Dimensionamento da talha elétrica na ponte rolante com capacidade de cinco toneladas

Bruno Fernandes Silva
brunofsilva96@hotmail.com

Daniel de Oliveira Delfino
diel.o.d@hotmail.com

Guilherme Matheus Ferreira Prata
guilhermemfprata@gmail.com

Jonathan Villela de Souza Neff
jonathanneffvs@yahoo.com

Orientador: Prof. Me. Francisco Reginaldo da Rosa

Coordenação de Curso de **Engenharia Mecânica**

Resumo

A talha elétrica é um equipamento eficiente e seguro para a movimentação vertical de cargas pesadas. Composta por um mecanismo de elevação e um motor elétrico, ela oferece diversas vantagens para as empresas. Sua capacidade de trabalhar em espaços reduzidos a torna uma opção viável em locais com restrições de espaço. Além disso, proporciona controle preciso da carga durante a elevação, facilitando seu posicionamento exato. A talha elétrica também reduz o risco de lesões aos trabalhadores, pois minimiza o esforço físico humano. Ela é capaz de levantar cargas de grande porte, permitindo a movimentação de materiais e equipamentos mais pesados. No entanto, assim como a ponte rolante, seu uso requer atenção à segurança, com a adesão às normas e regulamentações e o treinamento adequado dos operadores. Em resumo, a talha elétrica é uma solução segura e eficiente, oferecendo precisão, facilidade em espaços restritos e capacidade para lidar com cargas pesadas. Com as devidas precauções, pode-se garantir seu uso correto e maximizar os benefícios proporcionados por esse equipamento.

Palavras chaves: Cargas.Capacidade.Movimentação. Otimização.Talha elétrica

1. Introdução

Pontes rolantes são equipamentos de movimentação de cargas pesadas muito comuns em grandes armazéns e grandes navios, feito justamente para carregar materiais de grande porte de forma eficiente e segura. Além disso, a ponte rolante pode ajudar na otimização de espaços físicos em fábricas.

O intuito da ponte rolante é permitir a movimentação de cargas pesadas de forma segura e eficiente, reduzindo o tempo e os custos envolvidos no transporte de materiais e mostrando procedimentos básicos que possibilitam determinadas sequências, bem como a análise, de partes mecânicas e

estruturais principais de uma máquina de elevação e transporte de carga (MET) – Ponte Rolante não siderúrgicas; seguindo as normas que regem os projetos de equipamentos de manuseio de cargas, vindo a impor critérios técnicos.

O grupo busca realizar o estudo e dimensionamento de uma ponte rolante de 5 toneladas para atuação em empresas metalúrgicas e logística, buscando aplicar todo o conhecimento adquirido durante todos os períodos.

Realizando o dimensionamento de cabos de aço, rolamentos, vigas, motores, engrenagens entre outros componentes seguindo as diretrizes das normas regulamentadoras (NR-11;NBR 8400)

Uma ponte rolante é um equipamento utilizado em indústrias, construções e portos para movimentação de cargas pesadas. Ela é composta por uma estrutura metálica em forma de ponte, que se desloca sobre trilhos e suporta uma ou mais talhas elétricas que movimentam a carga. A ponte rolante é um equipamento fundamental para a movimentação de cargas de grande porte e peso, possibilitando o transporte seguro e eficiente de materiais em ambientes industriais (Silva, 2016).

A ponte rolante é um equipamento versátil, podendo ser utilizada em diferentes setores, como o de construção civil, indústrias automotivas, metalúrgicas, portos e aeroportos. Além disso, a ponte rolante permite a movimentação de materiais em espaços confinados e em alturas elevadas, possibilitando a realização de tarefas de forma ágil e eficiente (SHARMA, 2003). A utilização de pontes rolantes é fundamental para a otimização de processos produtivos, pois permite a movimentação de grandes cargas de forma segura, sem o risco de acidentes ou danos ao produto. As pontes rolantes também são essenciais para a manutenção de máquinas e equipamentos, permitindo o transporte e a troca de peças pesadas com segurança.

A utilização de pontes rolantes requer conhecimentos específicos e treinamento adequado dos operadores, além de manutenção regular e inspeções de segurança periódicas para garantir o bom funcionamento do equipamento e a segurança dos trabalhadores (PASSOS, 2017).

Por fim, a ponte rolante também é uma ferramenta importante na otimização de espaço em um ambiente de trabalho, uma vez que ela é capaz de movimentar as cargas de forma precisa e em diferentes direções, permitindo

uma melhor organização do espaço e redução do tempo de movimentação de cargas.

O trabalho será desenvolvido por meio de pesquisa científica de caráter tecnológico e aplicado, envolvendo estudo de caso com intuito de fazer o dimensionamento de uma ponte rolante.

Espera-se que o TCC apresente uma compreensão aprofundada dos requisitos necessários para o projeto de uma ponte rolante eficiente e segura. Além disso, espera-se que o trabalho demonstre o uso adequado de normas e diretrizes relevantes, como a NBR 8400, para o dimensionamento e cálculo dos elementos estruturais da ponte rolante.

2. Desenvolvimento

2.1 Tipos de pontes rolantes

Existem vários tipos de pontes rolantes, cada uma projetada para atender a necessidades específicas. Alguns dos tipos mais comuns de pontes rolantes.

2.1.1 Ponte rolante univiga

Segundo o Grupo Ewalesco (texto digital), a ponte rolante univiga, conforme Figura 1, é um tipo de ponte rolante que possui uma única viga que suporta o trilho para os carrinhos de transporte. Ela é amplamente utilizada em fábricas, armazéns, oficinas e outras instalações industriais para levantar e transportar cargas pesadas em curtas distâncias.

Figura 1: Ponte rolante univiga.

Fonte: Grupo EWALESCO. Disponível em: <https://www.ewalesco.com.br/> Acesso em 24 abr. 2023.

2.1.2 Ponte rolante biviga

De acordo com PASSOS (2018), a ponte rolante biviga, conforme Figura 2 é uma solução de levantamento e movimentação de cargas robusta, versátil e confiável, que oferece muitas vantagens em relação a outros tipos de pontes rolantes. Com sua capacidade de levantar e movimentar cargas de grande porte, a ponte rolante biviga é amplamente utilizada em diversas indústrias, sendo uma ferramenta essencial para aumentar a produtividade e eficiência em ambientes industriais.

Figura 2: Ponte rolante biviga.

Fonte: Grupo BREVIL. Disponível em: <https://www.brevil.ind.br/>. Acesso em 24 abr. 2023.

2.1.3 Ponte rolante suspensa

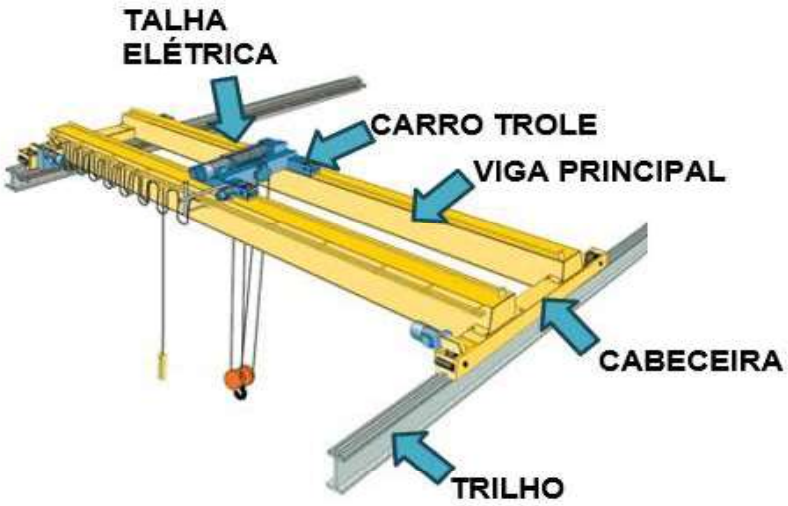
A ponte rolante suspensa, conforme Figura 3, é uma solução de levantamento e movimentação de cargas que oferece muitas vantagens em relação a outros tipos de pontes rolantes. Com sua fixação no teto ou em uma estrutura suspensa, a ponte rolante suspensa pode ser utilizada em ambientes onde o espaço é limitado, além de oferecer grande amplitude de movimentação, capacidade de carga e ajuste de altura de aumento (SORDI, 2018).

Figura 3: Ponte rolante suspensa.

Fonte: Grupo STAHL. Disponível em: <http://www.stahl-talhas.com.br/>. Acesso em 24 abr. 2023.

2.2 Componentes

Figura 4: **Ponte rolante biviga**



Fonte: SAC LOGISTICA. Disponível em: <https://saclogistica.com.br/ponte-rolante/>. Acesso em 22 jun. 2023.

2.2.1 Viga principal

A viga principal de uma ponte rolante é a estrutura que suporta todo o peso da carga que será levantada e movimentada pela ponte. É responsável por transmitir a carga para as rodas, truques e trilhos que permitem que a ponte se mova ao longo da área de trabalho. A viga principal é geralmente

composta por uma estrutura de aço resistente, capaz de suportar altas cargas e tensões.

Existem diferentes tipos de vigas principais usadas em pontes rolantes, como as vigas caixão, que possuem uma seção transversal em forma de caixa para maior resistência e rigidez, e as vigas em treliça, que são construídas com elementos de aço conectados por meio de nós para formar uma estrutura triangular leve e resistente (KASSIMALI, 2019).

Além disso, a viga principal pode ser projetada com diferentes comprimentos e alturas, dependendo das necessidades específicas da aplicação. Em alguns casos, a viga principal também pode ser equipada com acessórios, como ganchos de elevação e dispositivos de segurança, para garantir a operação segura da ponte rolante.

2.2.2 Carro Trole

O carro trole é um dos componentes principais de uma ponte rolante, que se movimenta ao longo da viga principal. Ele é responsável por suportar o mecanismo de elevação da ponte rolante, geralmente composto por um guincho ou talha elétrica, e mover a carga de um ponto para outro na área de trabalho.

O carro trole é geralmente equipado com rodas que se movem ao longo dos trilhos fixados na viga principal da ponte rolante. Essas rodas são fabricadas com materiais resistentes e duráveis, para suportar o peso da carga e garantir um movimento suave e seguro (SHAPIRO; SHAPIRO, 2015).

O carro trole pode ser projetado com diferentes capacidades de carga, velocidades e tipos de movimento, dependendo das necessidades específicas da aplicação. Alguns modelos possuem sistemas de direção para facilitar a movimentação em diferentes direções, enquanto outros possuem controles remotos para facilitar o uso à distância.

Em geral, o carro trole é um componente essencial para a operação segura e eficiente de uma ponte rolante, permitindo que a carga seja movimentada com precisão e segurança em uma variedade de ambientes industriais.

2.2.3 Cabeceiras

As cabeceiras são os extremos da viga principal de uma ponte rolante, onde ela é fixada aos suportes ou pilares da estrutura do prédio ou da área de trabalho. Elas são responsáveis por suportar o peso da ponte rolante e da carga que ela está levantando e movendo.

As cabeceiras podem ser projetadas em diferentes formatos e tamanhos, dependendo das necessidades específicas da aplicação. Geralmente, elas são fabricadas em aço ou concreto armado para garantir a resistência necessária para suportar as cargas da ponte rolante.

Além disso, as cabeceiras geralmente possuem trilhos fixados na superfície, onde o carro trole da ponte rolante se movimenta. Esses trilhos são projetados para permitir que o Carro Trole se mova de forma suave e segura ao longo da viga principal.

As cabeceiras também podem ser equipadas com acessórios adicionais, como sistemas de segurança, iluminação e dispositivos de orientação, para garantir a operação segura e eficiente da ponte rolante (LEME, 2020).

Em resumo, as cabeceiras são uma parte essencial da estrutura da ponte rolante, fornecendo suporte e estabilidade à viga principal e permitindo que a ponte rolante se mova de forma segura e eficiente ao longo da área de trabalho.

2.2.4 Caminho de rolamento

O caminho de rolamento é um dos componentes principais de uma ponte rolante, que consiste em uma série de trilhos fixados nas cabeceiras ou estrutura da área de trabalho. Ele permite que a ponte rolante se movimente ao longo da área de trabalho e suporte o peso da carga que está sendo levantada.

Os trilhos do caminho de rolamento são fabricados em aço e projetados para suportar altas cargas e tensões. Eles são fixados de forma segura nas cabeceiras ou na estrutura do prédio, garantindo que a ponte rolante se mova de forma suave e segura ao longo da área de trabalho (SHAPIRO; SHAPIRO, 2015).

O caminho de rolamento pode ser projetado com diferentes configurações, dependendo das necessidades específicas da aplicação. Em algumas pontes rolantes, o caminho de rolamento é montado diretamente nas cabeceiras, enquanto em outras ele é montado em uma estrutura separada.

Os trilhos do caminho de rolamento são geralmente equipados com dispositivos de lubrificação e sistemas de limpeza, para garantir que eles funcionem sem problemas e durem por muitos anos. Alguns trilhos também podem ser equipados com dispositivos de segurança, como limitadores de movimento, para evitar que a ponte rolante saia dos trilhos ou se mova em áreas não autorizadas.

Em resumo, o caminho de rolamento é um componente crucial da ponte rolante, permitindo que ela se mova de forma suave e segura ao longo da área de trabalho e suporte o peso da carga que está sendo levantada.

2.2.5 Talha elétrica

A talha elétrica é um dos componentes principais da ponte rolante, responsável por levantar e movimentar a carga ao longo da viga principal da ponte rolante. Ela é um dispositivo motorizado que consiste em um motor elétrico, sistema de freio, tambor de cabo, gancho de elevação e outros componentes mecânicos e eletrônicos.

A talha elétrica é geralmente montada no carro trole da ponte rolante e conectada a um cabo de aço ou corrente, que é enrolado em um tambor. Quando acionada, a talha elétrica usa o motor elétrico para girar o tambor, puxando o cabo ou corrente e levantando a carga.

As talhas elétricas podem ser projetadas com diferentes capacidades de carga, velocidades de elevação e outras características, dependendo das necessidades específicas da aplicação. Elas também podem ser equipadas com dispositivos de segurança, como freios de emergência e limitadores de carga, para garantir a segurança durante a operação.

As talhas elétricas modernas geralmente são controladas por meio de um painel de controle remoto, que permite que o operador controle o movimento da talha a partir de uma posição segura e conveniente. Algumas talhas elétricas também podem ser equipadas com sistemas de posicionamento por satélite ou outros recursos avançados de monitoramento e controle (SHAPIRO; SHAPIRO, 2015).

Em resumo, a talha elétrica é um componente essencial da ponte rolante, permitindo que a carga seja levantada e movida ao longo da viga principal de forma eficiente e segura. Com sua capacidade de carga elevada e

recursos avançados de controle, as talhas elétricas tornaram-se uma parte indispensável de muitas operações industriais.

2.3 Dimensionamento da talha elétrica

As forças que ocorrem em uma ponte rolante podem variar dependendo do projeto específico e das condições de operação. No entanto, abaixo nos itens 2.3.1 a 2.3.6 estão algumas forças comuns que podem atuar em uma ponte rolante.

A finalidade da Norma ABNT 8400 é estabelecer as orientações fundamentais para o dimensionamento das peças estruturais e dos componentes mecânicos dos dispositivos de elevação e transporte de cargas, independentemente do nível de complexidade e da natureza do serviço prestado pelo equipamento. Isso é feito levando em conta as combinações de forças, as características de resistência dos diferentes componentes e as condições de estabilidade (PINHEIRO, 2015).

2.3.1 Carga útil

A carga que está sendo recebida e movida pela ponte rolante é uma das principais forças a serem consideradas. Ela pode ser uma carga estática ou variar durante a operação. O peso da carga afeta diretamente a capacidade de carga da ponte rolante.

2.3.2 Carga de impacto

Durante o processo de movimentação da carga, pode ocorrer uma carga de impacto devido à aceleração, desaceleração ou parada brusca da ponte rolante. Essa carga de impacto é uma força adicional que precisa ser considerada no projeto da estrutura e dos componentes.

2.3.3 Carga de frenagem

Quando a ponte rolante está em movimento e precisa ser parada, as forças de frenagem são geradas. Essas forças de frenagem são transmitidas para os componentes internos e mecânicos da ponte rolante.

2.3.4 Carga de medição

Ao iniciar o movimento, a ponte rolante experimenta uma carga de medição à medida que ganha velocidade. Essa carga é resultado da massa da própria ponte rolante e dos componentes em movimento.

2.3.5 Carga de vento

O vento também pode exercer forças em uma ponte rolante, especialmente quando ela está localizada em áreas expostas. A carga de vento pode afetar a estabilidade da ponte rolante e a capacidade de carga, experimentando um projeto adequado para resistir a essas forças.

2.3.6 Carga de gravidade

Além das forças de locomoção, a força própria exerce nas partes da ponte rolante. Por exemplo, as vigas principais e os componentes suspensos estão sujeitos a cargas gravitacionais que precisam ser levadas em consideração no projeto.

2.4 Solicitações Mecânicas em que as pontes rolantes são submetidas

A solicitação mecânica aplicada a uma estrutura resulta em sua deformação, causando variações não uniformes no volume do corpo. Ao longo de seu comprimento, sua geometria passa por um processo de remodelação. (HIBBELER, 2004).

2.4.1 Momento Fletor

O momento fletor é derivado da localização da linha neutra, que, por sua vez, está relacionada às fibras mais solicitadas ao longo dessa linha. É possível calcular a capacidade máxima de cisalhamento, ou seja, o momento fletor, com base nessa definição. (UFJF, 2020).

2.4.2 Tensão de Cisalhamento

O esforço cortante, ou força interna de cisalhamento, ocorre devido à presença de forças na direção transversal ao eixo da barra na seção transversal de corte. No caso da tensão de cisalhamento, é essencial utilizar

elementos feitos de materiais dúcteis, pois a resistência do material depende de sua capacidade de suportar a tensão de cisalhamento. (UFJF, 2020).

3. Metodologia

O trabalho será desenvolvido por meio de pesquisa científica de caráter tecnológico e aplicado, envolvendo estudo de caso com intuito de fazer o dimensionamento de uma ponte rolante.

Pesquisa Aplicada: objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais. (GIL, 2006). Este tipo de pesquisa visa à aplicação de suas descobertas a um problema. (COLLIS; HUSSEY, 2005).

O estudo de caso pode abranger análise de exame de registros, observação de acontecimentos, entrevistas estruturadas e não-estruturadas ou qualquer outra técnica de pesquisa. Seu objeto pode ser um indivíduo, um grupo, uma organização, um conjunto de organizações ou, até mesmo, uma situação. Por sua flexibilidade, é sugerido nas fases iniciais da pesquisa de temas complexos para a construção de hipóteses ou reformulação do problema (GIL, 2006).

Verificando-se um assunto abordado em aulas antepassadas, onde um desafio foi lançado para a criação de uma ponte rolante informando apenas os dados de uma talha elétrica e assim finalizar seu dimensionamento base, pesquisou-se sobre as necessidades do tema no dia a dia e como é utilizado regularmente. Trocou-se diálogos entre os integrantes sobre o cenário e seu dimensionamento através dos dados.

3.1 Informações da Talha Elétrica

Por meio de dados da talha elétrica, será dimensionada uma ponte rolante para uma carga máxima de 5000 kg.

Dados da talha elétrica:

- Carga máxima suportada: 5000 kg ou 50 kN
- Altura de elevação: 9 metros
- Peso Bruto: 37,5 kg

- Peso Líquido: 40,0 kg
- Velocidade de elevação: 8 metros/minutos
- Capacidade do motor: 7,5 kW
- Rotações do motor: 1400 rpm
- Fase: Trifásico
- Tensão: 380 V
- Corrente: 18 A
- Frequência: 60 Hz

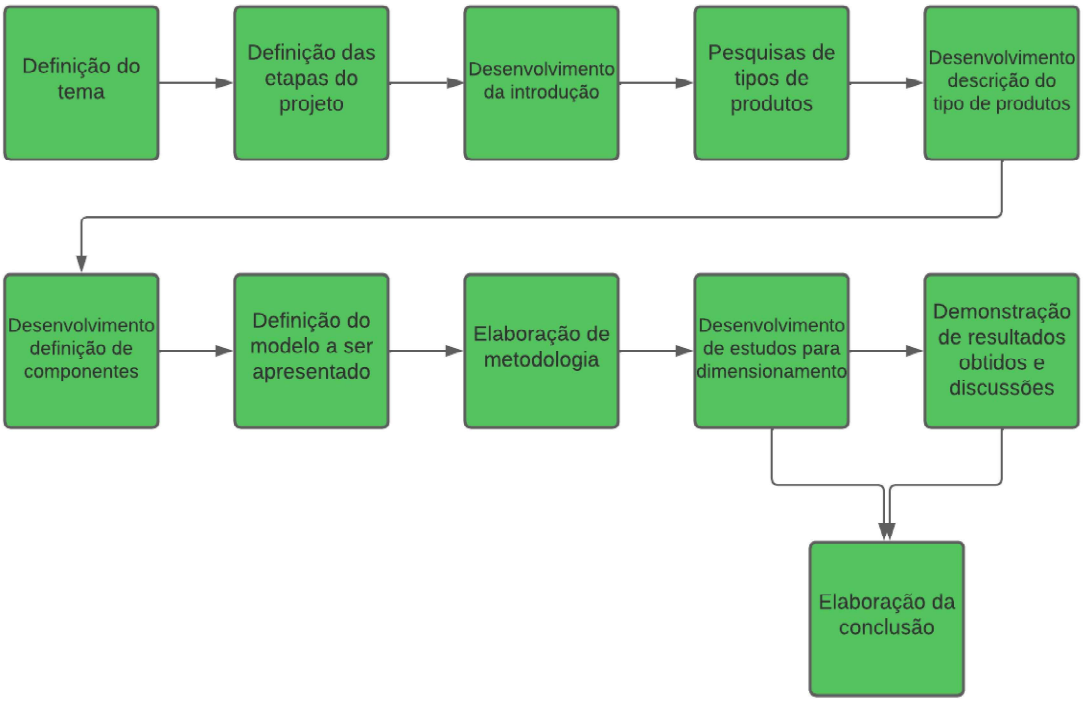
3.2 Dimensionamento de Engrenagens

Engrenagens	Dentes	Módulo
Z1	12	4
Z2	24	4
Z3	16	5
Z4	32	5

3.3 Rendimentos

Mancal	0,99
Engrenagem	0,98

3.4 Etapas de desenvolvimento do Trabalho



4. Resultados e Discussão

4.1 Dimensionamento do cabo:

Tabela 1: Materiais e Solicitação de Tração

Materiais	Tensão de escoamento de [Mpa]	Tensão de ruptura [Mpa]
Aço Carbono		
ABNT 1010 - L	220	320
- T	380	420
ABNT 1020 - L	280	360
- T	480	500
ABNT 1030 - L	300	480
- T	500	550
ABNT 1040 - L	360	600
- T	600	700
ABNT 1050 - L	400	650
Aço Liga		
ABNT 4140 - L	650	780
- T	700	1000
ABNT 8620 - L	440	700
- T	700	780
Ferro Fundido		
Cinzento	-	200
Branco	-	450
Preto F	-	350
P	-	550
Modular	-	650

Fonte: Sarkis (1999).

Quadro 1 – Fator de segurança

APLICAÇÕES	FATORES DE SEGURANÇA
CABOS E CORDOALHAS ESTÁTICAS	3 A 4
CABO PARA TRAÇÃO NO SENTIDO HORIZONTAL	4 A 5
GUINCHOS, GUINDASTES, ESCAVADEIRAS	5
PONTES ROLANTES	6 A 8
TALHAS ELÉTRICAS E OUTRAS	7
GUINDASTES ESTACIONÁRIOS	6 A 8
LAÇOS	5 A 6
ELEVADORES DE OBRA	8 A 10
ELEVADORES DE PASSAGEIROS	12

Fonte: Disponível em: https://www.skf.com/br/products/rolling-bearings/roller-bearings/cylindrical-roller-bearings/single-row-full-complement-cylindrical-roller-bearings. Acesso em: 29 mai. 2023.

Através das tabelas, selecionou-se o aço SAE 4140, pois é utilizado na fabricação de diferentes componentes mecânicos onde se deseja uma boa combinação de resistência mecânica média e resistência à fratura, com sua tensão de escoamento de 650 e fator de segurança da ponte rolante entre 6 a 8, a partir dessa informação terá a tensão admissível.

$$\sigma_{admissivel} = \frac{\sigma_e}{K} \therefore \frac{650}{6} = 108,33\ [MPa] \qquad \text{Eq.1}$$

$$\sigma_{admissivel} = \frac{F}{A} \therefore A = \frac{50000}{108,33} = 461,55[mm^2]$$

$$d = 1,13.\sqrt{A} \therefore 1,13.\sqrt{461,55} = 24,28\ [mm] = 25\ [mm] = 1\ [pol] \qquad \text{Eq.2}$$

Tabela 2: Cabos de aço

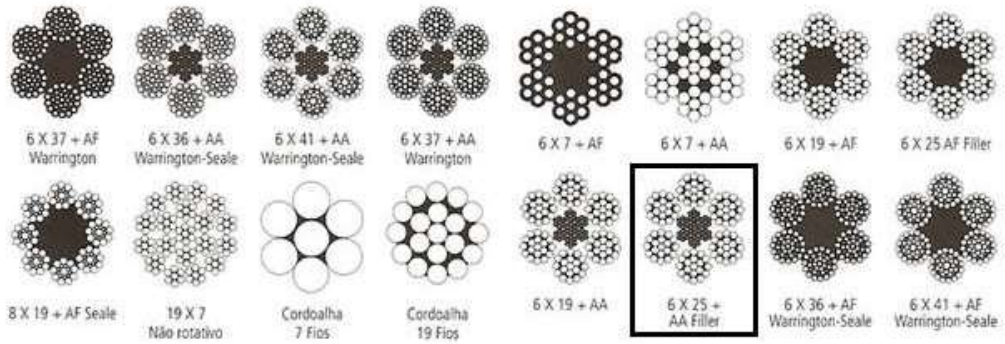
BITOLA		TABELA DE PESO				TABELA IPS				TABELA EIPS			
DIÂMETROS		PESO EM Kg POR METRO LINEAR				CARGAS DE RUPTURAS - RESISTÊNCIA 1770 N/mm² (IPS) em Kgf				CARGAS DE RUPTURAS - RESISTÊNCIA 1960 N/mm² (EIPS) em Kgf			
Polegadas	Milimetros	6x7		6x25 e 6x41		6x7		6x25 e 6x41		6x7		6x25 e 6x41	
Pol.	mm	AF / AFA	AA / AACI	AF / AFA	AA / AACI	AF / AFA	AA / AACI	AF / AFA	AA / AACI	AF / AFA	AA / AACI	AF / AFA	AA / AACI
1/16"	1,59	0,012	0,013			151	163			167	181		
5/64"	1,99	0,014	0,015			236	255			261	283		
3/32"	2,38	0,019	0,021			340	367			376	407		
1/8"	3,18	0,034	0,037			604	653			669	723		
5/32"	3,97	0,054	0,061			944	1.021			1.045	1.130		
3/16"	4,76	0,078	0,086	0,088	0,097	1.359	1.469	1.351	1.457	1.505	1.627	1.496	1.613
1/4"	6,35	0,140	0,154	0,156	0,172	2.416	2.613	2.402	2.591	2.676	2.893	2.659	2.869
5/16"	7,94	0,221	0,244	0,244	0,268	3.778	4.085	3.755	4.051	4.183	4.523	4.158	4.486
3/8"	9,53	0,310	0,341	0,350	0,390	5.442	5.885	5.409	5.836	6.026	6.517	5.990	6.462
7/16"	11,10	0,430	0,473	0,480	0,520	7.383	7.983	7.339	7.917	8.176	8.840	8.126	8.767
1/2"	12,70	0,570	0,627	0,630	0,680	9.665	10.451	9.607	10.364	10.702	11.573	10.638	11.476
9/16"	14,30	0,710	0,781	0,790	0,880	12.254	13.250	12.160	13.139	13.569	14.672	13.487	14.550
5/8"	15,90	0,880	0,968	0,980	1,070	15.149	16.381	15.058	16.244	16.775	18.139	16.674	17.988
3/4"	19,10	1,250	1,380	1,410	1,550	21.860	23.638	21.729	23.441	24.207	26.176	24.061	25.957
7/8"	22,20	1,710	1,880	1,920	2,110	29.532	31.934	29.354	31.667	32.702	35.362	32.505	35.066
1"	25,40	2,230	2,450	2,500	2,750	38.660	41.804	38.427	41.454	42.810	46.291	42.552	45.904
1.1/8"	28,60			3,170	3,480			48.719	52.557			53.949	58.199
1.1/4"	31,80			3,910	4,300			60.231	64.977			66.697	71.951
1.3/8"	34,90			4,730	5,210			72.547	78.262			80.334	86.664
1.1/2"	38,00			5,630	6,190			86.007	92.783			95.239	102.743

Fonte: Cabos de aço Cable MAX. Disponível em: http://www.cabosdeacocablemax.com.br/tabela-de-cabos-de-aco.html. Acesso em: 29 mai. 2023.

De acordo com a tabela acima e com o diâmetro obtido no resultado, temos o valor de: 1 [pol] =25 [mm]; assim conseguimos os valores do peso em Kg por metro linear, e cargas de ruptura – resistência.

Com os valores ficando: <50000; corresponde ao peso que definimos para levantar.

Quadro 2 – Definição bitolas cabo de aço

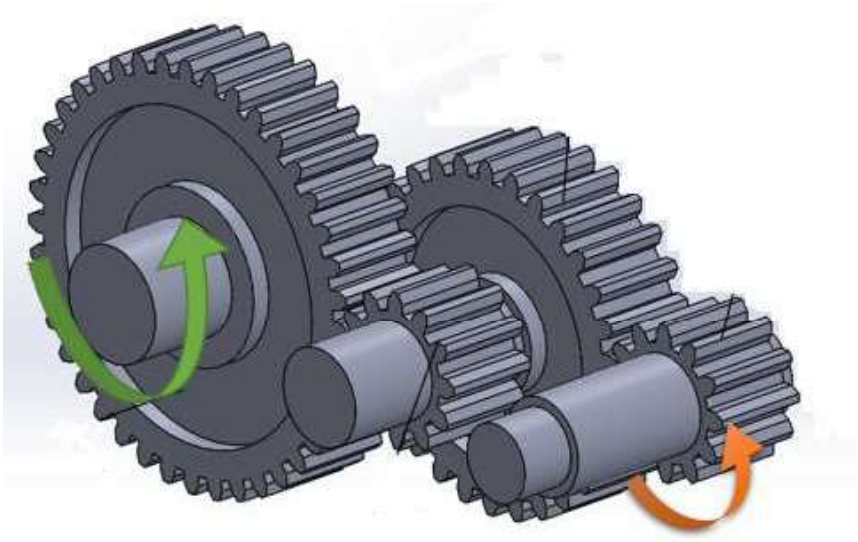


Fonte: Cabos de aço Cable MAX. Disponível em: http://www.cabosdeacocablemax.com.br/tabela-de-cabos-de-aco.html. Acesso em: 29 mai. 2023.

Definido o cabo 6x25 - AA Filler, por ser o cabo explorado na tabela 1, onde estão de acordo com os cálculos das equações 1 e 2. E assim define-se a bitola ideal para o cabo;

4.2 Solicitações Dinâmicas do Equipamento

Figura 5: Sistema de transmissão.



Fonte: Grupo IBR REDUTORES. Disponível em: <https://www.redutoresibr.com.br/>. Acesso em 26 jun. 2023.

4.2.1 Potência

A potência é um aspecto fundamental em uma ponte rolante, pois está diretamente relacionada à capacidade de levantamento e movimentação de cargas. O cálculo correto da potência é essencial para garantir o funcionamento adequado e seguro da ponte rolante.

$$Pm = 7,5\ [kW]$$

$$P_u = Pm.R\ [kW] \qquad \text{Eq.3}$$

$$P_{u1} = 7,5.0,98.0,99 = 7,28\ [kW]$$

$$P_{u2} = 7,28.0,98.0,99 = 7,06\ [kW]$$

$$P_{u3} = 7,06.0,98.0,99 = 6,85\ [kW]$$

4.2.2 Rotações

A rotação do motor em uma ponte rolante é importante para determinar a velocidade de movimentação da carga. A velocidade de rotação do motor influencia diretamente a velocidade de deslocamento da ponte rolante, bem como a velocidade de elevação e a velocidade de translação do carro.

$$n_m = 1400\ [rpm]$$

$$n_1 = n_m.\ i\ [rpm] \qquad \text{Eq.4}$$

$$n_1 = 1400\ .\ \frac{48}{96} = 700\ [rpm]$$

$$n_2 = 700.\frac{12}{24} = 350\ [rpm]$$

$$n_3 = 350.\frac{16}{32} = 175\ [rpm]$$

4.2.3 Momento Torçor (Torque)

O momento torçor, também conhecido como torque, é essencial em uma ponte rolante, pois está relacionado à capacidade de levantamento e movimentação de cargas. O momento torçor é a força rotacional aplicada pelo motor para girar os mecanismos de movimentação da ponte rolante.

$$Mt_m = \frac{Po \times 60}{2 \times \pi \times n} \therefore \frac{7,5.10^3 \times 60}{2 \times \pi \times 1400} = 51,16\ [N.m] \qquad \text{Eq.5}$$

$$Mt_1 = \frac{7{,}28.10^3 \times 60}{2 \times \pi \times 700} = 99{,}31\ [N.m]$$

$$Mt_2 = \frac{7{,}06.10^3 \times 60}{2 \times \pi \times 350} = 192{,}62\ [N.m]$$

$$Mt_3 = \frac{6{,}85.10^3 \times 60}{2 \times \pi \times 175} = 373{,}79\ [N.m]$$

4.2.4 Relação de transmissão

A relação de transmissão determina a proporção entre as velocidades de entrada e saída em um sistema de transmissão de energia. Em uma ponte rolante, a relação de transmissão é importante para o dimensionamento adequado dos mecanismos de movimentação, como o motor e os dispositivos de transmissão (engrenagens, polias, correias etc.).

- Para aumentar a potência, precisamos reduzir a velocidade i<1;

$$i = \frac{Mt_1}{Mt_2} \therefore Mt_2 = \frac{51{,}16}{0{,}5} = 102{,}32\ [N.m] \qquad \text{Eq.6}$$

4.3 Especificação do tipo de engrenagem do sistema de transmissão

4.3.1 Dimensionamento de Engrenagens

Engrenagens	Dentes	Módulo
Z1	12	4
Z2	24	4
Z3	16	5
Z4	32	5

4.3.2 Rendimentos

Mancal	0,99
Engrenagem	0,98

4.3.3 Cálculo das características geométricas

As características geométricas de uma engrenagem é essencial para o dimensionamento correto do sistema de transmissão de energia. Essas

características geométricas incluem o diâmetro primitivo, o número de dentes, o módulo, o passo e o ângulo de pressão da engrenagem.

$$D_p = m.z$$

$$D_e = m\,(z + 2)$$

$$D_i = m\,(z - 2,334)$$

$$a = 1.m$$

$$b = 1,167.m$$

$$h = m + 4,67$$

$$P = m.\pi$$

$$e = v = \frac{P}{2}$$

$$r = 0,3.m$$

$$f = 0,167.m$$

Legenda:

De – diâmetro externo

Di – diâmetro interno

Dp – diâmetro primitivo

h – altura total do dente

a – altura da cabeça do dente do, dimensão do diâmetro externo ao primitivo

b – altura do pé do dente, medida do diâmetro primitivo ao interno

e – espessura do dente

v – intervalo entre dentes

P – passo da engrenagem

L – largura da engrenagem

r – raio do fundo do vão

z – número de dentes da engrenagem

m – módulo da engrenagem

f – folga do fundo do vão

4.3.3.1 Engrenagem 1:

$$D_{p1} = 4.12 = 48\ [mm]$$

$$D_{e1} = 4(12 + 2) = 56\ [mm]$$

$$D_{i1} = 4(12 - 2,334) = 38,66\ [mm]$$

$$a = 1.4 = 4\ [mm]$$

$$b = 1,167.4 = 4,67\ [mm]$$

$$h = 4 + 4,67 = 8,67\ [mm]$$

$$P = 4.\pi = 12,57\ [mm]$$

$$e = v = \frac{12,57}{2} = 6,28\ [mm]$$

$$r = 0,3.4 = 1,2\ [mm]$$

$$f = 0,167.4 = 0.668\ [mm]$$

4.3.3.2 Engrenagem 2:

$$D_{p2} = 4.24 = 96\ [mm]$$

$$D_{e2} = 4(24 + 2) = 104\ [mm]$$

$$D_{i2} = 4(24 - 2,334) = 86,66\ [mm]$$

$$a = 1.4 = 4\ [mm]$$

$$b = 1,167.4 = 4,67\ [mm]$$

$$h = 4 + 4,67 = 8,67\ [mm]$$

$$P = 4.\pi = 12,57\ [mm]$$

$$e = v = \frac{12,57}{2} = 6,28\ [mm]$$

$$r = 0,3.4 = 1,2\ [mm]$$

$$f = 0,167.4 = 0.668\ [mm]$$

$$L_1 = \frac{96+48}{2} = 72\ [mm]$$

4.3.3.3 Engrenagem 3:

$$D_{p3} = 4.16 = 64\ [mm]$$

$$D_{e3} = 4(16 + 2) = 72\ [mm]$$

$$D_{i3} = 4(16 - 2,334) = 54,66\ [mm]$$

$$a = 1.5 = 5\ [mm]$$

$$b = 1,167.5 = 5,83\ [mm]$$

$$h = 5 + 4,67 = 9,67\ [mm]$$

$$P = 5.\pi = 15,71\ [mm]$$

$$e = v = \frac{15,71}{2} = 7,85\ [mm]$$

$$r = 0,3.5 = 1,5\ [mm]$$

$$f = 0,167.5 = 0.835\ [mm]$$

4.3.3.4 Engrenagem 4:

$$D_{p4} = 4.32 = 128\ [mm]$$

$$D_{e4} = 4(32 + 2) = 136\ [mm]$$

$$D_{i4} = 4(32 - 2,334) = 118,66\ [mm]$$

$$a = 1.5 = 5\ [mm]$$

$$b = 1,167.5 = 5,83\ [mm]$$

$$h = 5 + 4,67 = 9,67\ [mm]$$

$$P = 5.\pi = 15,71\ [mm]$$

$$e = v = \frac{15,71}{2} = 7,85\ [mm]$$

$$r = 0,3.5 = 1,5\ [mm]$$

$$f = 0,167.5 = 0.835\ [mm]$$

$$L_2 = \frac{64+128}{2} = 96\ [mm]$$

4.3.4 Seleção do material de fabricação das engrenagens do sistema

Aço SAE 4140

4.3.5 Determinação das forças provenientes dos engrenamentos

4.3.5.1 Carga Tangencial

A carga tangencial está relacionada à capacidade de levantamento e movimentação de cargas com segurança. A carga tangencial é a força exercida tangencialmente à superfície de contato entre a roda de um mecanismo de movimentação e o trilho ou trave de rolamento. Essa carga é gerada devido ao peso da carga suspensa, que precisa ser equilibrada e transmitida corretamente pelo sistema de movimentação da ponte rolante.

$$F_{tm} = \frac{2.M_t}{d} \therefore \frac{2.51{,}16}{16} = 6,395\ [kN] \qquad \text{Eq.7}$$

$$F_{t1} = \frac{2.99{,}31}{19} = 10,45\ [kN]$$

$$F_{t2} = \frac{2.192{,}62}{24} = 16,05\ [kN]$$

$$F_{t3} = \frac{2.373{,}79}{30} = 24,92\ [kN]$$

4.3.5.2 Carga Radial

A carga radial está relacionada à capacidade de suporte das rodas ou rolamentos que sustentam a carga e garantem a estabilidade durante a movimentação. A carga radial é a força exercida perpendicularmente à superfície de contato entre as rodas ou rolamentos e o trilho ou trave de rolamento. Essa carga é gerada devido ao peso da carga suspensa, bem como a outros fatores como desalinhamento, vibrações e forças laterais.

$$F_{rm} = F_t \times tg\propto \therefore 6,395.\ tg\ 20º = 2,33\ [kN] \qquad \text{Eq.8}$$

$$F_{r1} = 10,45.\ tg\ 20º = 3,80\ [kN]$$

$$F_{r2} = 16,05.\ tg\ 20º = 5,84\ [kN]$$

$$F_{r3} = 24,92.\ tg\ 20º = 9,07\ [kN]$$

4.3.5.3 Carga Resultante

A carga resultante permite determinar a carga total aplicada em uma determinada estrutura ou componente, levando em consideração todas as forças atuantes. É a combinação das cargas estáticas e dinâmicas que agem

sobre a ponte rolante, incluindo a carga suspensa, a carga tangencial, a carga radial e outras forças externas como vento ou aceleração. O cálculo preciso da carga resultante é essencial para garantir a integridade estrutural, a segurança e o desempenho adequado da ponte rolante.

$$F_{nm} = \sqrt{F_t^{\,2} + F_r^{\,2}} \therefore \sqrt{6,395^2 + 2,33^2} = 6,81\ [kN] \qquad \text{Eq.9}$$

$$F_{n1} = \sqrt{10,45^2 + 3,80^2} = 11,12\ [kN]$$

$$F_{n2} = \sqrt{16,05^2 + 5,84^2} = 17,08\ [kN]$$

$$F_{n3} = \sqrt{24,92^2 + 9,07^2} = 26,52\ [kN]$$

4.4 Dimensionamento dos eixos-árvores

O dimensionamento dos eixos-árvores são responsáveis por transmitir o torque e suportar as cargas aplicadas durante o funcionamento da máquina. Os eixos-árvores são elementos mecânicos que conectam os componentes do sistema de transmissão de energia, como motores, engrenagens, polias, entre outros. Eles devem ser dimensionados adequadamente para suportar as cargas, minimizar o desgaste e evitar falhas prematuras.

Diâmetro eixo-árvore

$$d_m = \sqrt[3]{\frac{Mt.16}{\pi.\tau_t \rightarrow}} \therefore \sqrt[3]{\frac{51,16.10^3.16}{\pi.75,83}} = 15,08\ [mm] = 16\ [mm] = \frac{19}{32}\ [pol] \qquad \text{Eq.10}$$

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{99,31.10^3.16}{\pi.75,83}} = 18,82\ [mm] = 19\ [mm]$$

$$d_2 = \sqrt[3]{\frac{192,62.10^3.16}{\pi.75,83}} = 23,47\ [mm] = 24\ [mm]$$

$$d_3 = \sqrt[3]{\frac{373,79.10^3.16}{\pi.75,83}} = 29,28\ [mm] = 30\ [mm]$$

4.4.1 Cálculo das reações nos mancais de apoio de cada eixo

As reações nos mancais de apoio de cada eixo é de extrema importância, pois permite determinar as forças e momentos atuantes nos mancais, garantindo que sejam projetados e dimensionados corretamente para suportar as cargas e as condições de operação. Os mancais de apoio são responsáveis por suportar as cargas e fornecer o apoio necessário para os eixos da ponte rolante. Esses mancais devem ser projetados para suportar as reações resultantes das cargas aplicadas, incluindo a carga suspensa, a carga radial, a carga tangencial e outras forças externas.

- Distância mancais (guincho) (2 mancais) = 1038 [mm]
- Distância mancais (carro de movimentação) (8 mancais) = 146,19 [mm]
- Peso total da ponte = 38 [kN]

$$\frac{1038}{2} = 519\ [mm] \therefore M_1 = 0,519.50000 = 25950\ [N.m]$$

$$\frac{146,19}{8} = 18,27\ [mm] \therefore M_2 = 0,01827.88000 = 1607,76\ [N.m]$$

4.4.2 Seleção do Material de fabricação dos eixos de Transmissão

Aço SAE 4140

4.4.3 Dimensionamento dos eixos-árvores à flexo-torção

4.4.3.1 Tensão de torção

A tensão de torção é de extrema importância, pois permite determinar as tensões presentes nos elementos sujeitos a esforços de torção, como eixos, e garantir que eles estejam dentro dos limites de segurança. A tensão de torção ocorre quando uma peça é submetida a momentos de torção, resultantes da aplicação de um torque. Em uma ponte rolante, os eixos que transmitem o torque dos motores para os mecanismos de movimentação estão sujeitos a essas tensões.

$$\tau_t = 0,7.\sigma_e \therefore 0,7.650 = 455\ [MPa] \qquad \text{Eq.11}$$

4.4.3.2 Tensão admissível ao cisalhamento

A tensão de cisalhamento admissível é importante para determinar a capacidade de carga e a resistência dos materiais utilizados em elementos estruturais que estão sujeitos a forças de cisalhamento. A tensão de cisalhamento é uma medida da intensidade da força de cisalhamento em uma determinada seção transversal de um componente estrutural. Ela é calculada dividindo-se a força de cisalhamento pela área da seção transversal sujeita à ação dessa força.

$$\tau_{t} \rightarrow = \frac{\tau_{t}}{K} \therefore \frac{455}{6} = 75,83\ [MPa] \qquad \text{Eq.12}$$

4.4 Especificação das Chavetas

Quadro 3 – Tabela de dimensões para chavetas planas

Tabela de dimensões para chavetas planas DIN 6885

Diâmetro do eixo d	Chaveta bxh	Rasgo t_1	Rasgo tt_2	L comprimentos normalizados
>6 até 8	2x2	1,1	1,0	6 - 8 - 10 - 12 - 14 - 16 - 18 -20
>8 até 10	3 x 3	1,7	1,4	6...20 - 22 - 25 - 28 - 32 - 36
>10 até 12	4 x 4	2,4	1,7	8....36 - 40 - 45
>12 até 17	5 x 5	2,9	2,2	10.....36 - 40 - 45
>17 até 22	6 x 6	3,5	2,6	14...56 - 63 - 70
>22 até 30	8 x 7	4,1	3,0	18...70 - 80 - 90
>30 até 38	10 x 8	4,7	3,4	22...90 - 100 - 110
>38 até 44	12 x 8	4,9	3,2	28...110 - 125 - 140
>44 até 50	14 x 9	5,5	3,6	36...140 - 160
>50 até 58	16 x 10	6,2	3,9	45...160 - 180
>58 até 65	18 x 11	6,8	4,3	50...180 - 200
>65 até 75	20 x 12	7,4	4,7	56...200 - 220
>75 até 85	22 x 14	8,5	5,6	63...220 - 250
>85 até 95	25 x 14	8,7	5,4	70...250 - 280
>95 até 110	28 x 16	9,9	6,2	80...280 - 315
>110 até 130	32 x 18	11,1	7,1	90...315 - 355
>130 até 150	36 x 20	12,3	7,9	100...355 - 400
>150 até 170	40 x 22	13,5	8,7	110...400
>170 até 200	45 x 25	15,3	9,9	125...400
>200 até 230	50 x 28	17	11,2	140...400
>230 até 260	56 x 32	19,3	12,9	160...400
>260 até 290	63 x 32	19,6	12,6	180...400
>290 até 330	70 x 36	22	14,2	200...400
>330 até 380	80 x 40	24,6	15,6	220...400
>380 até 440	90 x 45	27,5	17,7	250...400
>440 até 500	100x 50	30,4	19,8	280...400

Fonte: MELCONIAN, S. Mecânica Técnica e Resistência dos Materiais. São Paulo: Érica, 1999.

Diâmetro dos eixos:

- $d_m = 16\ [mm]$
- $d_1 = 19\ [mm]$
- $d_2 = 24\ [mm]$
- $d_3 = 30\ [mm]$

4.4.1 Especificação chaveta

A especificação de chaveta é importante para garantir a transmissão eficiente e segura do torque entre o eixo e o componente acoplado, como uma engrenagem ou polia. A chaveta é um elemento de ligação que evita o deslizamento relativo entre o eixo e o componente, transmitindo o torque de maneira adequada.

$$l_{cm} = \frac{F_t}{\tau_t \times b} \therefore \frac{6{,}395.10^3}{455.5} = 2,81\ [mm] \qquad \text{Eq.13}$$

$$l_{c1} = \frac{10{,}45.10^3}{455.6} = 3,83\ [mm]$$

$$l_{c2} = \frac{16{,}05.10^3}{455.8} = 4,41\ [mm]$$

$$l_{c3} = \frac{24{,}92.10^3}{455.8} = 6,85\ [mm]$$

$$l_{em} = \frac{F_t}{\tau_t \rightarrow \times (h - t_1)} \therefore \frac{6{,}395.10^3}{75{,}83.(5-2{,}9)} = 40,16\ [mm] = 41\ [mm] \qquad \text{Eq.14}$$

$$l_{e1} = \frac{10{,}45.10^3}{75{,}83.(6-3.5)} = 55,12\ [mm] = 56\ [mm]$$

$$l_{e2} = \frac{16{,}05.10^3}{75{,}83.(7-4{,}1)} = 72,99\ [mm] = 73\ [mm]$$

$$l_{e3} = \frac{24{,}92.10^3}{75{,}83.(7-4{,}1)} = 113,32\ [mm] = 114\ [mm]$$

Especificação das chavetas: chaveta plana (DIN 6885); Aço SAE 1060; Forma A; 5x5x41[mm];

Especificação das chavetas: chaveta plana (DIN 6885); Aço SAE 1060; Forma A; 6x6x56[mm];

Especificação das chavetas: chaveta plana (DIN 6885); Aço SAE 1060; Forma A; 8x7x73[mm];

Especificação das chavetas: chaveta plana (DIN 6885); Aço SAE 1060; Forma A; 8x7x114[mm];

4.5 Especificação dos rolamentos dos mancais

4.5.1 Cálculo da vida nominal do rolamento

A vida nominal do rolamento é importante para determinar a expectativa de vida útil dos rolamentos utilizados nos mecanismos de movimentação. A vida nominal do rolamento é uma estimativa do tempo de funcionamento em horas que um rolamento pode operar antes de apresentar sinais de fadiga, como desgaste excessivo, ruídos, folgas ou falhas.

Tabela 3 – Dimensões e carga do rolamento

Designation	Dimensões principais			Capacidades de carga básica		Classificações de velocidade	
				dynamic	static	Reference speed	Limiting speed
	d [mm]	D [mm]	B [mm]	C [kN]	C_0 [kN]	[r/min]	[r/min]
NCF 3004 CV	20	42	16	28.1	28.5	8 500	10 000
NCF 3005 CV	25	47	16	31.9	35.5	7 000	9 000
NJG 2305 VH	25	62	24	68.2	68	4 500	5 600
NCF 3006 CV	30	55	19	39.6	44	6 000	7 500
NJG 2306 VH	30	72	27	84.2	86.5	4 000	4 800

Fonte: SKF Rolamentos. Disponível em: https://www.skf.com/br/products/rolling-bearings/roller-bearings/cylindrical-roller-bearings/single-row-full-complement-cylindrical-roller-bearings. Acesso em: 29 mai. 2023.

Diante da tabela acima (Tabela 3), e com os dados que conseguimos, temos o diâmetro interno de 30 [mm] e a carga resultante total de 61,53 [kN], e quantidade total de 10 rolamentos de rolos cilíndricos;

$$L_h = \frac{10^6}{60 \times n} \times \left(\frac{C}{P}\right)^{\rho} \therefore \frac{10^6}{60 \times 1400} \times \left(\frac{84{,}2}{6{,}153}\right)^{\frac{10}{3}} = 72968{,}93\ horas \qquad \text{Eq.15}$$

Conclusão

Durante o processo de desenvolvimento do dimensionamento da talha elétrica, foram considerados diversos aspectos e requisitos para garantir a

precisão e segurança do projeto. A carga de elevação, as condições climáticas locais, as distâncias percorridas horizontal e verticalmente, o tipo de viga e sistema mecânico, assim como os materiais dos componentes, foram minuciosamente avaliados e levados em consideração.

Essas informações foram utilizadas para orientar o projeto, seguindo as diretrizes e fórmulas matemáticas estabelecidas na norma NBR 8400. Ao aplicar os conhecimentos adquiridos durante o curso de Engenharia, especialmente os conceitos relacionados à resistência dos materiais, elementos da máquina ,foi possível enfrentar e solucionar os desafios que surgiram durante o processo.

A experiência interdisciplinar adquirida desempenhou um papel fundamental ao conectar a teoria aprendida em sala de aula com a realidade do mercado, preparando-se para os desafios e avanços constantes da área. Para realizar o dimensionamento, foram utilizados catálogos de fornecedores reais, além de suposições lógicas e análises críticas.

Com o objetivo de garantir a confiabilidade e segurança do projeto, foram considerados os coeficientes de melhoria e os fatores de segurança prescritos pelas normas aplicáveis. Essas medidas asseguraram que o projeto estivesse em conformidade com os padrões estabelecidos, mitigando riscos e proporcionando uma estrutura confiável.

Em resumo, o desenvolvimento do dimensionamento da talha elétrica permitiu consolidar os conhecimentos adquiridos durante o curso de Engenharia e aplicar os conceitos teóricos na prática. A abordagem interdisciplinar adotada possibilitou uma compreensão mais abrangente da engenharia, permitindo enfrentar com sucesso os desafios reais da indústria.

Agradecimentos

Primeiramente a Deus, pela existência, também por ajudar no dia a dia passando por diversas barreiras ao longo desses anos.

A família que mesmo não estando diversas vezes ao lado deles, mesmo assim nos incentivaram a nunca desistir.

Aos professores os seus ensinamentos e correções em todo este período de aprendizado. E ao Prof.Francisco Reginaldo pelas orientações prestadas para o desenvolvimento deste trabalho.

E a todos que de forma direta ou indiretamente fizeram parte da formação, meu muito obrigado.

Referências

ABIMAQ - Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos. Ponte Rolante. Disponível em: https://www.abimaq.org.br/portal/equipamentos/ponte-rolante. Acesso em: 10 abr. 2023.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 11 - Transporte, Movimentação, Armazenagem e Manuseio de Materiais. Disponível em: http://www.trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR11.pdf. Acesso em: 10 abr. 2023.

COLLIS, J.; HUSSEY, R. Pesquisa em Administração: um guia prático para alunos de graduação e pós-graduação. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

GIL, Antonio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisas. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GRUPO BREVIL. Disponível em: https://www.brevil.ind.br/. Acesso em 24 abr. 2023.

GRUPO EWALESCO. Disponível em: https://www.ewalesco.com.br/. Acesso em 24 abr. 2023.

GRUPO IBR REDUTORES. Disponível em: <https://www.redutoresibr.com.br/>. Acesso em 26 jun. 2023.

GRUPO STAHL. Disponível em: http://www.stahl-talhas.com.br/. Acesso em 24 abr. 2023.

HIBBELER, R. C. Resistência dos Materiais. Tradução de Joaquim Pinheiro Nunes da Silva. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.

KASSIMALI, ASLAM. Análise Estrutural. 1. ed. [S. l.]: Cengage Learning, 2015. 820 p. ISBN 978-8522118175.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Mariana de Andrade. Metodologia do trabalho Científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos. 7.ed. São Paulo: Atlas, 2008.

LEME, Luiz Fernando Prado. DIMENSIONAMENTO PRÁTICO PARA ESTRUTURAS DE PONTES ROLANTES: PROJETANDO FACILMENTE. 1. ed. [S. l.]: Luiz Fernando Prado Leme, 2020. 249 p. v. 1. ISBN B08CCF93TH.

LUZ, Gelson. Tensão Admissível (Cálculo e Tabelas e o Coeficiente de Segurança). Blog Materiais, [s. l], 2017. Disponível em: https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/12/tensao-admissivel.html. Acesso em: 29 de mai. 2023.

MACCAHAN, Susan. Projetos de Engenharia - Uma Introdução. Grupo GEN, 2017. Ebook. ISBN 9788521634546. Disponível em:https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521634546/. Acesso em: 29 mai. 2023.

MELCONIAN, S. Mecânica Técnica e Resistência dos Materiais. São Paulo: Érica, 1999.