

UNESP

Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

DANIEL CARDOSO CARNIZELLO

TRANSPORTADOR DE CORREIA:

COMPONENTES E CÁLCULOS BÁSICOS PARA SEU DIMENSIONAMENTO

**Guaratinguetá
2011**

DANIEL CARDOSO CARNIZELLO

**TRANSPORTADOR DE CORREIA:
COMPONENTES E CÁLCULOS BÁSICOS PARA SEU DIMENSIONAMENTO**

Trabalho de Graduação
apresentado ao Conselho de
Curso de Graduação em
Engenharia Mecânica da
Faculdade de Engenharia do
Campus de Guaratinguetá,
Universidade Estadual
Paulista, como parte dos
requisitos para obtenção do
diploma de Graduação em
Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Fernando de Azevedo Silva

Guaratinguetá
2011

C289t	<p>Carnizello, Daniel Cardoso</p> <p>Transportador de correia: componentes e cálculos básicos para seu dimensionamento / Daniel Cardoso Carnizello. - Guaratinguetá: [s.n.], 2011</p> <p>64 f.: il.</p> <p>Bibliografia: f. 63-64</p> <p>Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Fernando de Azevedo Silva</p> <p>1. Transportes – Minério de ferro I. Título</p> <p>CDU 629.7</p>
-------	---



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

TRANSPORTADOR DE CORREIA:
COMPONENTES E CÁLCULOS BÁSICOS PARA SEU DIMENSIONAMENTO

DANIEL CARDOSO CARNIZELLO

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. Mauro Hugo Mathias
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Fernando de Azevedo Silva
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. João Langrandi Filho
UNESP-FEG


Eng.º Victor Gomes Soares de Souza
UNESP/FEG

Dezembro de 2011

DADOS CURRICULARES

DANIEL CARDOSO CARNIZELLO

NASCIMENTO	09.11.1984 – SÃO PAULO / SP
FILIAÇÃO	Eliseu Carnizello Mara Lucia Cardoso Carnizello
2004/2011	Curso de Graduação UNESP/FEG – Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá

de modo especial à minha família,
que acreditou e sempre me apoiou
durante esses longos anos de
graduação e foi a grande
responsável por mais essa conquista.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço aos meus pais *Eliseu e Mara* e às minhas irmãs *Luciana e Mariana*, que sempre me apoiaram e me deram força para que eu pudesse chegar onde estou nesse momento.

Ao meu orientador, *Prof. Dr. Fernando de Azevedo Silva*, que me auxiliou na confecção desse trabalho. Sem a sua orientação, dedicação e auxílio o estudo aqui apresentado seria praticamente impossível.

Aos meus amigos da *República Seupossemia*, que nesses anos estiveram presentes nos bons e nos maus momentos, proporcionando experiências inesquecíveis.

Carnizello, D. C. **Transportador de Correia: Componentes e cálculos básicos para seu dimensionamento**. 2011. 64 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

RESUMO

Cada vez mais, têm-se buscado um meio de transportar materiais a granel eficiente e econômico. O transporte através de correia é, hoje, o meio mais utilizado para o transporte de materiais a granel, utilizado por empresas de diversos setores, tais como mineração, siderurgia, pedreiras, agronegócios, etc. São inúmeras as vantagens do uso de uma correia transportadora em comparação com o transporte ferroviário ou através de caminhões. Caminhões necessitam de motorista, possuem um alto risco de acidentes, bem como um custo elevado com manutenção e, assim como os trens, após efetuarem a descarga do material, voltam vazios para o próximo carregamento. O custo para a construção de uma estrada de ferro é altíssimo, tornando, muitas vezes, o transporte ferroviário inviável. Já o transportador de correia possui um alto custo de instalação, porém trabalha 24 horas por dia, 365 dias por ano. O lado superior da correia está sempre carregado, o custo de manutenção é médio e o risco de acidentes é baixo, fazendo com que ele seja o meio ideal para transportar materiais a granel. Esse trabalho visa interar o leitor sobre o que é um transportador de correia, quais são seus principais componentes e demonstrar os cálculos básicos para seu dimensionamento e seleção de componentes. Ao longo do trabalho, será dimensionado um transportador para uso no setor de mineração, porém os conceitos nele demonstrados valem para o transporte de qualquer tipo de material.

PALAVRAS-CHAVE: Transportador de Correia, Correia Transportadora, Transporte de Materiais a Granel, Componentes Mecânicos, Dimensionamento

Carnizello, D. C. **Conveyor Belt: Components and basic calculations for their project.** 2011. 62 p. Monography (Graduation in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

ABSTRACT

Increasingly, people searches for an efficient and economic way for transporting bulk materials. Transport through belts is now the most widely used mean for transporting bulk materials, used by companies from various sectors such as mining, quarrying, agribusiness, etc. There are many advantages of using a conveyor belt as compared to rail or by truck. Trucks needs a driver, have a high risk of accidents as well as a high cost for maintenance and as well as trains, after making the downloading of the material, return empty to the next load. The cost for the construction of a railway is very high, making it often impossible. The conveyor belt have a high cost of installation, but it works 24 hours a day, 365 days a year. The upper side of the belt is always loaded, the maintenance cost is average and the risk of accidents is low, causing it to be the ideal way to transport bulk materials. This monography aims to interest the reader about what is a conveyor belt, what are its main components and demonstrate the basic calculations for their sizing and selection of components. Throughout the work, scaled a belt conveyor for use in the mining sector, but the concepts demonstrated apply to the transport of any material.

KEYWORDS: Conveyor Belt, Belt Conveyor, Transport of Bulk Materials, Mechanical Components, Sizing

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Emenda vulcanizada – Carcaça de lona (CEMA)	20
Figura 2: Emenda vulcanizada – Carcaça de cabo de aço (CEMA).....	20
Figura 3: Emenda mecânica (CEMA).....	20
Figura 4: Rolete de carga plano (CEMA)	21
Figura 5: Rolete de carga inclinado (CEMA)	21
Figura 6: Rolete de impacto plano (CEMA)	22
Figura 7: Rolete de impacto inclinado (CEMA)	22
Figura 8: Rolete de retorno plano (CEMA)	22
Figura 9: Esquema de um rolete de retorno em V (Sandvik).....	23
Figura 10: Roletes de transição (Arquivo Sandvik)	23
Figura 11: Rolete auto-alinhante de carga (CEMA).....	24
Figura 12: Rolete auto-alinhante de retorno (CEMA)	24
Figura 13: Conjunto Tambor + Mancais (Catálogo Sandvik).....	24
Figura 14: Tambor em corte, detalhando a fixação do cubo no eixo através de anel de fixação (Catálogo Sandvik)	25
Figura 15: Tambor motriz com revestimento em cerâmica (Arquivo Sandvik)	25
Figura 16: Tambores movidos, não possuem torque próprio (Arquivo Sandvik).....	26
Figura 17: Conjunto de acionamento (Motor, acoplamento flexível de alta rotação, redutor, acoplamento flexível de baixa rotação e tambor motriz).....	27
Figura 18: Motor trifásico tipo rotor de gaiola (Catálogo WEG).....	27
Figura 19: Redutor de eixos ortogonais em corte (Catálogo SEW)	28
Figura 20: Acoplamento flexível (Arquivo Sandvik)	29
Figura 21: Acoplamento Hidrodinâmico (Arquivo Sandvik)	30
Figura 22: Freio instalado no eixo de baixa do transportador (Arquivo Sandvik).....	31
Figura 23: Contra-recuo (Catálogo Vulkan)	31
Figura 24: Volante de inércia (Arquivo Sandvik)	32
Figura 25: Inversor de frequência.....	33
Figura 26: Esticamento por parafuso	34
Figura 27: Esticamento por gravidade vertical.....	35
Figura 28: Esticamento por gravidade horizontal.....	36
Figura 29: Chute de descarga (Arquivo Sandvik)	36
Figura 30: Guia de material (Arquivo Sandvik).....	37
Figura 31: Raspador de correia (Arquivo Sandvik).....	38
Figura 32: Limpadores de correia em V e Diagonal, respectivamente.....	39
Figura 33: Virador de correia (Arquivo Sandvik)	39
Figura 34: Cobertura	40
Figura 35: Passadiço	40
Figura 36: Perfil do transportador a ser dimensionado	41
Figura 37: Esquema dos roletes de carga.....	41
Figura 38: Esquema dos roletes de retorno	41
Figura 39: Seção transversal da correia carregada (CEMA).....	43

Figura 40: Fator Kt em função da temperatura em ° Farenheit	51
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Velocidades máximas recomendadas em função do tipo de material e largura da correia.....	42
Tabela 2: Classificação dos roletes	46
Tabela 3: Capacidades de carga para Roletes Série D [lbs] (Capacidades baseadas em uma vida mínima de 60.000 horas a 500 rpm).....	47
Tabela 4: Fator K1 devido à granulometria máxima do material.....	47
Tabela 5: Espaçamento recomendado [ft]	48
Tabela 6: Peso estimado da correia em função da largura e do peso específico do material carregado [lbs/ft].....	49
Tabela 7: Fator Ky em função do peso da correia+material, comprimento e inclinação do transportador.....	53
Tabela 8: Tensão necessária para girar os tambores.....	54
Tabela 9: Fator de atrito da guia com diferentes materiais	56
Tabela 10: Força necessária para vencer o atrito dos limpadores de correia [lbs/pol de largura da correia].....	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	- Norma Brasileira Registrada
CEMA	- Conveyor Equipment Manufacturers Association
TCLD	- Transportador de Correia de Longa Distância

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	Motivação.....	18
1.2	Objetivo.....	18
2	COMPONENTES DO TRANSPORTADOR DE CORREIA	18
2.1	Correia.....	19
2.2	Roletes.....	20
2.2.1	Roletes de carga.....	21
2.2.2	Roletes de impacto.....	22
2.2.3	Roletes de retorno	22
2.2.4	Roletes de transição	23
2.2.5	Roletes auto-alinhantes	23
2.3	Tambores.....	24
2.3.1	Tambor motriz.....	25
2.3.2	Tambor movido	26
2.4	Conjunto de acionamento.....	27
2.4.1	Motor	27
2.4.2	Redutor.....	28
2.4.3	Acoplamentos.....	29
2.4.4	Freio	30
2.4.5	Contra-recuo.....	31
2.4.6	Volante de inércia	32
2.4.7	Inversor de Frequência.....	32
2.5	Esticamento	33
2.5.1	Esticamento por parafuso.....	34
2.5.2	Esticamento por gravidade vertical	34
2.5.3	Esticamento por gravidade horizontal	35
2.6	Chute.....	36
2.7	Guia de material.....	36
2.8	Acessórios de limpeza.....	37
2.8.1	Raspador.....	38
2.8.2	Limpador	38

2.8.3	Virador de Correia	39
2.9	Cobertura.....	39
2.10	Passadiços	40
3	DIMENSIONAMENTO	40
3.1	Cálculo da Velocidade Mínima Requerida:	41
3.1.1	Área do trapézio (Ab)	43
3.1.2	Área de acomodação (As)	44
3.1.3	Área total (At)	45
3.1.4	Velocidade mínima requerida	45
3.1.5	Seleção da velocidade da correia.....	45
3.2	Seleção dos roletes e do espaçamento	45
3.3	Cálculo da tensão efetiva na correia	50
3.3.1	Tensão devido ao atrito da correia com os roletes de carga e impacto (Tx).....	51
	Figura 40: Fator Kt em função da temperatura em ° Fahrenheit.....	51
3.3.2	Tensão devido à resistência à flexão da correia conforme ela se move sobre os roletes (Tyb)	52
3.3.3	Tensão devido à resistência à flexão do material conforme ele se move sobre os roletes (Tym)	54
3.3.4	Tensão devido à elevação do material (Tm)	54
3.3.5	Tensão devido ao dobramento da correia e ao atrito do eixo do tambor com o mancal (Tp)	54
3.3.6	Tensão devido à aceleração do material conforme ele cai sobre a correia (Tam)	55
3.3.7	Tensão devido aos acessórios do transportador (Tac)	56
3.3.8	Verificação da flexão da correia entre os roletes (SAG)	58
3.4	Cálculo da potência necessária.....	58
3.5	Seleção da Correia	59
3.6	Seleção do diâmetro dos tambores	60
3.7	Seleção do motor	60
3.8	Seleção do redutor	60
3.9	Seleção dos acoplamentos.....	61
3.9.1	Acoplamento de alta rotação	61
3.9.2	Acoplamento de baixa rotação	61
3.10	Seleção do contra-recuo	61

4	CONCLUSÕES	62
5	REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

Transportadores de correia vêm sendo usados para o transporte de materiais desde a segunda metade do século 17. Antigamente, os transportadores de correia eram muito simples, tratavam-se de um tablado de madeira e uma cinta feita de couro de animais, que escorregava por cima desse tablado. Nessa época, eles eram usados para o transporte de sacos de grãos.

Com o desenvolvimento da tecnologia, as aplicações do transportador de correia foram ficando mais amplas. No ano de 1919, transportadores motorizados já eram utilizados na indústria automotiva. Mais tarde, por volta do ano 1930, o transportador de correia já era um meio popular para o transporte de materiais a granel. Minas de carvão já utilizavam transportadores de correia para transportar material por mais de 8 km.

Hoje, transportadores de correia são utilizados em todo tipo de indústria, além de aeroportos, supermercados, devido à sua versatilidade e ao baixo custo. Atualmente, o transportador de correia mais longo do mundo fica localizado na Índia e têm por volta de 17 km de extensão.

1.1 Motivação

Comparado com a utilização de caminhões e estradas de ferro para o transporte de materiais, o transporte através de correia é o mais viável economicamente a longo prazo. Caminhões possuem um custo elevado de manutenção e necessitam de motorista. Já a construção de uma estrada de ferro necessita de um investimento inicial altíssimo. O transportador de correia necessita de um investimento inicial alto, porém trabalha 24 horas por dia, 365 dias por ano sem necessitar de paradas e sempre cheio de material, o que não acontece com as outras opções.

Atualmente, com o crescimento da construção civil e da necessidade do aço, o mercado de mineração têm crescido rapidamente e, com ele, o mercado de transportadores de correia.

1.2 Objetivo

O objetivo desse trabalho é interar o leitor sobre o que é, como funciona, identificar os componentes e demonstrar os passos e cálculos básicos para se dimensionar uma correia transportadora de minério de ferro.

2 COMPONENTES DO TRANSPORTADOR DE CORREIA

Um transportador de correia é composto de diversos componentes, dentre eles equipamentos mecânicos, elétricos, hidráulicos e acessórios. Os componentes básicos de um transportador serão apresentados a seguir.

2.1 Correia

A correia é o componente mais importante do transportador, e representa uma boa parcela do investimento inicial. É sobre ela que o material se acomoda e com o seu movimento promove o transporte do mesmo. Diversos fatores devem ser levados em conta para a seleção correta da correia, tais como as características do material a ser transportado (granulometria, densidade, abrasividade, ângulo de acomodação, temperatura, etc), a capacidade do transportador, geralmente medida em toneladas por hora, o tipo de rolete, a largura da correia e a tensão máxima presente no transportador.

Em geral, as correias são constituídas de 3 elementos: a cobertura superior, a carcaça e a cobertura inferior. As coberturas são feitas de borracha vulcanizada e têm a função de proteger a carcaça de qualquer dano ou deterioração que podem ocorrer no ambiente de trabalho. Já a carcaça deve suportar as tensões causadas durante a partida, parada e movimento do material, além de suportar o impacto causado pela queda do material durante a alimentação e promover a estabilidade para que o alinhamento seja mantido durante todo o curso do transportador.

Dependendo da exigência de tensão do transportador, a carcaça da correia pode ser de 2 tipos: cabo de aço ou lona. Carcaças de cabo de aço são mais resistentes às altas tensões, são comumente usadas em transportadores de longa distância ou de alta capacidade. Carcaças de lona são mais comuns e economicamente mais viáveis.

Outro ponto crucial na resistência da correia é a emenda. Na grande maioria das vezes, a emenda é feita no local onde o transportador irá operar, o que dificulta muito o processo. As emendas podem ser de 2 tipos: vulcanizada ou mecânica. A emenda vulcanizada possui um custo bem mais elevado e leva mais tempo para ser feita, porém ela garante uma resistência consideravelmente maior que a emenda mecânica, além de uma vida útil muito maior. A emenda mecânica, apesar de ser mais viável economicamente e mais rápida, possui inúmeras desvantagens em relação à emenda vulcanizada: só pode ser aplicada nas correias com carcaça de lona, produzem uma superfície áspera, podendo causar danos aos tambores, roletes, raspadores, limpadores, etc. Além disso, ela expõe a correia cortada à umidade e ao material transportado, podendo causar danos à carcaça.



Figura 1: Emenda vulcanizada – Carcaça de lona (CEMA)



Figura 2: Emenda vulcanizada – Carcaça de cabo de aço (CEMA)

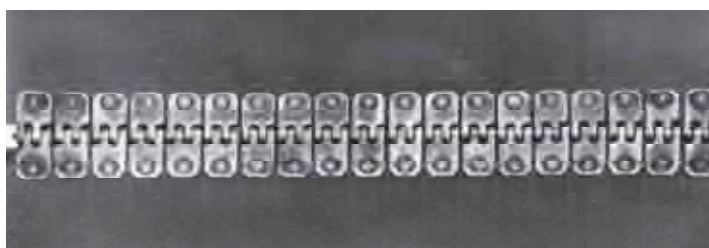


Figura 3: Emenda mecânica (CEMA)

2.2 Roletes

Roleta é o nome dado ao conjunto rolos + suporte. Eles têm a função de suportar a correia tanto do lado carregado quanto no retorno. Os rolos são cilindros de aço de alta resistência que contêm rolamentos e podem girar em torno de seu próprio eixo, fazendo com que a correia se desloque sobre eles.

O bom alinhamento, lubrificação e manutenção dos rolos é essencial para o movimento da correia. Qualquer imperfeição em algum desses detalhes resultará em um aumento da tensão na correia e na potência requerida do motor, devido ao atrito causado pelo rolo desalinhado ou com lubrificação insuficiente.

Os roletes podem ser classificados em:

2.2.1 Roletes de carga

São responsáveis por suportar o peso da correia e do material transportado. Os roletes de carga podem ter dois tipos de configuração: planos ou inclinados. Atualmente, os roletes inclinados são mais comuns, por conseguir transportar uma quantidade consideravelmente maior de material. Eles são compostos por um rolo central horizontal e por dois rolos laterais geralmente inclinados de 20°, 35° ou 45°. Os roletes planos são normalmente compostos por um só rolo horizontal sustentado por suportes que são fixados na estrutura do transportador.

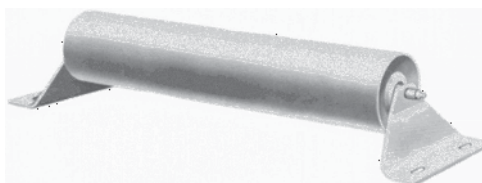


Figura 4: Roleta de carga plano (CEMA)



Figura 5: Roleta de carga inclinado (CEMA)

2.2.2 Roletes de impacto

São responsáveis por suportar o impacto da queda do material na seção de alimentação do transportador. São normalmente cilindros de aço revestidos com discos de borracha vulcanizada para absorver o impacto e proteger a carcaça da correia de danos.



Figura 6: Rolete de impacto plano (CEMA)



Figura 7: Rolete de impacto inclinado (CEMA)

2.2.3 Roletes de retorno

São responsáveis por suportar o peso da correia durante o retorno da mesma, não suportam o material transportado. Geralmente, são compostos de um rolo plano horizontal sustentado por suportes fixados na parte inferior da estrutura do transportador. Atualmente, têm sido comumente utilizados roletes de retorno em V, que são compostos por dois rolos que formam um ângulo de 10° com a horizontal. Esse tipo de rolete de retorno ajuda a manter o alinhamento da correia.



Figura 8: Rolete de retorno plano (CEMA)



Figura 9: Esquema de um rolete de retorno em V (Sandvik)

2.2.4 Roletes de transição

Esses roletes possuem rolos laterais com regulagem de ângulo e são utilizados para diminuir gradativamente a curvatura da correia conforme ela se aproxima do tambor de descarga ou de retorno.



Figura 10: Roletes de transição (Arquivo Sandvik)

2.2.5 Roletes auto-alinhantes

São responsáveis por manter o alinhamento da correia. Esses roletes podem ser usados tanto do lado carregado quanto no retorno e são dotados de um mecanismo giratório, além de pequenos rolos perpendiculares à correia. Qualquer desalinhamento da correia fará com que ela toque o rolo vertical, provocando um giro no rolete e formando um certo ângulo em

relação à correia. Esse desvio angular cria uma força que obriga a correia a voltar ao seu centro.

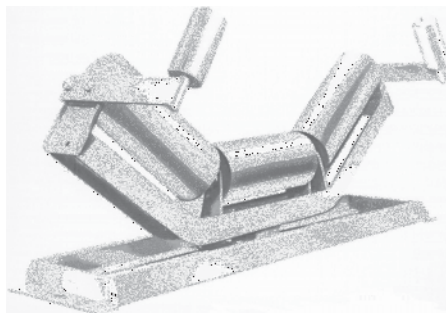


Figura 11: Rolete auto-alinhante de carga (CEMA)



Figura 12: Rolete auto-alinhante de retorno (CEMA)

2.3 Tambores



Figura 13: Conjunto Tambor + Mancais (Catálogo Sandvik)

Fixado pelos mancais e composto de um eixo, cubos, discos laterais e discos internos, anéis de fixação, casca externa e revestimento, o tambor é o componente que dá movimento (tambor motriz) e apoio (tambores movidos) à correia. Além disso, o tambor também é utilizado para dobrar e desviar a correia, quando se faz necessário.

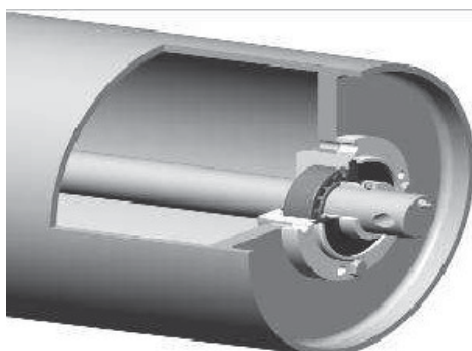


Figura 14: Tambor em corte, detalhando a fixação do cubo no eixo através de anel de fixação (Catálogo Sandvik)

Os tambores podem ser classificados em:

2.3.1 Tambor motriz

É responsável por receber o torque do acionamento e transmiti-lo para a correia transportadora. Geralmente, esses tambores são revestidos com cerâmica, para produzir um coeficiente de atrito maior e evitar o escorregamento.



Figura 15: Tambor motriz com revestimento em cerâmica (Arquivo Sandvik)

2.3.2 Tambor movido

São todos os tambores que não possuem torque próprio, podem ter diversas aplicações, tais como esticamento, desvio, encosto, etc. Geralmente são revestidos com uma camada de borracha, para melhorar a aderência com a correia.



Figura 16: Tambores movidos, não possuem torque próprio (Arquivo Sandvik)

2.3.2.1 Tambor de esticamento

É o tambor no qual é feito o esticamento da correia.

2.3.2.2 Tambor de desvio

Tambor utilizado apenas para curvar a correia, necessário em caso de esticamento por gravidade, acionamento duplo, etc.

2.3.2.3 Tambor de encosto

Tambor usado para aumentar o ângulo de abraçamento em outro tambor, geralmente utilizado para aumentar o abraçamento da correia no tambor motriz.

2.4 Conjunto de acionamento

Conjunto de componentes responsáveis por produzir o torque no tambor motriz. Geralmente é composto por motor, redutor, acoplamentos e, se necessário, freio, contra-recuo, volante de inércia e inversor de frequência.



Figura 17: Conjunto de acionamento (Motor, acoplamento flexível de alta rotação, redutor, acoplamento flexível de baixa rotação e tambor motriz)

2.4.1 Motor

É o coração do transportador de correia, responsável pelo torque que gira o tambor motriz e movimenta a correia. Na grande maioria dos casos, trata-se de um motor elétrico trifásico, do tipo rotor de gaiola.



Figura 18: Motor trifásico tipo rotor de gaiola (Catálogo WEG)

2.4.2 Redutor

Componente responsável por diminuir a rotação na saída do motor e aumentar o torque. Como os transportadores não necessitam de uma velocidade alta (em média de 1 m/s a 8 m/s) e exigem um torque muito elevado para a elevar o material e vencer o atrito de todos os componentes, os redutores de velocidade são imprescindíveis no projeto de um transportador de correia. Os tipos de redutores mais utilizados são os Shaft-Mounted (potências de até 50 HP), os redutores de eixos paralelos (os mais utilizados, pois possuem uma gama que engloba todas as faixas de potências) e os redutores de eixos ortogonais (utilizados quando o espaço é limitado).



Figura 19: Redutor de eixos ortogonais em corte (Catálogo SEW)

2.4.3 Acoplamentos

São elementos de união entre eixos de motores, redutores e tambores. Podem ser de 2 tipos:

2.4.3.1 Acoplamentos flexíveis

Elementos responsáveis por unir os eixos entre motor e redutor (acoplamento de alta) e entre redutor e tambor (acoplamento de baixa), absorvendo desalinhamentos angulares entre os eixos até um certo limite, amortecendo vibrações torcionais e protegendo os demais equipamentos de sobrecarga funcionando como fusível.



Figura 20: Acoplamento flexível (Arquivo Sandvik)

2.4.3.2 Acoplamentos Hidrodinâmicos

São equipamentos responsáveis por transmitir o torque do motor suavemente até que se atinja o torque máximo. São extremamente importantes em transportadores com potência superior a 50 HP. No transportador de correia, a transmissão imediata do torque do motor resultaria em uma tensão muito elevada na correia, acarretando o rasgo da mesma. Caso o acoplamento hidrodinâmico (figura 20) não seja utilizado, será necessária a utilização de um inversor de frequência.



Figura 21: Acoplamento Hidrodinâmico (Arquivo Sandvik)

2.4.4 Freio

Componente (figura 21) responsável por parar o tambor motriz e, consequentemente, a correia. Seu uso é necessário em transportadores em declive, para que não haja perda de controle da velocidade da correia, e em transportadores sequenciais com diferentes tempos de parada. Nesse caso, se dois transportadores em sequência tiverem diferentes tempos de

parada, vai haver acúmulo de material no chute de alimentação do segundo transportador, acarretando em danos na correia, nos roletes, na estrutura ou no conjunto de acionamento.



Figura 22: Freio instalado no eixo de baixa do transportador (Arquivo Sandvik)

2.4.5 Contra-recuo

Equipamento (figura 23) responsável por evitar o retorno da correia carregada em transportadores inclinados quando o motor é desligado, fato que poderia acarretar em danos às estruturas ou entupimento dos chutes de alimentação.



Figura 23: Contra-recuo (Catálogo Vulkan)

2.4.6 Volante de inércia

O volante de inércia (figura 23) tem a função de adicionar inércia ao transportador. Trata-se de uma enorme massa girante que faz com que o tempo de partida e o tempo e a distância de parada sejam aumentados.

É utilizado quando faz-se necessário o aumento do tempo de parada do transportador, para que este fique sincronizado com transportadores anteriores ou posteriores, evitando entupimento do chute de alimentação.



Figura 24: Volante de inércia (Arquivo Sandvik)

2.4.7 Inversor de Frequência

Componente elétrico responsável pela partida “suave” do motor, evitando trancos e danos à correia. O inversor de frequência (figura 24) reduz a corrente de partida, permitindo o controle da velocidade e do torque do motor, possibilitando o aumento gradativo do torque.

Quando opta-se pela instalação de um inversor de frequência, o acoplamento hidrodinâmico torna-se desnecessário.



Figura 25: Inversor de frequência

2.5 Esticamento

Nos transportadores de correia, é imprescindível que a correia mantenha-se esticada durante todo o tempo. Caso isso não ocorra, poderá ocorrer desalinhamento da correia, escorregamento no tambor motriz, aumento da potência requerida, vazamento de material, etc. Para que isso não ocorra, existem 3 maneiras de promover o esticamento da correia:

2.5.1 Esticamento por parafuso

Os mancais do tambor de esticamento são posicionados em um trilho que permite o deslocamento em apenas uma direção. Preso aos mancais estão os parafusos de esticamento. O esticamento é manual, feito através do rosqueamento das porcas, conforme figura 25.

O esticamento de parafuso é indicado somente para transportadores de pequenas capacidades e distâncias, pois a tensão na correia e, conseqüentemente, a tensão de esticamento é menor.



Figura 26: Esticamento por parafuso

2.5.2 Esticamento por gravidade vertical

É o tipo de esticamento mais utilizado. Os mancais do tambor de esticamento são presos ao contrapeso, uma caixa de aço preenchida com minério de ferro. O contrapeso faz a força necessária para manter a correia esticada, conforme figura 26.



Figura 27: Esticamento por gravidade vertical

2.5.3 Esticamento por gravidade horizontal

Utilizado quando o transportador não possui altura suficiente para o esticamento por gravidade vertical. O princípio é o mesmo, porém o esticamento é feito pelo tambor de retorno, que fica preso a um carrinho pelos mancais. Através de roldanas e cabos de aço, o carrinho é ligado ao contrapeso, promovendo o esticamento da correia.



Figura 28: Esticamento por gravidade horizontal

2.6 Chute

O chute (figura 28) é o elemento responsável por receber e direcionar o material até o seu destino seja ele outro transportador, uma pilha, um silo, etc. Trata-se de uma estrutura de aço reforçada com chapas de desgaste, capaz de suportar a abrasão e a corrosão causadas pelo atrito contínuo do material com a estrutura.



Figura 29: Chute de descarga (Arquivo Sandvik)

2.7 Guia de material

Componente responsável por evitar o derramamento do material do momento em que este cai na correia até que a velocidade do material e da correia se igualem. Composto de placas de aço verticais e borracha, na região onde ela entra em contato com a correia, conforme figura 29.



Figura 30: Guia de material (Arquivo Sandvik)

2.8 Acessórios de limpeza

É importante manter a correia sempre limpa, pois a mesma entra em contato com os rolos e com os tambores, ambos de aço. Caso haja algum material preso à superfície da correia, este causará danos nos tambores ou nos rolos, por isso há a necessidade da utilização de alguns acessórios para manter a correia livre de resíduos durante todo o seu curso.

2.8.1 Raspador

Componente que, por contato, retira o material que fica aderido à correia após sua descarga. Geralmente são instalados em torno do tambor de descarga. É constituído de uma lâmina de aço com a continuação (parte que entra em contato com a correia) em borracha ou plástico, e acionado por contrapeso ou por molas, fazendo com que ele esteja sempre em contato com a correia.



Figura 31: Raspador de correia (Arquivo Sandvik)

2.8.2 Limpador

Assim como o raspador limpa o lado carregado da correia, o limpador é um componente utilizado para limpar o lado da correia que não entra em contato com o material. Apesar desse lado da correia não ter contato direto com o material, o uso dos limpadores é necessário pois pode haver vazamento de material da parte superior do transportador (lado carregado) para a parte inferior. Caso não haja limpador de correia, esse material ficará alojado sobre a correia e danificará os tambores de esticamento ou de retorno.



Figura 32: Limpadores de correia em V e Diagonal, respectivamente

2.8.3 Virador de Correia

Trata-se de um sistema de rolos especiais destinados a inverter a correia no lado de retorno, visando evitar o desgaste dos rolos de retorno e manter a limpeza da área ao longo do transportador.



Figura 33: Virador de correia (Arquivo Sandvik)

2.9 Cobertura

Estrutura metálica disposta sobre o lado carregado da correia, visando a proteção da correia e de todos os outros componentes do transportador contra as intempéries e também, a diminuição da contaminação do meio ambiente ocorrida pelo derramamento de material devido ao vento.

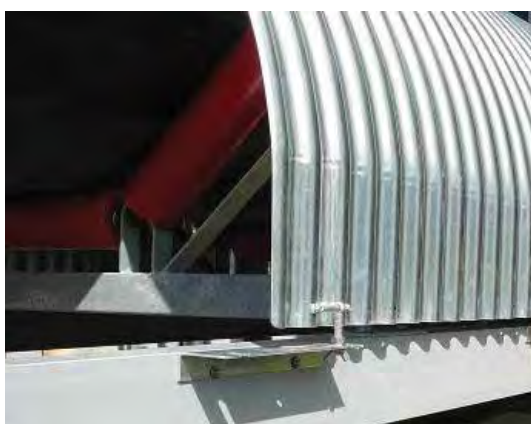


Figura 34: Cobertura

2.10 Passadiços

Estrutura fixada ao longo das partes elevadas do transportador, com o intuito de permitir o acesso para a manutenção. Constituído de piso metálico, corrimão e suportes.



Figura 35: Passadiço

3 DIMENSIONAMENTO

A seguir, será dimensionado um transportador de correia de médio porte. Para o início dos cálculos, será fixado o comprimento de 280 metros, largura de 54 polegadas, altura de elevação de 24 metros e capacidade de 3500 toneladas por hora. O esticamento será por gravidade vertical, conforme figura 35.

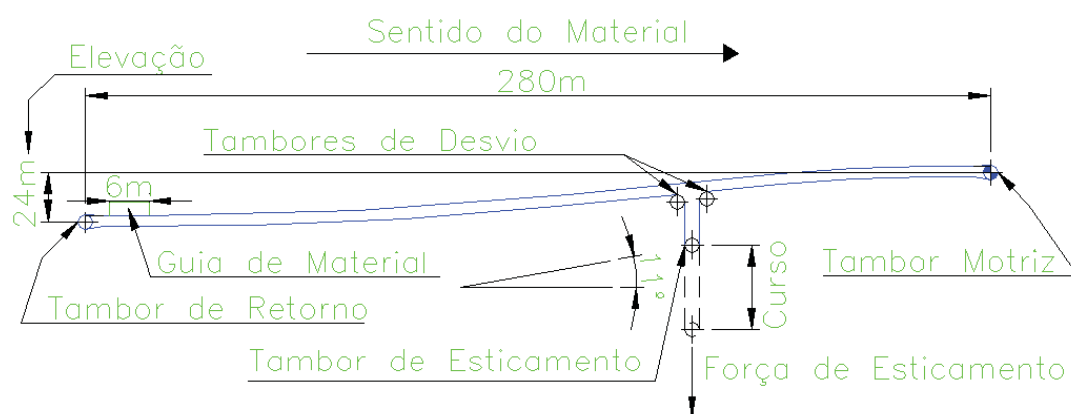


Figura 36: Perfil do transportador a ser dimensionado

- Comprimento: 280 [m] = 918,64 [ft]
- Largura: 54 [pol]
- Capacidade: 3500 [ton/h] = 2143,38 [lb/s]
- Elevação: 24 [m] = 78,74 [ft]
- Inclinação: 11°
- Material: Minério de Ferro
 - Densidade: 1900 [kg/m³] = 118,61 [lb/ft³]
 - Granulometria Máxima: 150 [mm] = 5,9 [pol]
 - Ângulo de Acomodação: 20°
- Regime de Trabalho: 24 h/dia – 365 dias/ano
- Inclinação dos roletes:

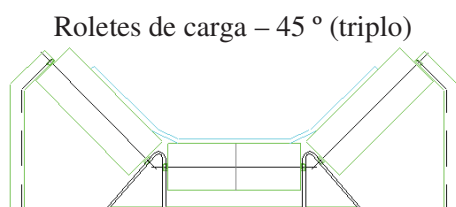


Figura 37: Esquema dos roletes de carga

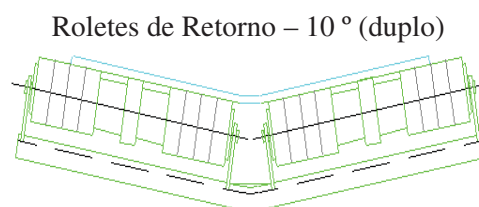


Figura 38: Esquema dos roletes de retorno

3.1 Cálculo da Velocidade Mínima Requerida:

Existe uma velocidade mínima para que o enchimento na correia não ultrapasse um certo limite, representado na figura 38 pela letra *c*. Caso o transportador funcione a uma velocidade menor que a velocidade mínima requerida, irá ocorrer vazamento de material. Velocidades superiores não representam problemas até um certo limite, conforme tabela 1.

Tabela 1: Velocidades máximas recomendadas em função do tipo de material e largura da correia

Material Being Conveyed	Belt Speeds (fpm)	Belt Width (inches)
Grain or other free-flowing, nonabrasive material	500	18
	700	24-30
	800	36-42
	1000	48-96
Coal, damp clay, soft ores, overburden and earth, fine-crushed stone	400	18
	600	24-36
	800	42-60
	1000	72-95
Heavy, hard, sharp-edged ore, coarse-crushed stone	350	18
	500	24-36
	600	Over 36
Foundry sand, prepared or damp; shake-out sand with small cores, with or without small castings (not hot enough to harm belting)	350	Any width
Prepared foundry sand and similar damp (or dry abrasive) materials discharged from belt by rubber-edged plows	200	Any width
Nonabrasive materials discharged from belt by means of plows	200, except for wood pulp, where 300 to 400 is preferable	Any width
Feeder belts, flat or troughed, for feeding fine, nonabrasive, or mildly abrasive materials from hoppers and bins	50 to 100	Any width

Da tabela 1, tira-se que a velocidade máxima recomendada para a correia carregando minérios pesados, duros e pontiagudos é de 600 [ft/min] ou 3,05 [m/s].

A sequência de cálculos para a determinação da velocidade mínima requerida será explicitada a seguir. Primeiramente, deve-se encontrar a área da seção da correia carregada (figura 38). Para isso, dividiremos a seção em um trapézio (*Ab*) e um arco circular (*As*). A área total da seção (*At*) será determinada pela soma das duas áreas parciais.

Após determinada a área total, será possível determinar a velocidade mínima da correia com os valores da densidade do minério de ferro e da capacidade do transportador.

$$54 = 20,284 + 2 * m + 2 * 3,87$$

$$m = (54 - 20,034 - 0,25 - 7,74)/2 = 12,99 \text{ pol}$$

Substituindo m nas equações 6 e 7, encontra-se f e j .

$$f = 12,99 * \cos 45^\circ = 9,18 \text{ pol}$$

$$j = 12,99 * \sin 45^\circ = 9,18 \text{ pol}$$

Substituindo l e f na equação 5, encontramos $l1$.

$$l1 = 20,28 + 2 * 9,18 = 38,65 \text{ pol}$$

Com isso, pode-se determinar a área do trapézio através da equação 1.

$$Ab = \left(\frac{20,28 + 38,65}{2} \right) * 9,18 = 270,63 \text{ pol}^2$$

3.1.2 Área de acomodação (A_s)

$A_s = \text{Área do setor circular} - \text{Área do triângulo}$

$$A_s = \frac{\pi * r^2 * 2 * \alpha}{360} - \frac{r^2 * \sin 2\alpha}{2} \quad (8)$$

$$r = \frac{l1}{2 * \sin \alpha} = \frac{38,652}{2 * \sin 20^\circ} = 56,51 \text{ pol}$$

Substituindo r na equação 8, encontramos a área de acomodação.

$$As = \frac{\pi * 56,51^2 * 2 * 20}{360} - \frac{56,51^2 * \sin(2 * 20)}{2} = 87,80 \text{ pol}^2$$

3.1.3 Área total (At)

$$At = Ab + As = 270,63 + 87,80 = 358,43 \text{ pol}^2 = 2,49 \text{ ft}^2$$

3.1.4 Velocidade mínima requerida

$$v = \frac{Q}{At * \rho} \quad (9)$$

v – velocidade requerida da correia [ft/s]

Q – capacidade do transportador [lb/s]

At – área total da seção transversal carregada [ft^2]

ρ – densidade do material [lb/ft^3]

Com todos os valores definidos, é possível calcular a velocidade mínima requerida substituindo os valores na equação 9.

$$v = \frac{Q}{At * \rho} = \frac{2143,38}{2,49 * 118,61} = 7,26 \frac{ft}{s} = 2,21 \frac{m}{s}$$

3.1.5 Seleção da velocidade da correia

Definidos os limites inferiores e superiores da correia, deve-se agora fazer a seleção da velocidade da correia.

- Limite inferior – 2,22 [m/s]

- Limite superior – 3,05 [m/s] (da tabela 1)

- Velocidade selecionada – 3 m/s = 590,4 ft/min = 9,84 ft/s

3.2 Seleção dos roletes e do espaçamento

A seleção correta da classe e do diâmetro dos rolos depende de alguns fatores, tais como o tipo de serviço, condições de operação, carga e velocidade da correia. Para facilitar a seleção dos roletes, eles foram divididos em categorias, conforme tabela 2.

Tabela 2: Classificação dos roletes

Classification	Former Series Number	Roll Diameter (inches)	Belt Width (inches)	Description
A4	STANDARD WITHDRAWN			
A5	OCTOBER 1, 1996			
B4	II	4"	18" through 48"	Light Duty
B5	II	5"	18" through 48"	"
C4	III	4"	18" through 60"	Medium Duty
C5	III	5"	18" through 60"	"
C6	IV	6"	24" through 60"	"
D5	None	5"	24" through 72"	"
D6	None	6"	24" through 72"	"
E6	V	6"	36" through 96"	Heavy Duty
E7	VI	7"	36" through 96"	"

Da tabela 2, seleciona-se os roletes classe D6, para serviço médio com 6" de diâmetro.

Após efetuar a seleção dos roletes, deve-se verificar se eles suportam a carga aplicada, através da comparação dos valores da tabela 3 com os valores calculados.

Tabela 3: Capacidades de carga para Roletes Série D [*lbs*]
(Capacidades baseadas em uma vida mínima de 60.000 horas a 500 rpm)

Belt Width (inches)	Trough Angle			Single Roll Return	Two Roll “Vee” Return
	20°	35°	45°		
24	1200	1200	1200	600	
30	1200	1200	1200	600	
36	1200	1200	1200	600	850
42	1200	1200	1200	500	850
48	1200	1200	1200	425	850
54	1200	1116	1080	375	850
60	1150	1070	1035	280	850
66				215	850
72	1050	977	945	155	850
78				125	850

Na tabela 3, estão determinadas as capacidades de carga para os roletes de carga (1080 *lbs*) e de retorno (850 *lbs*). Abaixo serão determinados os valores de carga calculados.

$$CRc = (Wb + (Wm * K1) * SI) \quad (10)$$

CRc – carga aplicada no rolo de carga

K1 – fator de ajuste devido ao tamanho do grão

Tabela 4: Fator K1 devido à granulometria máxima do material

Maximum Lump Size (inches)	Material Weight, lbs/cu ft						
	50	75	100	125	150	175	200
4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1
6	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1
8	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2
10	1.0	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2
12	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3
14	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3
16	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4
18	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4

Da tabela 4, têm-se que:

$$K1 = 1,1$$

Si – espaçamento entre os roletes

Tabela 5: Espaçamento recomendado [ft]

Belt Width (inches)	Troughing Idler Spacing						Return Idlers
	Weight of Material Handled, lbs/cu ft						
	30	50	75	100	150	200	
18	5.5	5.0	5.0	5.0	4.5	4.5	10.0
24	5.0	4.5	4.5	4.0	4.0	4.0	10.0
30	5.0	4.5	4.5	4.0	4.0	4.0	10.0
36	5.0	4.5	4.0	4.0	3.5	3.5	10.0
42	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0	3.0	10.0
48	4.5	4.0	4.0	3.5	3.0	3.0	10.0
54	4.5	4.0	3.5	3.5	3.0	3.0	10.0
60	4.0	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0	10.0
72	4.0	3.5	3.5	3.0	2.5	2.5	8.0
84	3.5	3.5	3.0	2.5	2.5	2.0	8.0
96	3.5	3.5	3.0	2.5	2.0	2.0	8.0

Adotando os valores recomendados da tabela 5, têm-se que:

- Espaçamento dos roletes de carga = $3,3 \text{ ft} = 1 \text{ m}$
- Espaçamento dos roletes de retorno = $10,0 \text{ ft} = 3 \text{ m}$

Wb – peso da correia [lbs/ft] (tabelado)

Entrando na tabela 6 com os valores da largura da correia e com a densidade do material transportado, obtemos o peso estimado da correia.

Tabela 6: Peso estimado da correia em função da largura e do peso específico do material carregado [*lbs/ft*]

Belt Width inches (<i>b</i>)	Material Carried, lbs/ft ³		
	30-74	75-129	130-200
18	3.5	4.0	4.5
24	4.5	5.5	6.0
30	6.0	7.0	8.0
36	9.0	10.0	12.0
42	11.0	12.0	14.0
48	14.0	15.0	17.0
54	16.0	17.0	19.0
60	18.0	20.0	22.0
72	21.0	24.0	26.0
84	25.0	30.0	33.0
96	30.0	35.0	38.0

$$Wb = 17 \frac{lbs}{ft} = 25,3 \frac{kg}{m}$$

Wm – peso do material [*lbs/ft*]

O peso do material é calculado através da equação 11, em função da capacidade do transportador e da velocidade da correia, ambos determinados anteriormente.

$$Wm = \frac{Q * 2000}{60 * V} \quad (11)$$

Q – capacidade do transportador [*ton/h*]

V – velocidade da correia [*ft/min*]

Com isso, obtêm-se o valor de Wm .

$$Wm = \frac{3500 * 2000}{60 * 435,6} = 267,83 \frac{lbs}{ft} = 398,58 \frac{kg}{m}$$

$$CRr = (Wb * Si) \quad (12)$$

CRr – carga aplicada no rolo de retorno

Assim, é possível calcular a carga aplicada nos rolos de carga e de retorno do transportador através das equações 10 e 12.

$$CRc = (17 + (267,83 * 1,1) * 3,3) = 989,2 \text{ lbs}$$

$$CRr = (17 * 10) = 170 \text{ lbs}$$

Agora, é possível calcular a razão entre a carga calculada e a capacidade de carga (tabela 3). Visto que os roletes suportam a carga aplicada, deve-se estimar a vida do rolamento, que deve ser superior à 60.000 horas.

$$\frac{CRc \text{ (calculado)}}{CRc \text{ (tabelado)}} = \frac{989,2}{1080} = 0,916$$

$$\frac{CRr \text{ (calculado)}}{CRr \text{ (tabelado)}} = \frac{170}{850} = 0,2$$

Os roletes de carga e de retorno selecionados suportam a carga aplicada.

3.3 Cálculo da tensão efetiva na correia

$$Te = Tx + Tyb + Tym + Tm + Tp + Tam + Tac \quad (13)$$

Tx – tensão devido ao atrito da correia com os roletes de carga e impacto

Tyb – tensão devido à resistência à flexão da correia conforme ela se move sobre os roletes

Tym – tensão devido à resistência à flexão do material conforme ele se move sobre os roletes

Tm – tensão devido à elevação do material

Tp – tensão devido ao dobramento da correia e ao atrito do eixo do tambor com o mancal

Tam – tensão devido à aceleração do material conforme ele cai sobre a correia

Tac – tensões devido aos acessórios do transportador

3.3.1 Tensão devido ao atrito da correia com os roletes de carga e impacto (Tx)

$$Tx = L * Kx * Kt \quad (14)$$

L – comprimento do transportador

Kx – fator usado para calcular a resistência dos roletes e a resistência devido ao escorregamento da correia sobre os roletes

Kt – fator de correção da temperatura

Para o cálculo de Tx, será necessário determinar os fatores Kx e Kt. O comprimento do transportador é de 280 m ou 918,6 ft. O fator de correção da temperatura é determinado através da figura 39. Com a temperatura média da região onde será construído o transportador, retiramos o valor de Kt. Será considerada uma temperatura média de 25 °C, correspondente a 77 ° F.

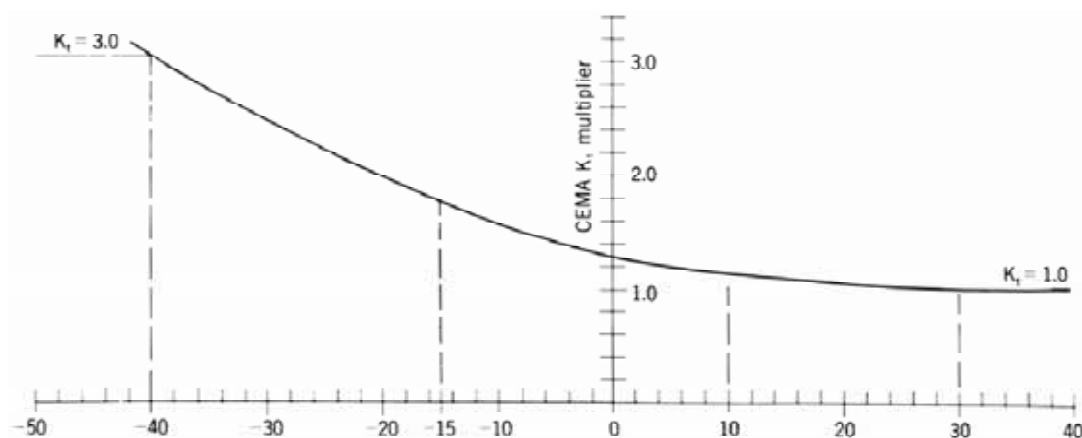


Figura 40: Fator Kt em função da temperatura em ° Farenheit

Com isso, obtêm-se o valor do fator Kt

$$Kt = 1$$

O valor do fator Kx é encontrado através da equação 15.

$$Kx = 0,00068 * (Wb + Wm) + \frac{Ai}{Si} \quad (15)$$

Ai – força requerida para girar os rolos [lbs]

O valor da força necessária para girar os rolos é tabelado para os rolos padrão CEMA.

$Ai = 1,5$ para rolos de 6" de diâmetro, Série CEMA C6, D6

$Ai = 1,8$ para rolos de 5" de diâmetro, Série CEMA B5, C5, D5

$Ai = 2,3$ para rolos de 4" de diâmetro, Série CEMA B4, C4

$Ai = 2,4$ para rolos de 7" de diâmetro, Série CEMA E7

$Ai = 2,8$ para rolos de 6" de diâmetro, Série CEMA E6

Dessa forma, encontramos o valor de Ai .

$$Ai = 1,5 \text{ lbs}$$

Si – Espaçamento entre os roletes de carga [ft]

Retornando à equação 15, calcula-se o valor de Kx .

$$Kx = 0.00068 * (17 + 267,83) + \frac{1,5}{3,3} = 0,65 \text{ lbs/ft}$$

Com todos os valores calculados, pode-se encontrar o valor de Tx através da equação 14.

$$Tx = 918,64 * 0,65 * 1 = 597,12 \text{ lbs}$$

3.3.2 Tensão devido à resistência à flexão da correia conforme ela se move sobre os roletes (Tyb)

$$Tyb = Tyc + Tyr$$

Tyc – para os roletes de carga

$$T_{yc} = L * K_y * W_b * K_t$$

T_{yr} – para os roletes de retorno

$$T_{yr} = L * 0,015 * W_b * K_t$$

Portanto:

$$T_{yb} = L * W_b * K_t * (K_y + 0,015) \quad (16)$$

K_y – fator de carga usado para calcular a resistência durante a alimentação do transportador

Tabela 7: Fator K_y em função do peso da correia+material, comprimento e inclinação do transportador

Conveyor Length (ft)	$W_b + W_m$ (lbs/ft)	Percent Slope						
		0	3	6	9	12	24	33
		Approximate Degrees						
		0	2	3.5	5	7	14	18
800	20	0.035	0.031	0.030	0.029	0.029	0.029	0.029
	50	0.032	0.029	0.028	0.026	0.025	0.021	0.018
	75	0.031	0.029	0.026	0.024	0.022	0.016	0.016
	100	0.031	0.028	0.025	0.022	0.020	0.016	0.016
	150	0.034	0.028	0.023	0.019	0.017	0.016	0.016
	200	0.035	0.027	0.021	0.016	0.016	0.016	0.016
	250	0.035	0.026	0.020	0.017	0.016	0.016	0.016
1000	300	0.035	0.025	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018
	50	0.031	0.028	0.026	0.024	0.023	0.019	0.016
	75	0.030	0.027	0.024	0.022	0.019	0.016	0.016
	100	0.030	0.026	0.022	0.019	0.017	0.016	0.016
	150	0.033	0.024	0.019	0.016	0.016	0.016	0.016
	200	0.032	0.023	0.017	0.016	0.016	0.016	0.016
	250	0.033	0.022	0.017	0.016	0.016	0.016	0.016
	300	0.033	0.021	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018

Da tabela 7, tiramos o valor de K_y .

$$K_y = 0,018$$

Com isso, têm-se todos os valores necessários para o cálculo de T_{yb} através da equação 16.

$$T_{yb} = 918,64 * 17 * 1 * (0,018 + 0,015) = 515,36 \text{ lbs}$$

3.3.3 Tensão devido à resistência à flexão do material conforme ele se move sobre os roletes (T_{ym})

$$T_{ym} = L * K_y * W_m \quad (17)$$

Todos os valores necessários já foram determinados anteriormente, portanto basta substituí-los na equação 17:

$$T_{ym} = 918,64 * 0,018 * 267,83 = 4.428,71 \text{ lbs}$$

3.3.4 Tensão devido à elevação do material (T_m)

$$T_m = H * W_m \quad (18)$$

H – altura de elevação ou descida do material

Substituindo valores na equação 18, temos:

$$T_m = 78,74 * 267,83 = 21.088,93 \text{ lbs}$$

3.3.5 Tensão devido ao dobramento da correia e ao atrito do eixo do tambor com o mancal (T_p)

Dependendo da localização e do ângulo de abraçamento, as tensões necessárias para dobrar a correia sobre o tambor podem variar, conforme tabela 8.

Tabela 8: Tensão necessária para girar os tambores

Location of Pulleys	Degrees Wrap of Belt	Pounds of Tension at Belt Line
Tight side	150° to 240°	200 lbs/pulley
Slack side	150° to 240°	150 lbs/pulley
All other pulleys	less than 150°	100 lbs/pulley

Considerando um tambor de baixa tensão (retorno), dois de alta tensão (acionamento e esticamento) e 2 de desvio, temos:

$$Tp = 2 * 200 + 1 * 150 + 2 * 100 = 750 \text{ lbs}$$

3.3.6 Tensão devido à aceleração do material conforme ele cai sobre a correia (Tam)

$$Tam = M * Vc \quad (19)$$

M – massa de material acelerado por segundo [*slug*]

$$M = \frac{W}{g}$$

W – peso de material acelerado [*lbs/s*]

$$W = \frac{Q * 2.000}{3.600}$$

g – aceleração da gravidade [*ft/s²*]

Sabemos que a aceleração da gravidade é de 32,2 [*ft/s²*], portanto:

$$M = \frac{Q * 2.000}{3.600 * 32,2}$$

Q – capacidade do transportador [ton/h]

Vc – variação de velocidade [ft/s]

$$Vc = \frac{V - V_0}{60}$$

V – velocidade da correia [ft/min]

V₀ – velocidade com que o material chega na correia [ft/min]

Substituindo na equação 19 e simplificando, temos:

$$Tam = 2,8755 * 10^{-4} * Q * (V - V_0) \quad (20)$$

Substituído os valores na equação 20, obtemos:

$$T_{am} = 2,8755 * 10^{-4} * 3.500 * (435,6 - 0) = 438,4 \text{ lbs}$$

3.3.7 Tensão devido aos acessórios do transportador (T_{ac})

$$T_{ac} = T_{sb} + T_{pl} + T_{bc} \quad (21)$$

3.3.7.1 Tensão devido ao atrito causado pela guia de material (T_{sb})

$$T_{sb} = L_b * (C_s * h_s^2 + 6) \quad (22)$$

Altura da guia: 0,5 m = 1,64 ft / comprimento da guia: 6 m = 19,69 ft

L_b – comprimento da guia de material [ft]

h_s – altura de material em contato com a guia [ft]

C_s – fator de atrito da guia com o material transportado

Tabela 9: Fator de atrito da guia com diferentes materiais

Material	Factor C_s	Material	Factor C_s	Material	Factor C_s
Alumina, pulv. dry	0.1210	Coke, ground fine	0.0452	Limestone, pulv., dry	0.1280
Ashes, coal, dry	0.0571	Coke, lumps and fines	0.0186	Magnesium chloride, dry	0.0276
Bauxite, ground	0.1881	Copra, lumpy	0.0203	Oats	0.0219
Beans, navy, dry	0.0798	Cullet	0.0836	Phosphate rock, dry, broken	0.1086
Borax	0.0734	Flour, wheat	0.0265	Salt, common, dry, fine	0.0814
Bran, granular	0.0238	Grains, wheat, corn or rye	0.0433	Sand, dry, bank	0.1378
Cement, Portland, dry	0.2120	Gravel, bank run	0.1145	Sawdust, dry	0.0086
Cement clinker	0.1228	Gypsum, ½" screenings	0.0900	Soda ash, heavy	0.0705
Clay, ceramic, dry fines	0.0924	Iron ore, 200 lbs/cu ft	0.2760	Starch, small lumps	0.0623
Coal, anthracite, sized	0.0538	Lime, burned, ⅛"	0.1166	Sugar, granulated dry	0.0349
Coal, bituminous, mined	0.0754	Lime, hydrated	0.0490	Wood chips, hogged fuel	0.0095

Da tabela 9, temos que:

$$C_s = 0.2760$$

Com isso, é possível calcular T_{sb} substituindo os valores na equação 22.

$$T_{sb} = 19,69 * (0,2760 * 1,64^2 + 6) = 132,76 \text{ lbs}$$

3.3.7.2 Tensão devido aos limpadores de correia (T_{pl})

Tabela 10: Força necessária para vencer o atrito dos limpadores de correia [lbs/pol de largura da correia]

Type of Plow	Additional Belt Pull per Plow, at Belt Line (lbs/in belt width)
Full V or single slant plow, removing all material from belt	5.0
Partial V or single slant plow, removing half material from belt	3.0

Da tabela 10, tira-se o valor da força. No transportador em questão, temos 2 limpadores em V, portanto:

$$T_{pl} = 2 * (5 * 54) = 540 \text{ lbs}$$

3.3.7.3 Tensão devido aos raspadores (T_{bc})

A norma CEMA diz que para cada raspador, deve-se adotar uma tensão de 5 [lbs/pol de largura da correia]. Nesse caso, temos 2 raspadores e a largura da correia é de 54 polegadas, então:

$$T_{bc} = 2 * (5 * 54) = 540 \text{ lbs}$$

Com todos os dados calculados, é possível agora calcular a tensão na correia devido aos acessórios do transportador, substituindo as tensões de cada acessório na equação 21.

$$T_{ac} = 132,76 + 540 + 540 = 1.212,76 \text{ lbs}$$

Substituindo todas as tensões parciais na equação 13, obtêm-se a tensão efetiva na correia.

$$T_e = 597,1 + 515,4 + 4.428,7 + 21.088,9 + 750 + 438,4 + 1.212,8 = 29.031 \text{ lbs}$$

3.3.8 Verificação da flexão da correia entre os roletes (SAG)

É importante verificar a flexão máxima da correia entre os roletes de carga, pois caso a flexão, também chamada de SAG, seja maior que 3% do valor do espaçamento, haverá derramamento de material.

$$y = \frac{Si^2 * (Wb + Wm)}{8 * T} \quad (23)$$

Substituindo os valores, todos conhecidos, na equação 23, obtemos:

$$y = \frac{Si^2 * (Wb + Wm)}{8 * T} = \frac{3,3^2 * (17 + 267,83)}{8 * 29.031} = 0,014 \text{ ft}$$

O valor é aceitável, pois é menor que 0,099 ft (3% do valor do espaçamento).

3.4 Cálculo da potência necessária

$$Pot = \frac{Te * v}{33.000} \quad (24)$$

Pot – potência necessária do motor [HP]

Te – Tensão efetiva na correia [lbs]

v – velocidade da correia [ft/min]

Através da equação 24, é possível calcular a potência necessária do motor de acionamento da correia.

$$Pot = \frac{29.031 * 590,4}{33.000} = 519 \text{ HP} = 387 \text{ kW}$$

3.5 Seleção da Correia

Através da consulta de um catálogo, foi possível fazer a seleção da correia.

Correia GoodYear EP-420/5 – Carcaça de Lona (5 camadas)

- Cobertura tipo Stacker 10mm (superior) x 5mm (inferior), com excelente resistência à cortes, arrancamento e abrasão. Ótimo desempenho no transporte de materiais pontiagudos ou com arestas vivas, tais como: minérios de ferro, manganês, estanho quartzo, etc. Resiste a materiais com temperaturas até 65° C.

- Capacidade de tensão c/ emenda vulcanizada – 210 kN/m de largura
- Largura Máxima: 2200 mm ou 84”
- Largura Mínima para Acomodação sobre os roletes: 48”

Diâmetro mínimo do tambor motriz em função da tensão aplicada:

Acima de 80% - 42”

Entre 60% e 80% - 36”

Entre 40% e 60% - 30”

Abaixo de 40% - 24”.

Tambores de Retorno e Desvio - 24”

- Tensão aplicada = 29.031 [*lbs*] ou 129,14 [*kN*]
- Capacidade da correia = $210 * 1,372 = 288,12$ [*kN*]
- Tensão aplicada/Capacidade = 44,82 [%]
- Diâmetro mínimo do tambor motriz – 30 [*pol*] ou 762 [*mm*]

3.6 Seleção do diâmetro dos tambores

- Tambor motriz

Diâmetro = 1.000 [mm]

Revestimento: Cerâmica

- Tambores movidos

Diâmetro = 800 [mm]

Revestimento: Borracha

3.7 Seleção do motor

Através de consulta ao catálogo de motores, foi feita a seleção do modelo HGF da marca WEG, indicado para operações severas.

- Potência requerida = 519 HP = 387 kW
- Motor selecionado: HGF 355C
 - Potência nominal: 600 HP = 441 kW
 - Número de pólos: 6
 - Tensão: 440 V
 - Rotação de saída: 1180 RPM
 - Torque de saída: 3539 N*m

3.8 Seleção do redutor

- Velocidade de saída do motor: 1180 RPM
- Velocidade requerida no tambor de acionamento: $3\text{ m/s} = 57,3\text{ RPM}$
- Redução requerida: 20,93
- Potência mecânica requerida = $441 \cdot 1,5$ (fator de serviço recomendado) = 661,5 kW

Selecionado: Redutor SEW modelo 2165Y2L

- Redução exata: 21,24
- Potência mecânica: 670 kW
- Rotação de saída: 55,6
- Velocidade real da correia: 2,91 m/s

3.9 Seleção dos acoplamentos

3.9.1 Acoplamento de alta rotação

- Torque requerido = 3.539 N*m
- Fator de serviço recomendado: > 2

Selecionado: Acoplamento flexível Vulkan GSND260

- Torque admissível = 11.940 N*m
- Faixa de diâmetros: 32-140
- Fator de serviço = 3,4

3.9.2 Acoplamento de baixa rotação

- Torque requerido = 75.810 N*m
- Fator de serviço recomendado: > 2

Selecionado: Acoplamento flexível Vulkan GBND600

- Torque admissível = 211.968 N*m
- Faixa de diâmetros: 260-290
- Fator de serviço = 2,8

3.10 Seleção do contra-recuo

- Torque requerido = $75.810 \text{ N}\cdot\text{m}$
- Diâmetro do eixo = 220 mm
- Fator de serviço recomendado: >2

Selecionado: Contra recuo Vulkan 261-9

- Torque admissível = $187.600 \text{ N}\cdot\text{m}$
- Diâmetro máximo = 240 mm
- Fator de serviço = 2,5

4 CONCLUSÕES

O transportador de correia tem uma ampla gama de aplicações, dentre elas está a indústria da mineração, foco desse trabalho.

O desenvolvimento da tecnologia, como correias, rolos e tambores cada vez mais resistentes estão permitindo um avanço rápido nas capacidades e distâncias de transporte. Hoje em dia, qualquer tipo de material pode ser transportado através de correias. Transportadores subterrâneos e regenerativos, que geram energia além da consumida por eles já se encontram em operação.

No estudo aqui abordado, foi exemplificado o dimensionamento de um transportador de correia de médio porte para uso na indústria da mineração. É importante ressaltar que, além dos componentes mostrados nesse trabalho, diversos outros componentes são necessários para o funcionamento correto e adequações às normas de segurança vigentes. Para transportadores mais longos, chamados TCLDs, uma análise dinâmica, através da utilização de métodos de elementos finitos é necessária, para garantir a segurança e o funcionamento correto dos mesmos.

Para a confecção dessa monografia, a principal dificuldade encontrada foi a escassez de material sobre o tema, pois o know-how é o diferencial das empresas envolvidas no projeto e construção de transportadores de correia, fazendo com que o conhecimento técnico avançado não seja muito acessível.

5 REFERÊNCIAS

- SHIGLEY, Joseph Edward. **ELEMENTOS DE MÁQUINAS** Vol. 1 e 2; Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1984.
- NIEMANN,G. **ELEMENTOS DE MÁQUINAS**; Rio de Janeiro: Edgard Blücher Ltda.
- Beer, Ferdinand Pierre. **RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS**; São Paulo: McGraw-Hill, 1989.
- Conveyor Equipment Manufacturer Association. **BELT CONVEYOR FOR BULK MATERIALS**.
- Fábrica de Aço Paulista S.A. **MANUAL DE TRANSPORTADORES DE CORREIAS FAÇO**.
- Catálogo de motores elétricos WEG
- Catálogo de correias GoodYear
- Catálogo de redutores SEW
- Catálogo de acoplamentos Vulkan
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 281**: Mancais de Rolamento – Capacidade de Carga Dinâmica e Vida Útil Estimada. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6110**: Transportadores de Correia – Larguras de Correias Transportadoras. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6172**: Transportadores de Correia – Tambores – Dimensões. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6177**: Transportadores de Correia - Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 1999.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6678**: Transportadores de Correia – Roletes – Projeto, Seleção e Padronização. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7265**: Transportadores de Correia – Dispositivos de Esticamento – Valores do Curso. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8011**: Transportadores de Correia. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8205**: Transportadores de Correia – Cálculo de Força e Potência. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8400**: Cálculo de Equipamento para Levantamento e Movimentação de Cargas. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13766**: Redutores de Velocidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.