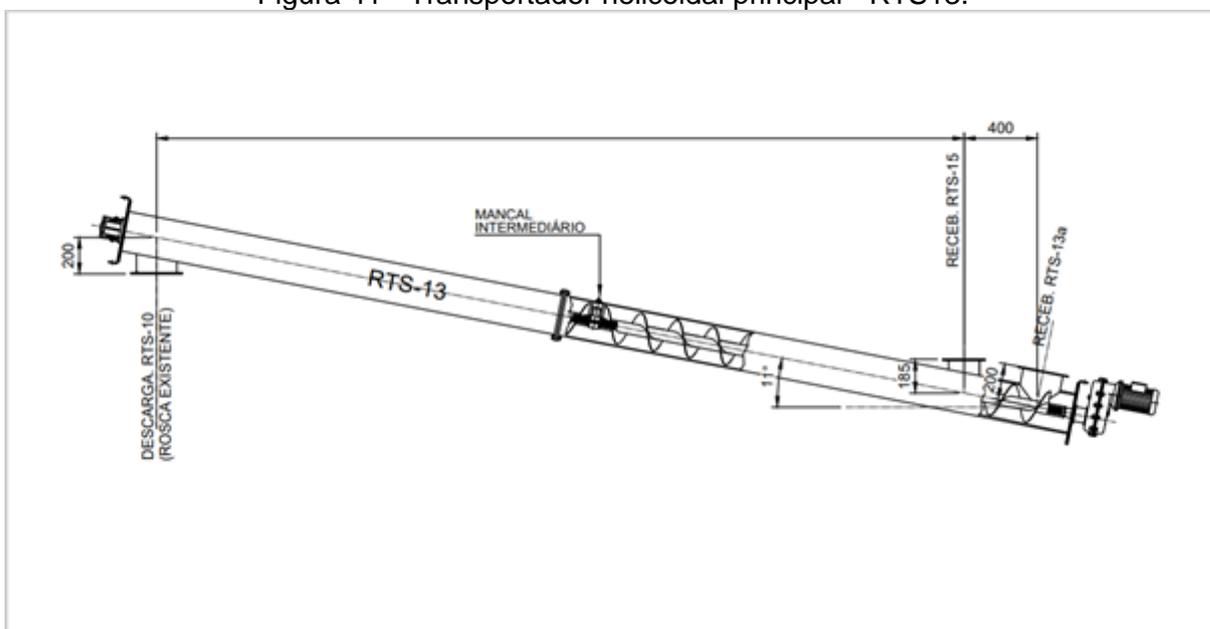
Tabela 2 - Dados principais do transportador projetado

Característica	Dimensão	Valor
Diâmetro do Helicoide (pol)	In	9
Diâmetro externo do eixo	In	2
Passo da hélice	In	6
Comprimento do transportador	m	4,4
Capacidade	ton/h	12
Potência do motor	HP	1,97

Fonte: Autor (2023)

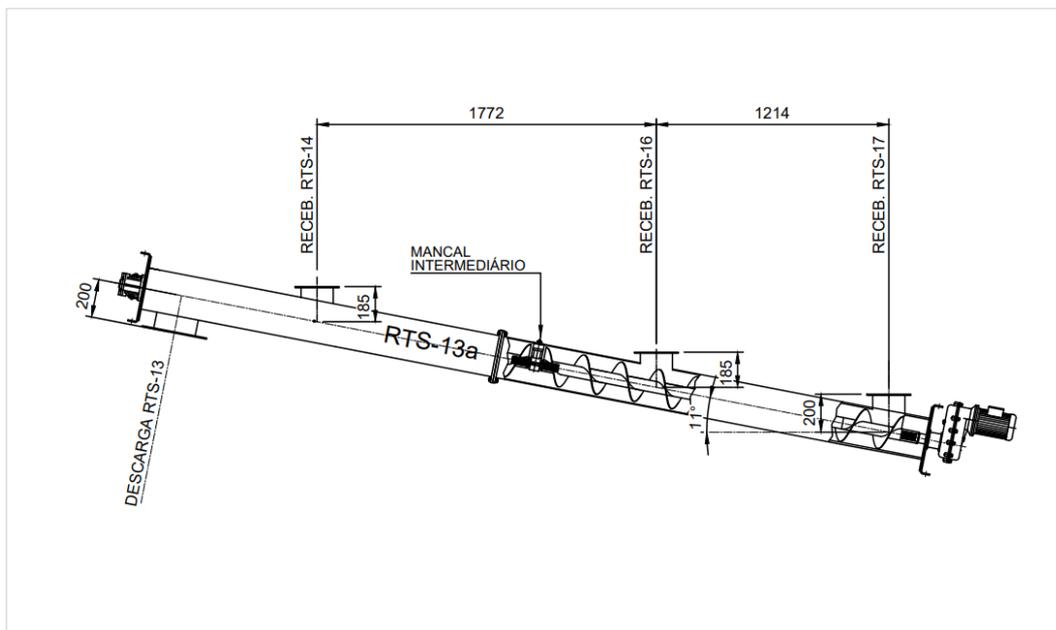
Com todas as peças definidas, foi possível realizar uma montagem virtual do equipamento utilizando o software AutoCAD®.

Figura 41 - Transportador helicoidal principal - RTS13.



Fonte: Autor (2023)

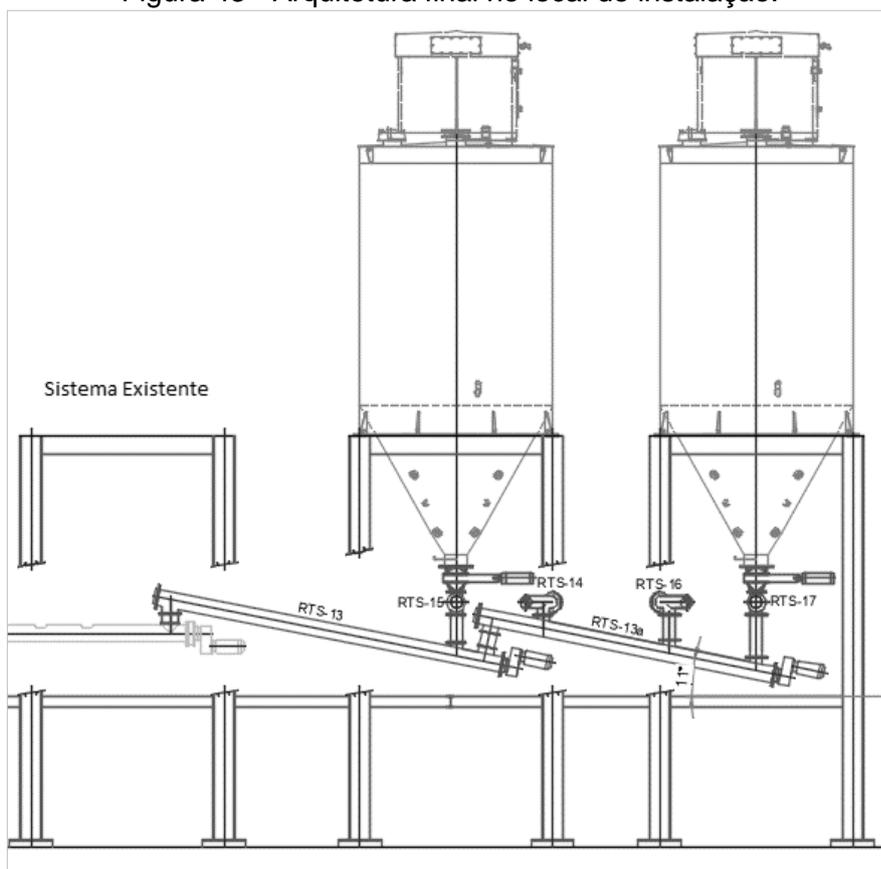
Figura 42 - Transportador helicoidal principal - RTS13a.



Fonte: Autor (2023)

A figura 44 ilustra o arranjo dos transportadores, a montagem dos equipamentos e a arquitetura final do projeto.

Figura 43 - Arquitetura final no local de instalação.



Fonte: Autor (2023).

6 Conclusão

Em conclusão, este trabalho representou um esforço significativo na concepção e implementação de um transportador helicoidal contínuo destinado à indústria de baterias, com uma capacidade de transporte de 12 toneladas por hora. Com o projeto, será possível seguir com as etapas de orçamentação para o fornecimento do material e serviço mecânico de instalação do arranjo de transportadores, assim como definir as variáveis que estavam pendentes para dimensionar a instalação elétrica e de automação do sistema uma vez que ainda não estavam definidos. O projeto abordou com sucesso o desafio de direcionar o óxido de chumbo de maneira eficaz e segura, preenchendo uma lacuna crítica no sistema de produção. Ao seguir as recomendações do manual, aderir a padrões de engenharia e aos requisitos solicitados, o transportador foi dimensionado e selecionado, bem como seus componentes como rolamento, mancal e acoplamento, demonstrando sua viabilidade técnica. Também foram dimensionadas as válvulas guilhotinas adequadas para a aplicação e as transições para realizar as conexões com os silos. A entrega de desenhos detalhados para fabricação fornece um guia prático para a implementação do transportador. Portanto, este trabalho contribui para a indústria de baterias, facilitando a continuidade da produção e aprimorando a eficiência do processo de transporte de óxido de chumbo. À medida que avançamos, é evidente que a engenharia desempenha um papel vital na resolução de desafios industriais complexos, e este projeto é um exemplo concreto desse comprometimento.

REFERÊNCIAS

ACOPLAST. **Catálogo de acoplamentos Acoplast.** Disponível em < <https://www.acoplastbrasil.com.br/wp-content/uploads/2018/05/Catalogo-Acoplast-D-TORQ-ed.2014.pdf> > Acesso em 09 de agosto de 2023.

ASSARANI, G. **Problemas em sistemas particulados.** São Paulo: Edgard Blücher, 1984.

SILVA, Deodoro Ribeiro da. **Transporte pneumático: Tecnologia, projetos e aplicações na indústria e nos serviços.** São Paulo: Artliber Ltda, 2005.

CEMA. 2009. CEMA Standard No.300. **Conveyor Equipment Manufactures Association.** Naples, Florida, Estados Unidos da América: s.n., 2009.

BRASIL, H. V. **Máquinas de Levantamento.** Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois S.A. 1985.

CHANSELME, Jean Luc. Transporte de matérias na algodoeira. In: CHANSELME, Jean Luc. **Transporte de Matérias.** Cascavel: Cotimes do Brasil, 2014. p. 171-295

DYNAMIC AIR®. **Sistemas e componentes para transportes pneumáticos.** São Paulo. Disponível em: < <http://www.dynamicair.com.br/> >

GOMIDE, R. **Operações unitárias: Operações com sistemas sólidos granulares.** 1. ed. São Paulo: R. Gomide, 1983.

LEITE, P. **Concepção analítica de tubo de perfuração helicoidal para condições de perfuração do pré-sal.** 74. f. Monografia (Graduação) – Curso do Engenharia de Petróleo, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2020

ROLMAX. **Catálogo de mancais Rolmax.** Disponível em < https://www.disnarol.com.br/media/arquivos/Rolamentos-de-esfera-rolmax_1.pdf > Acesso em 09 de agosto de 2023.

ANDRIOLLI, R. **PROJETO DE UM TRANSPORTADOR HELICOIDAL APLICADO A UMA INDÚSTRIA DE BIODIESEL.** 88. f. Monografia (Graduação) – Curso do Engenharia mecânica, Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis, 2016

RUDENKO, N. **Máquinas de Elevação e Transporte.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, Editora S.A. Tradutor: João Plaza. 1976.

SACRAMENTO, Cristiano do et al. **Projeto e Construção de um Transportador Helicoidal.** Salvador: Ufba, 2003.

SOARES, v. **Projeto preliminar de transportador helicoidal aplicado à indústria salineira de Mossoró e região.** 47. f. Monografia (Graduação) – Curso do Engenharia Mecânica, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2019

SACRAMENTO, Roberto. **Transportadores contínuos para grânéis sólidos**. Apostila UFBA Universidade Federal da Bahia, 2015.

SCREW CONVEYOR CORPORATION. **Screw Conveyor Catalog & Engineering Manual** nº 787E, 2010.

SCREW CONVEYOR CORPORATION. **Screw Conveyor Catalog & Engineering Manual**, 2020.

SEW. **Catálogo de motoredutores SEW Eurodrive**.

BRM. **Catálogo de de rolamentos BRM**. Disponível em < http://www.brm.com.br/smart/modulos/catalogo/arquivos/catalogo-brm_8-30.pdf > Acesso em 29 de setembro de 2023.

RA ECONOMIA. **Nestlé promete aumentar produção**. Disponível em < <http://www.redeangola.info/nestle-promete-aumentar-producao/> > Acesso em 20 de setembro de 2023.

WAN. **Catálogo de Válvulas WAN**. Disponível em < <https://wamgroup.com.br/pt-BR/WAMBR/Family/378/Valvulas-Guilhotina> >

[ILZSG] INTERNATIONAL LEAD ZINC STUDY GROUP. 2023 **Statistics**. Disponível em: <www.ilzsg.org/>. Acesso em: 11 de novembro 2023.

EN, L. R. **Operações unitárias para químicos, farmacêuticos e engenheiros**: fundamentos e operações unitárias do escoamento de fluidos.

PARAFUSO DE ARQUIMEDES: Site. 2023. Disponível em: < <https://fisica.netspa.com.br/2017/02/13/002-aplicacoes-da-fisica/> > Acesso em 11 de novembro de 2023.

Spivakovsky, Dyachkov **Conveyors and related equipment**, 1965.

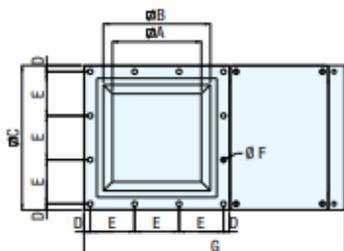
PAOLIELLO, M. M. B.; DE CAPITANI, E. M.; CUNHA, F. G.; MATSUO, T.; CARVALHO, M. F.; SAKUMA, A.; FIGUEIREDO, B. R. **Exposure to lead and cadmium of children from a mining area of Brazil**. Campinas, 2001.

Anexo A – Especificações da Válvula Guilhotina

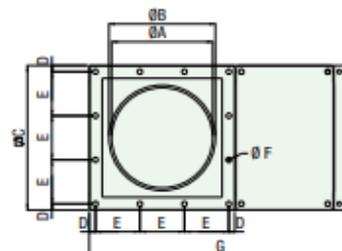
Figura 44 - Especificações da Válvula Guilhotina

Overall Dimensions

VLQ - SQUARE CROSS SECTION

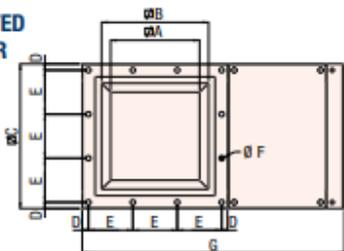


VLC - CIRCULAR CROSS SECTION

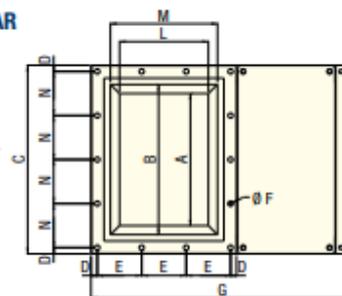


VLS - WITH INTEGRATED PNEUMATIC CYLINDER

Lowest possible overall dimensions!



VLR - RECTANGULAR CROSS SECTION



TYPE	A	B	C	D	E	E Nr	Ø F	BOLTS	G	H	kg
VLQ0150..	120	175	261	15	115	2	12	M10	455	113	14.0
VLQ0200..	170	225	311	15	93	3	12	M10	555	113	18.0
VLQ0250..	220	275	361	15	110	3	12	M10	650	113	22.0
VLQ0300..	270	325	431	23	128	3	12	M10	765	113	30.0
VLQ0350..	320	375	481	18	89	5	12	M10	900	125	40.0
VLQ0400..	370	425	531	15	100	5	12	M10	1.000	125	46.0
VLC0150..	150	165	261	15	115	2	12	M10	455	113	14.0
VLC0200..	200	215	311	15	93	3	12	M10	555	113	18.0
VLC0250..	250	265	361	15	110	3	12	M10	650	113	22.0
VLC0300..	300	315	431	23	128	3	12	M10	765	113	30.0
VLC0350..	350	365	481	18	89	5	12	M10	900	125	40.0
VLC0400..	400	415	531	15	100	5	12	M10	1.000	125	46.0
VLS0150..	120	175	261	15	115	2	12	M10	455	113	16.5
VLS0200..	170	225	311	15	93	3	12	M10	555	113	21.0
VLS0250..	220	275	361	15	110	3	12	M10	650	113	25.5
VLS0300..	270	325	431	23	128	3	12	M10	765	113	34.0

TYPE	A	B	C	D	E	E Nr	Ø F	BOLTS	G	H	L	M	N	N Nr	kg
VLR0150..*	204	260	346	15.5	115	2	12	M10	455	109	119	175	105	3	18
VLR0200..*	281	337	423	15	93	3	12	M10	555	109	169	225	98	4	25
VLR0250..*	353	409	495	15	110	3	12	M10	650	109	219	275	116	4	30
VLR0300..	428	484	592	23	128	3	12	M10	765	109	269	325	136	4	40

↑₁=mild steel / 3 = 304 stainless steel

* not yet available

Dimensions in mm

Fonte: O autor (2023)

Anexo B – Catálogo Motorreductor SEW

Figura 45 - Especificações técnicas do motorreductor

Search

Requested type designation:

Gear unit design:

Motor type:

Country of use:

Motor power P [kW] / Torque Ma [Nm]: ± / ±

Output speed na [1/min] / Gear ratio i: ± / ±

Service factor fB:

International efficiency class (IE):

Number of poles:

Duration factor:

Adapter between gear unit and motor:

Especially low output speeds:

Frequency inverter operation



Search results

Designation	Efficiency class	P [kW]	na [1/min]	Ma [Nm]	i	fB	nMot [1/min]	Cyclic duration factor	PLCM
FA47DRN90SP4	IR3	1,5	41	345	42,86	1,15	1753	S1-100%	
FA47DRN90SP4	IR3	1,5	48	295	36,61	1,35	1753	S1-100%	
FA47DRN90SP4	IR3	1,5	37	390	48	1,05	1753	S1-100%	
FA47DRN90SP4	IR3	1,5	52	280	34,29	1,45	1753	S1-100%	
FA57DRN90SP4	IR3	1,5	40	365	44,73	1,65	1753	S1-100%	
FA57DRN90SP4	IR3	1,5	46	310	38,21	1,95	1753	S1-100%	
FA57DRN90SP4	IR3	1,5	52	280	34,24	1,8	1753	S1-100%	
FA37DRN90SP4	IR3	1,5	63	230	28,09	0,9	1753	S1-100%	
FA47DRN90SP4	IR3	1,5	57	250	30,86	1,6	1753	S1-100%	
FA57DRN90SP4	IR3	1,5	49	290	35,79	2,1	1753	S1-100%	
FA47DRN90SP4	IR3	1,5	60	240	29,32	1,7	1753	S1-100%	
FA47DRN90SP4	IR3	1,5	61	235	28,88	1,7	1753	S1-100%	
FA57DRN100LM4	IR3	2,2	46	465	38,21	1,3	1762	S1-100%	
FA67DRN90SP4	IR3	1,5	41	350	43,2	2,3	1753	S1-100%	
FA67DRN90SP4	IR3	1,5	45	320	39,26	2,5	1753	S1-100%	
FA47DRN100LM4	IR3	2,2	46	435	36,61	0,9	1762	S1-100%	
FA57DRN100LM4	IR3	2,2	39	535	44,73	1,1	1762	S1-100%	
FA47DRN100LM4	IR3	2,2	51	410	34,29	1	1762	S1-100%	
FA57DRN100LM4	IR3	2,2	49	425	35,79	1,4	1762	S1-100%	
FA57DRN90SP4	IR3	1,5	59	245	29,94	2,3	1753	S1-100%	
FA67DRN100LM4	IR3	2,2	45	470	39,26	1,65	1762	S1-100%	
FA67DRN90SP4	IR3	1,5	49	295	36,3	2,8	1753	S1-100%	
FA67DRN90SP4	IR3	1,5	52	275	34,01	2,7	1753	S1-100%	

Fonte: O autor (2023)

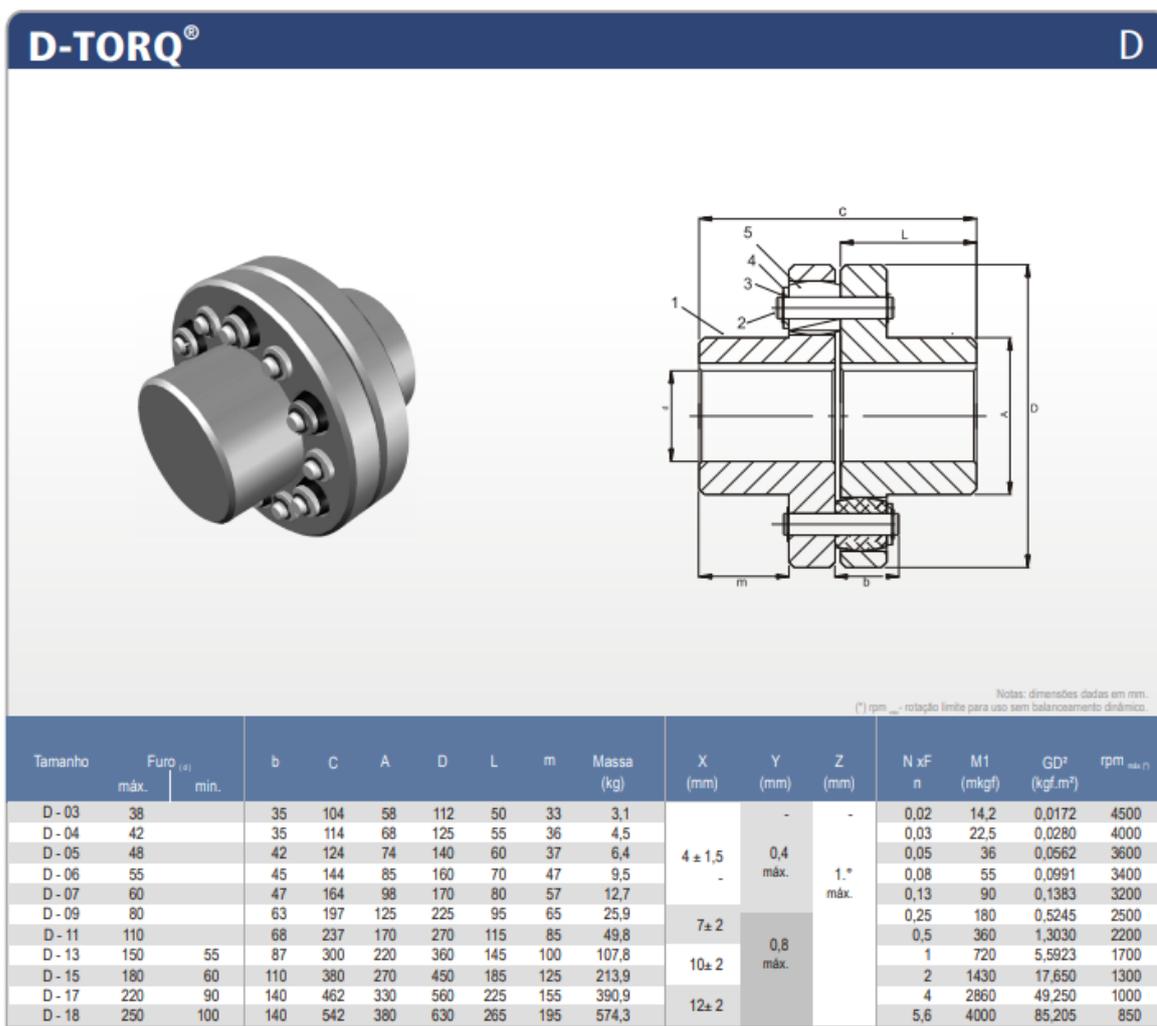
Anexo C – Catálogo Acoplast Brasil

Figura 46 - Especificações técnicas do Acoplamento

ACOPLAST
BRASIL



www.acoplast.com.br



Fonte: O autor (2023)

Anexo D – Catálogo BRM

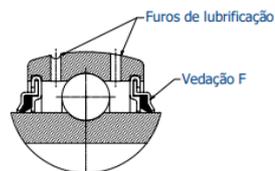
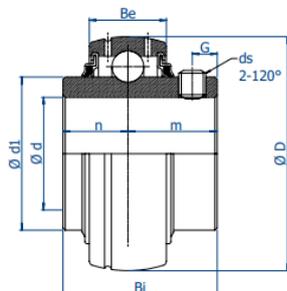
Figura 47 - Especificações técnicas do Rolamento



UC 200

Rolamento **ESFÉRICO**
Fixação por **PARAFUSOS**
Serviço **NORMAL**

BRM

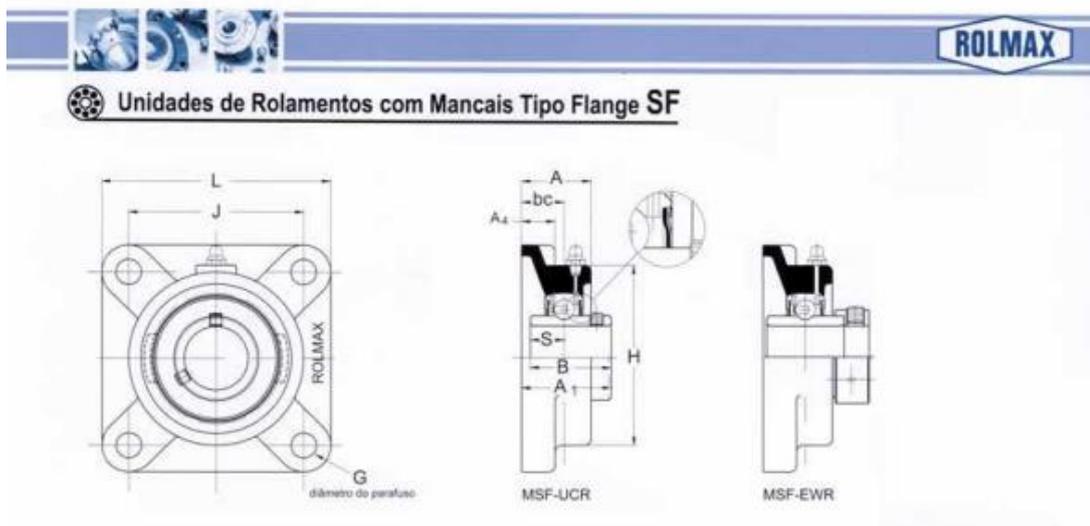


Ø Eixo mm pol.	Rolamento	Dimensões (mm)							ds (mm) (UNF)	Carga (Kg)		Peso (Kg)
		D	d1	Bi	n	m	Be	G		dinâmica Cr	estática Cor	
12 1/2	UC 201 UC 201-08	47,0	29,0	31,0	12,7	18,3	16,0	4,7	M5x0,8 1/4-28	1310	680	0,2
15 5/8	UC 202 UC 202-10	47,0	29,0	31,0	12,7	18,3	16,0	4,7	M5x0,8 1/4-28	1310	680	0,1
17	UC 203	47,0	29,0	31,0	12,7	18,3	16,0	4,7	M5x0,8 1/4-28	1310	680	0,15
3/4 20	UC 204-12 UC 204	47,0	29,0	31,0	12,7	18,3	16,0	4,7	M6x1 1/4-28	1310	680	0,2
7/8 15/16	UC 205-14 UC 205-15	52,0	34,0	34,0	14,3	19,7	17,0	5,5	M6x1 1/4-28	1430	800	0,2
25 1	UC 205 UC 205-16											
1-1/16 1-1/8	UC 206-17 UC 206-18	62,0	40,5	38,1	15,9	22,2	19,0	5,5	M6x1 1/4-28	2000	1140	0,3
30 1-3/16 1-1/4	UC 206 UC 206-19 UC 206-20											
1-3/16 1-1/4 1-5/16 1-3/8	UC 207-19 UC 207-20 UC 207-21 UC 207-22	72,0	48,0	42,9	17,5	25,4	20,0	6,4	M8x1 5/16-24	2640	1550	0,5
35 1-7/16	UC 207 UC 207-23											
1-1/2 1-9/16	UC 208-24 UC 208-25	80,0	53,0	49,2	19,0	30,2	21,0	8,0	M8x1 5/16-24	2990	1860	0,65
40	UC 208											
1-5/8 1-11/16 1-3/4	UC 209-26 UC 209-27 UC 209-28	85,0	57,0	49,2	19,0	30,2	22,0	8,0	M8x1 5/16-24	3350	2120	0,7
45	UC 209											
1-13/16 1-7/8 1-15/16	UC 210-29 UC 210-30 UC 210-31	90,0	62,0	51,6	19,0	32,6	23,0	9,0	M10x1,25 3/8-24	3600	2370	0,8
50 2	UC 210 UC 210-32											
2 2-1/8 2-3/16	UC 211-32 UC 211-34 UC 211-35	100,0	69,0	55,6	22,2	33,4	25,0	9,0	M10x1,25 3/8-24	4400	2980	1,15
55	UC 211											
2-1/4 2-5/16 2-7/16	UC 212-36 UC 212-37 UC 212-39	110,0	75,0	65,1	25,4	39,7	27,0	10,5	M10x1,25 3/8-24	5350	3350	1,55
60	UC 212											
2-7/16 2-1/2	UC 213-39 UC 213-40	120,0	82,0	65,1	25,4	39,7	28,0	12,0	M10x1,25 3/8-24	5850	4080	1,75
65	UC 213											

Fonte: O autor (2023)

Anexo E – Catálogo Rolmax

Figura 48 - Especificações técnicas do mancal



Diâmetro do eixo		Conjunto	Dimensões em milímetros e polegadas										Mancal	Rolamento Base	Peso kg Médio	
mm	polegada		L	J	H	A ₁	A	A ₂	B	S	G	bc				
20	-	SF-20	86	64	56	33,26	25,5	12	30,96	12,70	10	15		F-2	UCR-204	0,49
-	3/4	SF-3/4	3.386	2.519	2.204	1.309	1.003	0.472	1.219	0.500	3/8	0.590				
25	-	SF-25	95	70	62,5	35,84	27	14	34,11	14,27	10	16		F-3	UCR-205	0,66
-	7/8	SF-7/8	3.740	2.756	2.460	1.411	1.062	0.551	1.343	0.562	3/8	0.630				
-	1	SF-1														
30	-	SF-30	106	83	74	40,22	31	14	38,10	15,88	10	18		F-4	UCR-206	0,95
-	1.1/8	SF-1.1/8	4.252	3.267	2.913	1.583	1.220	0.551	1.500	0.625	3/8	0.708				
-	1.3/16	SF-1.3/16														
-	1.1/4	SF-1.1/4														
35	-	SF-35	117,50	92	84,5	44,40	34	16	42,88	17,48	12	19		F-5	UCR-207	1,24
-	1.3/8	SF-1.3/8	4.626	3.622	3.326	1.748	1.338	0.629	1.688	0.688	1/2	0.748				
-	1.7/16	SF-1.7/16														
40	-	SF-40	130	102	94	51,18	36	16	49,23	19,05	14	21		F-6	UCR-208	1,57
-	1.1/2	SF-1.1/2	5.118	4.015	3.700	2.015	1.147	0.630	1.938	0.750	9/16	0.826				
45	-	SF-45	136,50	105	97	52,18	38	18	49,23	19,05	14	22		F-7	UCR-209	1,79
-	1.3/4	SF-1.3/4	5.374	4.134	3.818	2.054	1.496	0.708	1.938	0.750	9/16	0.866				
50	-	SF-50	143	111	105	55,09	40	18	51,59	18,5	14	22		F-8	UCR-210	2,08
-	1.15/16	SF-1.15/16	5.630	4.370	4.133	2.168	1.574	0.708	2.031	0.728	9/16	0.866				
-	2	SF-2														
55	-	SF-55	162	130	120,5	58,75	43	20	55,55	21,8	16	25		F-9	UCR-211	2,85
-			6.378	5.120	4.744	2.312	1.692	0.787	2.187	0.858	5/8	0.984				
60	-	SF-60	174,50	143	131	69,27	48	20	65,07	24,8	16	29		F-10	UCR-212	3,65
-	2.1/4	SF-2.1/4	6.870	5.630	5.157	2.727	1.890	0.787	2.562	0.976	5/8	1.141				
-	2.7/16	SF-2.7/16														
70	-	SF-70	193	152	145	75,7	54	24	75	30,3	16	31		F-11	UCR-214	5,06
-			7.598	5.984	5.708	2.980	2.125	0.944	2.952	1.192	5/8	1.220				
75	-	SF-75	200	159	151	78,42	56	24	77,77	33,35	16	34		F-12	UCR-215	5,58
-			7.874	6.259	5.944	3.087	2.204	0.944	3.061	1.313	5/8	1.338				
80	-	SF-80	208	165	163	83,65	58	24	83	33,35	20	34		F-13	UCR-216	6,37
-			8.188	6.496	6.417	3.293	2.283	0.944	3.267	1.313	3/4	1.338				
85	-	SF-85	220	175	172	88,22	63	26	85,72	33,5	20	36		F-14	UCR-217	8,05
-			8.661	6.889	6.771	3.473	2.480	1.023	3.374	1.318	3/4	1.417				

Fonte: O autor (2023)

Anexo F – Cronograma

Figura 49 - Cronograma

Modo da	Nome da Tarefa	% concluída	Duração	Início	Término	Início real	Término real	Predecessor
✓	PROJETO EXECUTIVO - SISTEMA DE ROSCAS DOS SILOS	100%	97 dias	Qui 02/02/23	Qui 22/06/23	Qui 02/02/23	Qui 22/06/23	
✓	↳ INICIAÇÃO	100%	8 dias	Qui 02/02/23	Seg 13/02/23	Qui 02/02/23	Seg 13/02/23	
✓	↳ TERMO DE ABERTURA	100%	2 dias	Qui 02/02/23	Sáb 04/02/23	Qui 02/02/23	Sáb 04/02/23	
✓	↳ REUNIÃO DE KICK-OFF	100%	1 dia	Seg 06/02/23	Seg 06/02/23	Seg 06/02/23	Seg 06/02/23	
✓	↳ PROJETO CONCEITUAL	100%	5 dias	Ter 07/02/23	Seg 13/02/23	Ter 07/02/23	Seg 13/02/23	
✓	↳ PLANEJAMENTO	100%	6 dias	Qua 22/03/23	Qua 29/03/23	Qua 22/03/23	Qua 29/03/23	
✓	↳ REQUISITOS	100%	3 dias	Qua 22/03/23	Sex 24/03/23	Qua 22/03/23	Sex 24/03/23	
✓	↳ MEDIÇÕES NA ÁREA	100%	3 dias	Seg 27/03/23	Qua 29/03/23	Seg 27/03/23	Qua 29/03/23	
✓	↳ EXECUÇÃO	100%	57 dias	Qua 29/03/23	Sex 16/06/23	Qua 29/03/23	Sex 16/06/23	
✓	↳ DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	100%	42 dias	Qua 29/03/23	Dom 28/05/23	Qua 29/03/23	Dom 28/05/23	
✓	↳ ELABORAÇÃO DA PLANILHA ORÇAMENTÁRIA	100%	15 dias	Seg 29/05/23	Sex 16/06/23	Seg 29/05/23	Sex 16/06/23	
✓	Projeto entregue	100%	0 dias	Sex 16/06/23	Sex 16/06/23	Sex 16/06/23	Sex 16/06/23	17;15
✓	↳ ENCERRAMENTO	100%	4 dias	Seg 19/06/23	Qui 22/06/23	Seg 19/06/23	Qui 22/06/23	
✓	↳ LIÇÕES APRENDIDAS	100%	1 dia	Seg 19/06/23	Seg 19/06/23	Seg 19/06/23	Seg 19/06/23	
✓	↳ TERMO DE ENCERRAMENTO	100%	2 dias	Ter 20/06/23	Qua 21/06/23	Ter 20/06/23	Qua 21/06/23	
✓	↳ PESQUISA DE SATISFAÇÃO	100%	1 dia	Qui 22/06/23	Qui 22/06/23	Qui 22/06/23	Qui 22/06/23	

Fonte: O autor (2023)