



INSTITUTO FEDERAL
MINAS GERAIS

André Luis dos Santos Brito
João Victor Costa
Leonardo Simões Nascimento
Lucas de Souza Lemos

Projeto: Ponte Rolante Univiga

Arcos - MG

8 de dezembro de 2017

André Luis dos Santos Brito
João Victor Costa
Leonardo Simões Nascimento
Lucas de Souza Lemos

Projeto: Ponte Rolante Univiga

Projeto apresentado à disciplina de TAI –Trabalho Acadêmico Integrador do curso de Engenharia Mecânica ministrado no Instituto Federal de Minas Gerais, Campus Arcos como requisito à aprovação parcial de todas as disciplinas.

Instituto Federal de Minas Gerais
Campus Arcos
Graduação em Engenharia Mecânica

Orientador: Márcio Rezende Santos
Orientador 2: Firmino Geraldo de Oliveira Júnior

Arcos - MG
8 de dezembro de 2017

André Luis dos Santos Brito
João Victor Costa
Leonardo Simões Nascimento
Lucas de Souza Lemos

Projeto: Ponte Rolante Univiga
André Luis dos Santos Brito
João Victor Costa
Leonardo Simões Nascimento
Lucas de Souza Lemos
– Arcos - MG, 8 de dezembro de 2017-
44 p.

Orientador: Márcio Rezende Santos

– Instituto Federal de Minas Gerais
Campus Arcos
Graduação em Engenharia Mecânica, 8 de dezembro de 2017.
1. Big Bags. 2. Ponte Rolante. 3. TAI 3 4. Maquete

André Luis dos Santos Brito
João Victor Costa
Leonardo Simões Nascimento
Lucas de Souza Lemos

Projeto: Ponte Rolante Univiga

Projeto apresentado à disciplina de TAI – Trabalho Acadêmico Integrador do curso de Engenharia Mecânica ministrado no Instituto Federal de Minas Gerais, Campus Arcos como requisito à aprovação parcial de todas as disciplinas.

Firmino Geraldo de Oliveira Júnior
Orientador

Marcio Rezende Santos
Orientador 2

Andressa Alves Giarola

Flávio Fernandes Barbosa Silva

Jefferson Rodrigues da Silva

**Luiz Augusto Ferreira de Campos
Viana**

Reginaldo Gonçalves Leão Junior

Agradecimentos

Agradecemos primeiramente a Deus, sem Ele jamais teria sido possível a conclusão deste trabalho. Aos nossos familiares, pelo apoio e incentivo.

Resumo

Pontes Rolantes são equipamentos usados para movimentar as cargas principalmente no setor industrial. São capazes de operar em elevados ciclos de trabalho, proporcionando maior segurança e agilidade para o setor produtivo. Esse trabalho trata-se de um projeto com 10 meses de duração, sendo o primeiro entregável o conjunto trole e talha, e a viga principal. Os cálculos da estrutura foram baseados nas normas NBR 8400 e NBR 8800, onde as mesmas oferecem diversas situações para cada tipo de projeto. Após realizados, foi selecionado o perfil W250x67, feita do aço ASTM A572 grau 50. Foi então desenvolvida a modelagem no *software* inventor, proporcionando melhor visão do sistema. E por fim, o desenvolvimento de uma maquete representativa que simula o funcionamento da talha durante o içamento de um objeto.

Palavras-chaves: Ponte Rolante. Tensão. Talha.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Ponte Rolante.	10
Figura 2 – Viga principal univiga apoiada.	14
Figura 3 – Ponte rolante biviga suspensa.	15
Figura 4 – Ponte rolante e seus componentes.	15
Figura 5 – Roda de aço da ponte rolante.	16
Figura 6 – Esboço Ponte Rolante	17
Figura 7 – Dimensões do galpão	18
Figura 8 – Talha Elétrica	19
Figura 9 – Momento na viga.	24
Figura 10 – Dimensões da viga	27
Figura 11 – Força cortante máxima	29
Figura 12 – Modelagem 3D	30
Figura 13 – Esboço primeira parte da Maquete.	35
Figura 14 – Montagem da talha.	35
Figura 15 – Representação da talha.	35
Figura 16 – Parte da maquete finalizada.	36
Figura 17 – Coeficientes de Atrito	39
Figura 18 – Carga perto da reação A	41
Figura 19 – Estudos das reações	42
Figura 20 – Gráfico Aços	43
Figura 21 – Dimensões dos perfis W	44

Lista de tabelas

Tabela 1 – Classes de utilização	19
Tabela 2 – Estados de carga	20
Tabela 3 – Grupos	21
Tabela 4 – Valores do coeficiente de majoração para equipamentos industriais	21
Tabela 5 – Classes de funcionamento	22
Tabela 6 – Tempos de acelerações e acelerações	23
Tabela 7 – Valores do coeficiente dinâmico Ψ	23
Tabela 8 – Estado de solitação dos mecanismos	25
Tabela 9 – Grupos dos mecanismos	25
Tabela 10 – Valores de q	26
Tabela 11 – Valores de FS_r	26
Tabela 12 – Dados principais da Talha.	37
Tabela 13 – Propriedades mecânicas do aço ASTM A 572 Grau 50.	43

Sumário

1	INTRODUÇÃO	10
	Introdução	10
1.1	Justificativa	11
1.2	Objetivos	11
1.2.1	Objetivos Gerais	11
1.2.2	Objetivos Específicos	12
1.2.2.1	Metas	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1	Revisão bibliográfica	13
2.2	Movimentação da carga	13
2.3	Tipos de ponte rolante	14
2.3.1	Ponte rolante apoiada	14
2.3.2	Ponte rolante suspensa	14
2.4	Componentes principais da ponte rolante	15
3	METODOLOGIA	17
3.1	Metodologia utilizada no projeto segundo a norma ABNT NBR 8400	17
3.1.1	Características da Ponte Rolante	18
3.1.2	Sistema de elevação da carga	18
3.1.3	Classe de utilização do equipamento	19
3.1.4	Classificação da estrutura dos equipamentos em grupo	20
3.1.5	Classe de funcionamento	21
3.1.6	Solicitações devidas aos movimentos verticais	22
3.1.7	Cálculo da carga total e do momento fletor atuante sobre a viga	22
3.1.8	Definição do estado de solicitação e do grupo de mecanismos	24
3.1.9	Verificação dos mecanismos em relação a ruptura	25
3.1.10	Verificando a tensão normal	27
3.1.11	Verificação em relação ao limite de escoamento	28
3.1.12	Verificando a deflexão	29
3.1.13	Modelagem	30
4	CONCLUSÃO	31
	Conclusão	31

REFERÊNCIAS	32
APÊNDICES	33
APÊNDICE A – MAQUETE ILUSTRATIVA	34
APÊNDICE B – INFORMAÇÕES GERAIS DA TALHA	37
APÊNDICE C – CALCULOS NA VIGA	41
APÊNDICE D – SOBRE O AÇO ASTM A 572 GRAU 50	43
APÊNDICE E – DIMENSÕES DE PERFIS W	44

1 Introdução

Atualmente a busca pela redução de custos e desperdícios tem se tornado um dos alvos principais de uma empresa. Segundo (SORDI, 2016), "entende-se por desperdícios todo insumo consumido de forma não eficiente e não eficaz desde materiais e produtos defeituosos, até atividades desnecessárias".

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

Em vista disso, o uso de pontes rolantes contribui no setor produtivo de modo a substituir a mão de obra pelo método mecânico, possibilitando que essa mão de obra possa ser utilizada em outros serviços da empresa. Além disso, aumenta a capacidade do estoque devido a possibilidade de exploração de locais restritos, e intensifica a qualidade de trabalho, desde que seja manuseado corretamente (PASSOS, 2011).

As pontes rolantes (Figura 1) são equipamentos robustos e versáteis que operam com autos ciclos de trabalho. Sua característica principal é a movimentação de materiais em locais onde outros maquinários e o trabalho braçal se tornam limitados (SORDI, 2016).

Figura 1 – Ponte Rolante.



Fonte: <<http://www.vedantranes.com/products/single-girder-eot-cranes-sgvc.html>> (2017)>

Para projetar uma ponte rolante é necessário seguir a norma ABNT NBR (8400, 1984), e outras caso necessário, pois elas dão a sustentação do projeto para que esse equipamento tenha segurança e eficiência. Além disso, o projetista também deve analisar diversos fatores durante os cálculos da estrutura, como exemplo, se o local de atuação

da ponte rolante é a campo aberto, pois as solicitações devidas ao esforço aerodinâmico nesse caso, devem ser consideradas.

1.1 Justificativa

Atualmente na fazenda de café João Arcanjo, na cidade de Candeias Minas Gerais, o setor de beneficiamento de café conta com o sistema de sacaria para realizar o transporte de carga para outras regiões. Porém com a demanda alta este sistema está sendo incapaz de contê-la. Em busca de resolver o problema, pretende-se com este trabalho desenvolver uma Ponte Rolante Univiga que realize o processo de carregamento dos caminhões com agilidade e eficiência, e também a estocagem de *Big Bags* de café. Analisando o local disposto do galpão verificou-se que o uso de uma empilhadeira para realizar tais processos seria inexecutável, pois a mesma necessita de espaço para realizar manobras, além do problema do combustível que a alimenta, o gás.

O uso de uma ponte rolante no local elimina o gasto com mais funcionários, visto que para realizar o carregamento por sacaria necessita de pelo menos três funcionários. Além de ser um trabalho exaustivo, o carregamento por sacaria prejudica a saúde do trabalhador, pois exige um grande esforço dos trabalhadores para cumprir o prazo estabelecido.

O desenvolver de tal projeto agrega para os integrantes da equipe grande conhecimento sobre estruturas de pontes rolantes, além do uso de normas técnicas, visto que todo o cálculo da estrutura é feito perante a norma ABNT NBR (8400, 1984).

O uso de ferramentas de gestão de projetos proporciona melhor controle e andamento das atividades, evitando o atraso decorrente de eventos inesperados que acabam prejudicando parcialmente ou completamente o andamento do projeto. Portanto, pretende-se com este projeto não so uma solução para o problema, mas também o conhecimento necessário que um engenheiro mecânico deve ter na sua vida profissional, e também a aprovação parcial em todas as disciplinas decorrentes.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Gerais

Com o desenvolvimento deste projeto pretende-se obter conhecimento sobre elevações e transportes de cargas para projetar uma Ponte Rolante que atenda às necessidades do setor de beneficiamento de café da fazenda João Arcanjo. O uso da norma ABNT NBR (8400, 1984) gera grandes saberes que são de grande importância para o engenheiro mecânico. Sendo assim almeja-se usufruir de tais conhecimentos a longo prazo na execução

de outros projetos.

O uso de estratégias de administração estudado no decorrer do período proporciona amplo conhecimento sobre gestão de projetos, contribuindo para o andamento das atividades, e auxiliando no desempenho do projeto para obtenção de nota em todas as disciplinas decorrentes.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Obter conhecimento sobre elevação e transporte de cargas para projetar uma ponte rolante que atenda às necessidades do setor de beneficiamento de café da fazenda, segundo a norma ABNT NBR (8400, 1984);
- Desenvolver habilidades em gestão de projetos;
- Obtenção de nota parcial em todas as disciplinas.

1.2.2.1 Metas

- Obter conhecimentos imprescindíveis para a longo prazo realizar outros projetos.

2 Fundamentação teórica

2.1 Revisão bibliográfica

([MAXIMIANO, 1997](#)) afirma em seu livro que projeto é o empreendimento intencionalmente orientado para um objetivo, definindo projeto como uma atividade temporária. Apresenta também orientações para o gerenciamento de projetos, que se mostra como parte fundamental para que ocorra o funcionamento do mesmo a fim de obter um resultado concreto. O autor relata sobre as dificuldades e maneiras de se gerir um projeto, e aconselha a utilização do *PMbook* afim de ter o produto como resultado final. Segundo ([NORTON, 2013](#)) a metodologia de projetos é fundamentalmente um exercício de engenharia aplicado. Diversas metodologias de projetos foram criadas para enfrentar um tipo de problema no qual existe diferentes soluções possíveis.

([NORTON, 2013](#)) ressalta que em qualquer tipo de estrutura ou máquina as vigas são comumente usadas. São definidas como uma peça sujeita a esforços transversais em seu comprimento. Em seu livro afirma que vigas são importantes elementos para a engenharia. Fornece ainda tabelas, equações, e informações essenciais para verificação de tensões atuantes sobre uma viga.

([RUDENKO, 1976](#)) afirma que é extremamente difícil classificar os diversos tipos de máquinas existentes, devido as máquinas de elevação e transporte possuírem suas classificações baseadas em diversas características, como por exemplo: projetos, finalidades, tipos de movimento, entre outros. Em seu livro fornece informações sobre os tipos de máquinas utilizadas para realização do transporte de cargas, descreve as partes e unidades das máquinas de elevação, além de demonstrações de cálculo para auxiliar o entendimento.

2.2 Movimentação da carga

A movimentação de cargas compreende operações de elevação, transporte e descarga de objetos e/ou materiais, além de poder ser executada mecanicamente ou manualmente ([PASSOS, 2011](#)). Porém de acordo com ([RUDENKO, 1976](#)), “as máquinas de elevação e transporte devem ser mecanizadas ao máximo possível, de modo a empregar um pequeno número de trabalhadores para controle, manutenção e serviços auxiliares”.

2.3 Tipos de ponte rolante

As pontes rolantes podem ser caracterizadas como ponte rolante apoiada e ponte rolante suspensa, sendo distinguidas entre univiga ou biviga. A definição de qual modelo de ponte rolante a se usar é determinada pelo projetista, pela análise do local, verificação de possíveis restrições, o que será carregado, e como precisa ser carregado.

2.3.1 Ponte rolante apoiada

Neste tipo de ponte rolante, a viga principal faz o deslocamento em cima dos trilhos do caminho de rolamento, e os trilhos são sustentados pelas colunas do próprio local. Caso o projeto do local não tenha previsto a instalação de uma ponte rolante, os trilhos são sustentados por estruturas fabricadas de aço, permitindo o funcionamento da ponte rolante.

A Figura 2 representa uma ponte rolante univiga apoiada, que permite um melhor aproveitamento da altura, pois a mesma comporta o caminho de rolamento como sendo inferior à altura de elevação da carga. A ponte rolante univiga tem por característica uma única viga na cobertura de seu vão, que por sua vez atua em sentido transversal limitando assim a capacidade da mesma.

Figura 2 – Viga principal univiga apoiada.



Fonte: <<https://www.logismarket.ind.br>>, adaptado pelos autores (2017.)

2.3.2 Ponte rolante suspensa

A viga principal desse tipo de ponte rolante é formada por duas vigas paralelas que cobrem o vão de trabalho (Figura 3). Elas se deslocam por debaixo do caminho de rolamento, o que permite um melhor aproveitamento do comprimento do local, visto que a talha possui um espaço maior para se locomover (SORDI, 2016).

Figura 3 – Ponte rolante biviga suspensa.



Fonte: <www.duren.com.br/>, adaptado pelos próprios autores (2017).

2.4 Componentes principais da ponte rolante

As pontes rolantes possuem vários componentes com determinadas funções (Figura 4), são eles: viga principal, cabeceiras, caminho de rolamento, carro trole e rodas.

Figura 4 – Ponte rolante e seus componentes.



Fonte: <<http://infraestruturaurbana17.pini.com.br>> , adaptado pelos autores (2017).

- **Viga principal**

É a principal estrutura da ponte e a primeira a ser dimensionada pelo projetista. É nela que o conjunto trole e talha se movimentam, e onde se concentra um grande esforço fletor e cisalhante (Figura 4 item 1.1).

- **Carro Trole**

Equipamento responsável pelo movimento vertical e horizontal da carga. Possui uma talha que permite o levantamento do material, um tambor para recolhimento do cabo de aço e um gancho na extremidade do cabo de aço para fixação da carga (Figura 4 carro em que o item 1.3 está fixado).

- **Cabeceiras**

As cabeceiras estão localizadas nos extremos da viga principal (Figura 4 item 1.2). Nelas estão as rodas, responsáveis pelo movimento da viga principal da ponte rolante, que por sua vez deslizam sobre o caminho de rolamento.

- **Caminho de rolamento**

É a base por onde as cabeceiras se movem (Figura 4 item 1.4). Esse caminho é construído por vigas ou trilhos fixados por solda, em alguns casos particulares por concreto. Em pórticos esse caminho é feito no chão, e em pontes rolantes é apoiado sob os pilares.

- **Talha elétrica**

A talha (Figura 4 item 1.3) é o equipamento responsável pelo içamento e locomoção da carga em uma direção. É constituída basicamente por um motor fixado a uma estrutura, um tambor para o movimento do cabo de aço, um gancho para fixar a carga, o cabo de aço, e um sistema de controle de operação.

- **Rodas**

Acopladas nas cabeceiras geralmente são fabricadas de aço e variam de acordo com as dimensões do trilho no qual irão se movimentar. Contém uma aba lateral que impede com que a cabeceira saia dos trilhos (Figura 5).

Figura 5 – Roda de aço da ponte rolante.

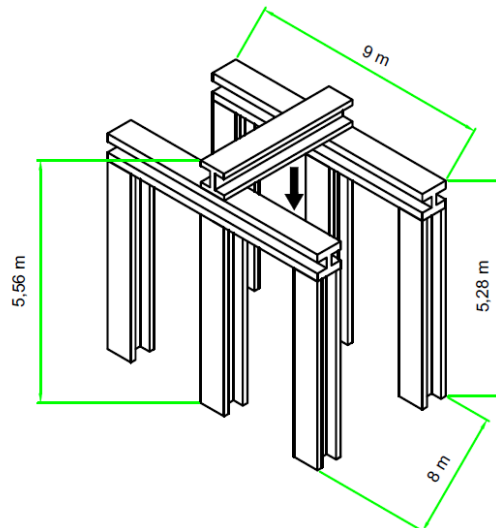


Fonte: <<http://www.orteip.com.br>> (2017).

3 Metodologia

Primeiramente foi feita uma visita na Fazenda de café João Arcanjo, onde reuniu-se com os proprietários da fazenda para uma discussão sobre o problema do carregamento e estocagem do setor de beneficiamento de café. Foi então elaborado um plano de projeto onde toda a fase do projeto está descrita, responsabilidades, cronograma, custos e execução. Um esboço da ponte rolante (Figura 6) foi feito para se ter uma ideia de como de como será o projeto no final. Como primeiro entregável foi definido a viga principal e o conjunto trole e talha, aqui definidos e dimensionados. Logo, a montagem da maquete representativa (Apêndice A).

Figura 6 – Esboço Ponte Rolante

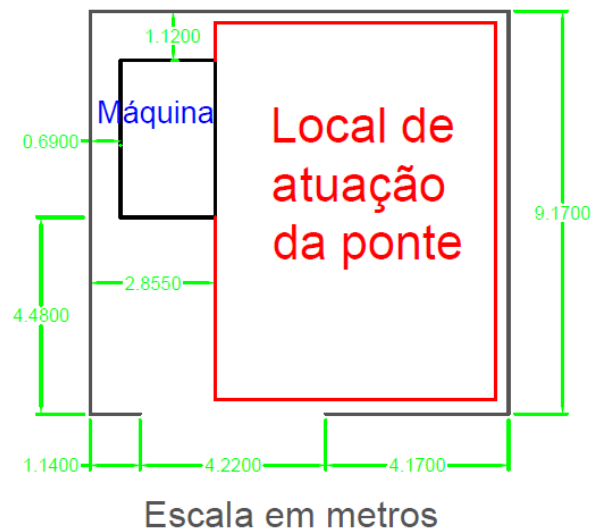


Fonte: Próprios autores (2017).

3.1 Metodologia utilizada no projeto segundo a norma ABNT NBR 8400

Inicialmente foi averiguado as dimensões do galpão do setor de beneficiamento de café (Figura 7) e avaliado as possíveis restrições.

Figura 7 – Dimensões do galpão



Fonte: Próprios autores (2017).

3.1.1 Características da Ponte Rolante

- Carga nominal: A ponte rolante será dimensionada para um carregamento máximo de 1 [Ton];
- Altura de elevação: 4,50 [m];
- Velocidade de elevação da talha: 14,5 [m/min];
- Velocidade de deslocamento da talha: 11,7 [m/min]
- Tempo médio de trabalho: 4 a 8 [H/dia];
- Vão: 8 [m].

Os dados aqui definidos estão relacionados com o local de instalação da ponte rolante.

3.1.2 Sistema de elevação da carga

O sistema de elevação da carga é composto pelo conjunto trole e talha com capacidade de 1 tonelada (Exemplo: Figura 8) e limites de fim de curso.

Algumas informações da talha estão disponíveis no Apêndice B, onde foram realizados cálculos das potências aproximadas dos motores da talha.

Figura 8 – Talha Elétrica



Fonte: <http://www.bauma.ind.br/produto/talha-eletrica-com-trole-motorizado> (2017).

3.1.3 Classe de utilização do equipamento

A classe de utilização (Tabela 1) evidencia a frequência de uso dos equipamentos em função da utilização do movimento de levantamento.

Tabela 1 – Classes de utilização

Classe de utilização	Frequência de utilização do movimento de levantamento	Número convencional de ciclos de levantamento
A	Utilização ocasional não regular, seguida de longos períodos de repouso	$6,3 \times 10^4$
B	Utilização regular em serviço intermitente	$2,0 \times 10^5$
C	Utilização regular em serviço intensivo	$6,3 \times 10^5$
D	Utilização em serviço intenso severo, efetuado, por exemplo, em mais de um turno.	$2,0 \times 10^5$

Fonte: Norma ABNT NBR 8400, adaptado pelos autores (2017).

A frequência de utilização do momento de levantamento foi definida como uma utilização ocasional não regular, seguida de longos períodos de repouso, com número convencional de ciclos de $6,3 \times 10^4$, ou seja, a classe A (Tabela 1).

Como o sistema será operado sempre com a carga máxima ao longo de toda sua vida útil, define-se o estado de carga (Tabela 2) como sendo 3 (pesado).

Tabela 2 – Estados de carga

Estado da carga	Definição	Fração mínima da carga máxima
0(muito leve)	Equipamentos levantando excepcionalmente a carga nominal e comumente cargas muito reduzidas	$P = 0$
1 (leve)	Equipamentos que raramente levantam a carga nominal e comumente cargas de ordem de $1/3$ da carga nominal.	$P = 1/3$
2 (médio)	Equipamentos que frequentemente levantam a carga nominal e comumente cargas compreendidas entre $1/3$ e $2/3$ da carga nominal.	$P = 2/3$
3 (pesado)	Equipamentos regularmente carregados com a carga nominal	$P = 1$

Fonte: Norma ABNT NBR 8400, adaptado pelos autores (2017).

3.1.4 Classificação da estrutura dos equipamentos em grupo

Com a classe de utilização do momento de levantamento e o estado de carga determinados, classifica-se a estrutura como sendo grupo 4 (Tabela 3), possibilitando definir o coeficiente de majoração M_x que caracteriza o dimensionamento da estrutura (Tabela 4).

Tabela 3 – Grupos

Estado de cargas (ou estado de tensões para um elemento)	Classe de utilização e número convencional de ciclos de levantamento (ou de tensões para um elemento)			
	A $6,3 \times 10^4$	B $2,0 \times 10^5$	C $6,3 \times 10^5$	D $2,0 \times 10^6$
0 (muito leve) P = 0	1	2	3	4
1 (leve) P = 1/3	2	3	4	5
2 (médio) P = 2/3	3	4	5	6
3 (pesado) P = 1	4	5	6	6

Fonte: Norma ABNT NBR 8400, adaptado pelos autores (2017).

Tabela 4 – Valores do coeficiente de majoração para equipamentos industriais

Grupos	1	2	3	4	5	6
M_x	1	1	1	1,06	1,12	1,20

Fonte: Norma ABNT NBR 8400, adaptado pelos autores (2017).

3.1.5 Classe de funcionamento

Pelo tempo médio de funcionamento do equipamento que será de 4 a 8 horas por dia, define-se a classe de funcionamento (Tabela 5) como sendo V3.

Tabela 5 – Classes de funcionamento

Classe de funcionamento	Tempo médio de funcionamento diário estimado (h)	Duração total teórica da utilização (h)
V 0,25	$tm \leq 0,5$	800
V 0,5	$0,5 < tm \leq 1$	1600
V 1	$1 < tm \leq 2$	3200
V 2	$2 < tm \leq 4$	6300
V 3	$4 < tm \leq 8$	12500
V 4	$8 < tm \leq 16$	25000
V 5	$tm > 16$	50000

Fonte: Norma ABNT NBR 8400, adaptado pelos autores (2017).

3.1.6 Solicitações devidas aos movimentos verticais

“As solicitações devidas aos movimentos verticais são provenientes do içamento relativamente brusco da carga de serviço, durante o levantamento, e de choques verticais devidos ao movimento sobre o caminho de rolamento” (ABNT, 1984). Diante disso deve-se definir a velocidade do equipamento baseando no que será carregado, para em seguida atribuir um valor ao coeficiente dinâmico. A velocidade de içamento da talha elétrica é de 14,5 [m/min], portanto a velocidade a se atingir está entre 0,16 e 0,25 [m/s] (Tabela 6).

Logo, o valor do coeficiente dinâmico é de 1,15 (Tabela 7).

3.1.7 Cálculo da carga total e do momento fletor atuante sobre a viga

A Norma NBR (8400, 1984) oferece uma situação (Equação 1) para o cálculo da carga total. Porém será desconsiderado o esforço aerodinâmico causado pelo vento (S_W), e o esforço de oscilação horizontal (S_H), visto que a ponte rolante estará abrigada e a talha contará com um sistema de frenagem que faz com que o esforço horizontal seja bem próximo de zero.

$$C = M_x(S_G + \Psi S_L + S_H) + S_W \quad (1)$$

Com a massa do *Big Bag* (1000 Kg) e do sistema trole e talha (450 Kg) calcula-se a carga total apoiada sobre a viga pela Equação 2.

$$C = M_X(S_G + \Psi S_L) \quad (2)$$

$$C = 1,06(450 + 1,15 \cdot 1450)$$

$$C = 2245Kg$$

Tabela 6 – Tempos de acelerações e acelerações

Velocidade a atingir		Equipamentos de velocidade lenta e média		Equipamentos de velocidade média e alta (aplicações comuns)		Equipamentos de alta velocidade com fortes acelerações	
(m/s)	(m/min)	Tempos de aceleração (s)	Acelerações (m/s ²)	Tempos de aceleração (s)	Acelerações (m/s ²)	Tempos de aceleração (s)	Acelerações (m/s ²)
4,00	240	-	-	8,0	0,50	6,0	0,67
3,15	189	-	-	7,1	0,44	5,4	0,58
2,50	150	-	-	6,3	0,39	4,8	0,52
2,00	120	9,1	0,22	5,6	0,35	4,2	0,47
1,60	96	8,3	0,19	5,0	0,32	3,7	0,43
1,00	60	6,6	0,15	4,0	0,25	3,0	0,33
0,63	37,8	5,2	0,12	3,2	0,19	-	-
0,40	24	4,1	0,098	2,5	0,16	-	-
0,25	15	3,2	0,078	-	-	-	-
0,16	9,6	2,5	0,064	-	-	-	-

Fonte: Norma ABNT NBR 8400, adaptado pelos autores (2017).

Tabela 7 – Valores do coeficiente dinâmico Ψ

Equipamento	Coeficiente dinâmico Ψ	Faixa de velocidade de elevação da carga (m/s)
Pontes ou pórticos rolantes	1,15	$0 < V_L \leq 0,25$
	$1 + 0,6V_L$	$0,25 < V_L < 1$
	1,60	$V_L \leq 1$
Guindastes com lanças	1,15	$V_L \leq 1$
	$1 + 0,3V_L$	$0,5 < V_L < 1$
	1,3	$V_L \leq 1$

Fonte: Norma ABNT NBR 8400, adaptado pelos autores (2017).

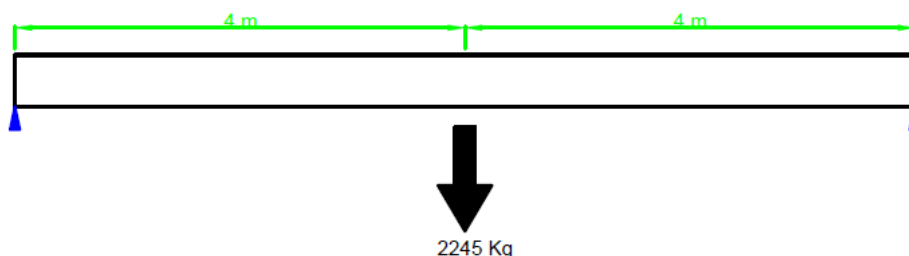
Com a carga total no centro da viga (Figura 9) calcula-se o momento fletor (Equação 3) e as forças cortantes.

$$M_{max} = \frac{F \cdot L}{4} \quad (3)$$

$$M_{max} = \frac{2245Kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 8m}{4}$$

$$M_{max} = 44047N \cdot m$$

Figura 9 – Momento na viga.



Fonte: Próprios autores (2017).

Força cortante:

$$RA = RB = 11012N$$

Foi realizado um estudo das reações quando o peso resultante que atua sobre a viga se desloca para o centro, ou para um dos apoios (Apêndice C).

3.1.8 Definição do estado de sollicitação e do grupo de mecanismos

Como os mecanismos operarão sempre com carga máxima ou bem próximas a máxima, define-se o estado de sollicitação como sendo 3 (Tabela 8). Logo, o grupo de mecanismos será 4 m (Tabela 9).

Tabela 8 – Estado de solicitação dos mecanismos

Estado de solicitação	Definição	Fração da solicitação máxima
1	Mecanismos ou elementos de mecanismos sujeitos a solicitações reduzidas e raras vezes a solicitações máximas.	$P = 0$
2	Mecanismos ou elementos de mecanismos submetidos, durante tempos sensivelmente iguais, a solicitações reduzidas, médias e máximas.	$P = 1/3$
3	Mecanismos ou elementos de mecanismos submetidos na maioria das vezes a solicitações próximas à solicitação máxima.	$P = 2/3$

Fonte: Norma ABNT NBR 8400, adaptado pelos autores (2017).

Tabela 9 – Grupos dos mecanismos

Estados de solicitação	Classes de funcionamento						
	V0,25	V0,5	V1	V2	V3	V4	V5
1	1 Bm	1 Bm	1 Bm	1 Am	2 m	3 m	4 m
2	1 Bm	1 Bm	1 Am	2 m	3 m	4 m	5 m
3	1 Bm	1 Am	2 m	3 m	4 m	5 m	5 m

Fonte: Norma ABNT NBR 8400, adaptado pelos autores (2017).

3.1.9 Verificação dos mecanismos em relação a ruptura

“A verificação dos elementos dos mecanismos em relação a ruptura efetua-se considerando que a tensão calculada não ultrapasse uma tensão admissível relacionada com a tensão de ruptura do material utilizado” (ABNT, 1984). A Equação 4 fornece a tensão admissível.

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_r}{q \cdot FS_r} \quad (4)$$

σ_{adm} : Tensão de ruptura;

FS_r : Fator de serviço;

q : Constante.

Os valores de q (Tabela 10) e FS_r (Tabela 11), são fornecidos de acordo com o grupo de mecanismos e pelo caso de solicitação.

Tabela 10 – Valores de q

Grupos de mecanismos	q
1 Bm	1
1 Am	1
2 m	1,12
3 m	1,25
4 m	1,40
5 m	1,60

Fonte: Norma ABNT NBR 8400, adaptado pelos autores (2017).

Tabela 11 – Valores de FS_r

Casos de Solicitação	FS_r
Casos I e II	2,8
Caso III	2

Fonte: Norma ABNT NBR 8400, adaptado pelos autores (2017).

A ABNT NBR (8400, 1984) aconselha o uso dos aços da norma ASTM (American Society for Testing and Materials) na construção de estruturas. Foi verificado que o aço ao carbono A 36 tem um teor de carbono mais elevado que o A 572 grau 50 (WALTER, 2009). O aço A 572 grau 50, possui baixa liga, ou seja, é acrescido de elementos de liga que melhoram suas propriedades mecânicas. Alguns desses elementos de liga aumentam a resistência do aço através da modificação da microestrutura para grãos finos. Devido a isso, pode-se obter uma resistência elevada com teor de carbono de 0,20%, permitindo assim a soldagem do mesmo sem maiores preocupações (WALTER, 2009). Esse aço também possui um limite de resistência maior que o A 36 (Apêndice D), o que resulta em uma viga mais leve. Portanto o aço recomendável na montagem viga principal da ponte rolante é o A 572 grau 50.

Logo, sendo $q = 1,40$, e $FS_r = 2$, e conhecendo o limite de resistência do aço (Apêndice D) calcula-se a tensão admissível. Utilizando a equação 5

$$\sigma_{adm} = \frac{450Mpa}{1,40 \cdot 2} \quad (5)$$

$$\sigma_{adm} = 161Mpa$$

Com a tensão de cisalhamento admissível calcula-se do módulo resistente (Equação 6), o qual indicara uma aproximação das dimensões da viga a se usar.

$$W_{min} = \left| \frac{M_{max}}{\sigma_{adm}} \right| \quad (6)$$

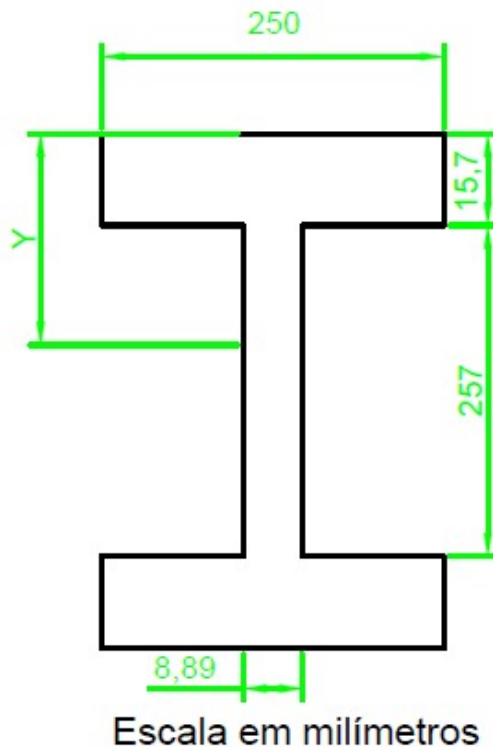
$$\left| W_{min} = \frac{44047N \cdot m \cdot 1000mm}{161Mpa} \right|$$

$$W_{min} = 274 \times 10^3 mm^3$$

3.1.10 Verificando a tensão normal

O módulo resistente calculado na seção anterior auxilia a encontrar as dimensões da viga. Tendo em vista que uma viga com menor área proporciona maior leveza, busca-se valores acima de 274 (coluna: eixo X-X, S. Apêndice E). Definiu-se então a viga (Figura 10), com perfil (W250x67) que possui valor de inércia igual à ($I = 104 \times 10^6 mm^4$).

Figura 10 – Dimensões da viga



Fonte: Próprios autores (2017).

Com as dimensões da viga calcula-se o valor de y (Equação 7), para então calcular a tensão de normal (tração/compressão) que a viga sofrerá (Equação 8).

$$y = \frac{257}{2} + 15,7 \quad (7)$$

$$y = 144,2mm$$

Logo, a tensão de normal (tração/compressão) é calculada (Equação 8).

$$\sigma_x = \frac{M_{max} \cdot y}{I} \quad (8)$$

$$\sigma_x = \frac{44047N \cdot m \times 1000mm \times 144,2mm}{104 \times 10^6mm^4}$$

Como $\sigma_x < \sigma_{adm}$ a viga está pré-selecionada para a montagem da ponte rolante.

3.1.11 Verificação em relação ao limite de escoamento

A tensão de cisalhamento do material utilizado é 60% da tensão limite de escoamento (Equação 9). De acordo com a tabela da Gerdau (Apêndice D), o aço ASTM A 572 grau 50 possui 345 [Mpa] de tensão limite de escoamento. Sendo assim, calcula-se a tensão de cisalhamento do material.

$$\sigma_a = \sigma_{esc} \cdot 0,6 \quad (9)$$

$$\sigma_a = 345Mpa \cdot 0,6$$

$$\sigma_a = 207Mpa$$

Segundo NBR (8400, 1984), a tensão admissível ao cisalhamento para os elementos que sofrem cisalhamento puro é dada pela equação 10.

$$\tau_a = \frac{\sigma_a}{\sqrt{3}} \quad (10)$$

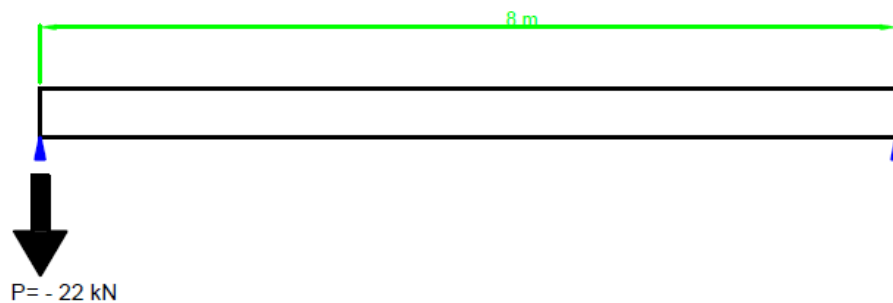
$$\tau_a = \frac{207Mpa}{\sqrt{3}}$$

$$\tau_a = 120Mpa$$

Portanto, 120 [MPa] é o valor da tensão que a viga pode trabalhar. Desse modo calcula-se então a tensão de cisalhamento x (“esforço cisalhante”, ou seja, quando a força cortante é máxima), que ocorre quando a talha se desloca para um dos apoios. Conhecendo a área da alma da viga, e a força cortante máxima definida na situação mais desfavorável em relação ao cisalhamento, ou seja, quando o peso de 22 [kN] está sobre os apoios (Figura 11), verifica-se pela equação 11 se a viga irá suportar a tensão de cisalhamento admissível (NORTON, 2013).

$$\tau_{ciss} = \left| \frac{V_{max}}{A_{alma}} \right| \quad (11)$$

Figura 11 – Força cortante máxima



Fonte: Próprios autores (2017).

$$\tau_{cisx} = \left| \frac{22000N}{2285mm^2} \right|$$

$$\tau_{cisx} = 9,63Mpa$$

Como $\tau_{cisx} < \tau_a$, a viga suporta o esforço cisalhante.

3.1.12 Verificando a deflexão

Segundo (RESNICK, 2016) a deflexão causada na viga é dada pela equação 12. “O módulo de elasticidade é praticamente igual para todos os tipos de aço, variando entre 200 GPa e 210 GPa” (MACHADO, 2010). Diante disso, como as demais grandezas são conhecidas, calcula-se a deflexão causada na viga.

$$Y = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} \quad (12)$$

$$Y = \frac{22000N \cdot 8000^3mm}{48 \cdot 200000Mpa \cdot 104 \times 10^6mm^4}$$

$$Y = 11,3mm$$

A norma NBR (ABNT, 2008) estabelece que para pórticos com capacidade inferior a 200 [kN], a flecha máxima admissível (δ_m) é $L/600$. Logo, será adotado para este projeto $L/600$. (Equação 13)

$$\delta_m = \frac{L}{600} \quad (13)$$

$$\delta_m = \frac{8000mm}{600}$$

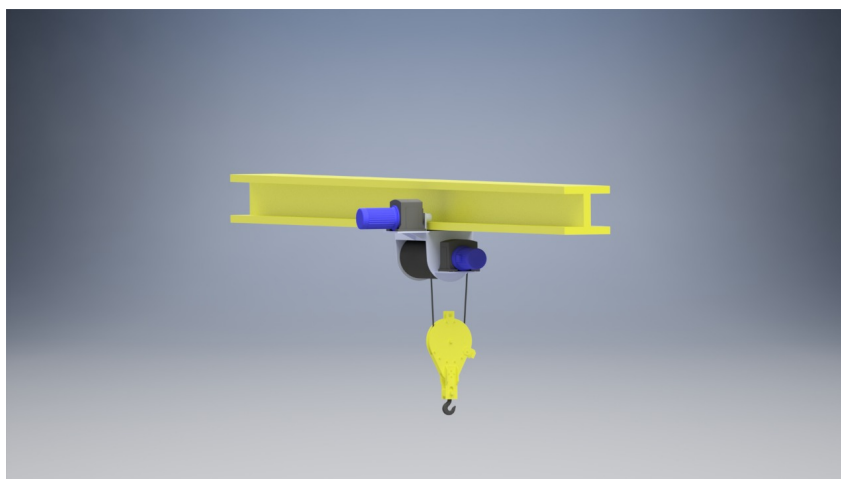
$$\delta_m = 13,3mm$$

Portanto, como $Y \leq \delta_m$ a viga está apta para o projeto.

3.1.13 Modelagem

Por fim foi feito a modelagem da viga principal, e nela acoplado o conjunto trole e talha (Figura 12).

Figura 12 – Modelagem 3D



Fonte: Fonte: Próprios autores (2017).

4 Considerações finais

Através deste estudo concluiu-se que as pontes rolantes têm um papel importante na indústria, pois ela possibilita a movimentação de cargas de forma mais rápida e segura. A gestão de projetos auxilia para que os afazeres não excedam o prazo previsto, para que se obtenha uma organização no ambiente de trabalho, e faz com que o projeto tenha o desempenho esperado. Sem dúvida é preciso grande perícia no dimensionamento de estruturas. O uso das normas ([ABNT, 1984](#)) é imprescindível para o desenvolvimento do projeto, pois com ela determina-se diversos tipos de tensões e esforços que uma estrutura ou equipamento pode sofrer. Dessa forma o cálculo da estrutura dessa primeira parte do projeto pode ser realizado com grande eficácia, e através do critério de máxima deflexão admissível foi selecionado o perfil W250x67 para a viga principal. A maquete representativa simula o movimento que a talha faz para içar a carga, e com seu desenvolvimento pode-se conhecer um pouco mais sobre essas pequenas obras da engenharia.

Referências

- 8400, N. *Calculo de Equipamentos para Levantamento e Movimentação de Cargas*. [S.l.]: ABNT–Associação Brasileira de Normas Técnicas Sao Paulo, 1984. Citado 8 vezes nas páginas 10, 11, 12, 22, 26, 28, 37 e 38.
- ABNT. *Calculo de Equipamentos para Levantamento e Movimentação de Cargas*. [S.l.]: ABNT–Associação Brasileira de Normas Técnicas Sao Paulo, 1984. Citado 3 vezes nas páginas 22, 25 e 31.
- ABNT, N. 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. *Associação Brasileira de Normas Técnicas*, 2008. Citado na página 29.
- MACHADO, V. Estruturas metálicas e de madeiras. 10 2010. Disponível em <http://www.victormsilva.com/wp-content/uploads/2017/08/Estruturas-Met%C3%A1licas-e-de-Madeira-Unidade-II-Estruturas-Met%C3%A1licas-Aula-1.pdf>. Citado na página 29.
- MAXIMIANO, A. C. A. *Administração de projetos: como transformar idéias em resultados*. [S.l.]: Atlas, 1997. Citado na página 13.
- MICHELS, E. Projeto detalhado de uma máquina de elevação e transporte. Universidade Federal de Sergipe, 2012. Citado na página 38.
- NORTON, R. L. *Projeto de máquinas*. 4. ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2013. Tradução de Renato Machnievsz. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 28.
- PASSOS, L. d. C. d. Apostila: Técnicas de instalação, operação, manutenção testes e inspeção: pontes rolantes, guindastes giratórios e acessórios de movimentação de cargas. *Make Engenharia, Acessoria e Desenvolvimento*, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 13.
- RESNICK, D. H. R. *Fundamentos de Física mecânica*. 10. ed. [S.l.]: LTC, 2016. v. 1. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 37.
- RUDENKO, N. Máquinas de elevação e transporte. *Livros Técnicos e Científicos editora, SA*, 1976. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 13.
- SORDI, G. Dimensionamento da viga principal de uma ponte rolante. Centro Universitario UNIVATES, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 14.
- WALTER, P. M. P. *Estruturas de Aço: Dimensionamento Prático de Acordo com a NBR 8800:2008*. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. Citado na página 26.

Apêndices

APÊNDICE A – Maquete Ilustrativa

Materiais

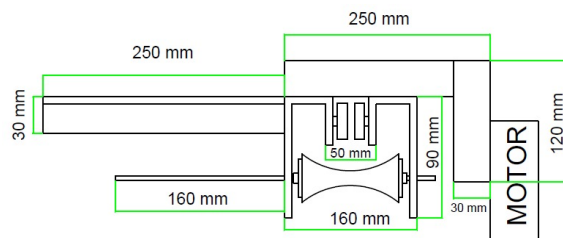
- Cantoneira tipo “L” de 1”;
- Motor de máquina de vidro automotiva;
- Parafusos, porcas e arruelas;
- Rolamentos;
- Roldanas para vidro;
- Barra rosqueável;
- Cubo de bicicleta;
- Lixas para ferro;
- Lata de tinta preta;
- Lata de tinta amarela;
- Fonte de computador;
- Cabos flexíveis;
- Fita isolante;
- Pino macho;
- Chave corta corrente da rede elétrica;
- Chaves para montagem.

Método de construção

Para o início de construção da maquete primeiramente foi discutido qual seria a melhor maneira de se representar o funcionamento de uma talha presente na viga principal de uma ponte rolante. Então desenhou-se parte da maquete ilustrativa (Figura ??). Feito isso, foi soldado partes de chapas que formam parte da talha. A barra rosqueada foi atravessada em duas chapas, e nela fixado o cubo de bicicleta. Para permitir o movimento do cubo, os rolamentos foram fixados nas chapas laterais (Figura 14). Quatro roldanas foram fixadas na parte superior da talha, permitindo o movimento sobre a viga principal,

que é composta por duas cantoneiras tipo “L” soldadas em suas extremidades (Figura 15).

Figura 13 – Esboço primeira parte da Maquete.



Fonte: Fonte: Próprios autores (2017).

Figura 14 – Montagem da talha.



Fonte: Fonte: Próprios autores (2017).

Figura 15 – Representação da talha.



Fonte: Fonte: Próprios autores (2017).

O motor de máquina de vidro foi acoplado a barra rosqueável possibilitando o movimento do cubo. E então, as partes foram lixadas e pintadas (Figura 16).

Figura 16 – Parte da maquete finalizada.



Fonte: Fonte: Próprios autores (2017).

Por fim foi realizada a parte elétrica do funcionamento do motor que faz o içamento da carga.

APÊNDICE B – Informações Gerais da Talha

Tabela 12 – Dados principais da Talha.

Dados Gerais	
Capacidade de Carga	1t
Altura de elevação	5 m
Qtde. x Diâmetro das rodas da talha	4 x 100 mm
Norma adotada	NBR 8400
Velocidades	
Elevação	14,5 m/min
Direção da talha	11,7 m/min
Motores	
Elevação	1 x 3,388 kW ¹
Direção da talha	1 x 0,79 kW ¹

Fonte: : Próprios autores (2017).

Cálculos dos Motores

Para calcular os motores ideais que permitem o movimento da talha e levantamento da carga é necessário calcular a potência desenvolvida pelos motores. Essa sendo definida como a taxa com qual a força realiza trabalho sobre um objeto. E trabalho é a energia que é transferida para um objeto por meio de uma força que age sobre ele (RESNICK, 2016).

Potência de elevação

A potência do motor que permite a elevação da carga é calculada com base na NBR (8400, 1984), pela Equação:

$$P = \frac{F_s \cdot V_l}{1000\eta}$$

Onde F_s representa a carga de serviço em [N], V_l a velocidade de elevação da carga em [m/s], e η o rendimento total do mecanismo.

- **Carga de serviço**

Como não foi informado dados como o tempo gasto pelo motor para permitir que a velocidade se torne constante, a mesma será considerada constante. Com isso a força resultante é nula. Logo, a força necessária para se erguer a carga é o próprio peso se da por:

$$F_s = P$$

$$F_s = 1000 \cdot 9,8$$

$$F_s = 9800N$$

- **Rendimento**

Devido à falta de informações disponíveis sobre a talha e seus componentes, não é possível calcular qual o rendimento aproximado da mesma. De acordo com (MICHELS, 2012) o rendimento é de aproximadamente 0,7.

$$\eta = 0,7$$

Tendo o conhecimento das variáveis, é possível então calcular a potência necessária do motor de elevação

$$P = \frac{F_s \cdot V_l}{1000\eta}$$

$$P = \frac{9800 \cdot 0,242}{1000 \cdot 0,7}$$

$$3,388kW$$

Potência de Translação

Segundo a NBR (8400, 1984), o cálculo da potência necessária para realizar o movimento da talha sobre a viga é dado pela equação:

$$P = \frac{Mn}{9550\eta}$$

Onde M representa o torque em [N/m], n a rotação por minuto (RPM) e η o rendimento total do mecanismo.

- **Torque**

Para calcular o torque, é necessário primeiramente o cálculo da força que atua movimentando a carga. Considerando novamente a velocidade constante, temos a aceleração nula, logo, a força responsável pelo movimento é a própria força de atrito. Os valores de coeficientes de atrito estão representados na Figura 17

Figura 17 – Coeficientes de Atrito

Superfícies de contato deslizante combinação	Coeficientes de atrito	
	μ	
	mín.	máx.
Aço/aço	0,08	0,20
Aço/bronze	0,10	0,25
Aço/PTFE de bronze sinterizado	0,05	0,25
Aço/tecido PTFE	0,02	0,15
Aço/FRP PTFE	0,05	0,20

Fonte: <http://www.skf.com/>, adaptado pelos autores (2017).

Utilizando o coeficiente de atrito máximo (aço/aço) e sabendo que a normal equivale ao peso do conjunto formado pela talha e a carga, encontra-se a força de atrito

$$F_{at} = N_u$$

$$F_{at} = 1450 \cdot 9,81 \cdot 0,20$$

$$F_{at} = 2842N$$

Conhecendo a força de atrito e o diâmetro da roda (Figura ??), calcula-se o torque

$$M = FR$$

$$M = 2845 \cdot 0,05$$

$$M1 = 142,2N.m$$

• RPM

Considerando o motor acoplado diretamente ao eixo da roda, tem-se a mesma velocidade angular, possibilitando ser estipulado a RPM. Sendo a velocidade escalar 11,7[m/min], é possível calcular a velocidade angular.

$$\omega = \frac{V}{R}$$

$$\omega = \frac{0,195}{0,05}$$

$$\omega = 3,9\text{rads/s}$$

Conhecendo a velocidade angular, é possível calcular a RPM aproximada, assim:

$$n = \frac{\omega}{2\pi} \cdot 60$$

$$n = 37,24RPM$$

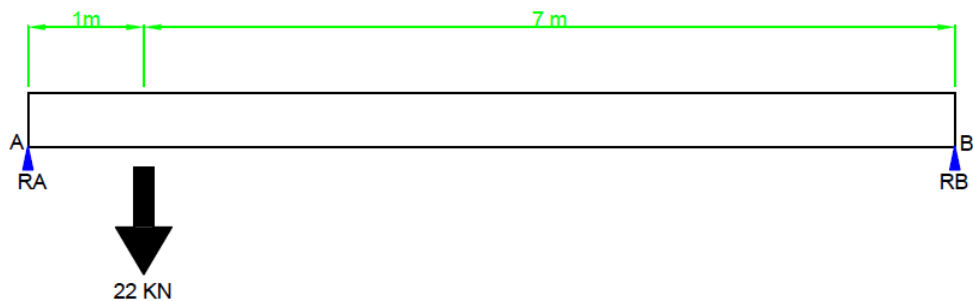
Tendo o conhecimento das variáveis, é possível então calcular-se a potência aproximada o motor de translação.

$$P = \frac{Mn}{9550\eta}$$
$$P = 0,79kW$$

APÊNDICE C – Calculos na Viga

É possível encontrar o peso que atuara na viga, e então observar o que acontece quando ela se aproxima dos apoios ou quando ela está no centro da viga. Escolheu-se um ponto à um metro de A (Figura 18), e então foi calculado as reações.

Figura 18 – Carga perto da reação A



Fonte: Próprios autores (2017).

$$P = 2245Kg \cdot 9,81m/s^2$$

$$P = 22024N$$

$$P = 22kN$$

$$\sum F_x = 0;$$

$$\sum F_y = 0;$$

$$RA + RB - 22kN = 0$$

$$RA + RB = 22kN$$

$$\sum M_A = 0;$$

$$(-22kN \cdot 1,00m) + (RB \cdot 8,00) = 0$$

$$RB = \frac{22kN}{8,00m}$$

$$RB = 2,75kN$$

$$R_A + R_B = 22kN$$

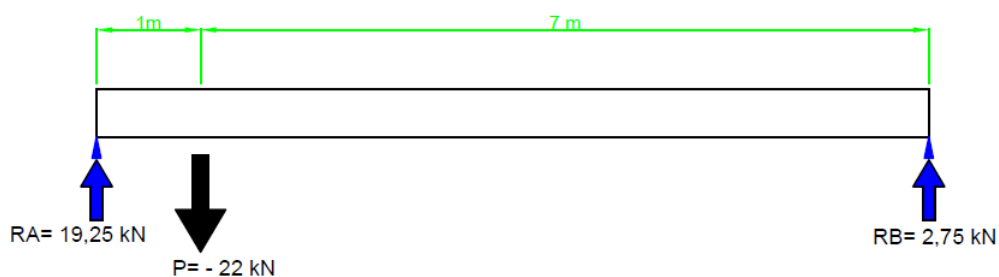
$$R_A = 22kN - R_B$$

$$R_A = 22kN - 2,72kN$$

$$R_A = 19,25kN$$

A Figura 19 possibilita um estudo das reações apoio quando o peso está a 1 [m] de distância do ponto A.

Figura 19 – Estudos das reações



Fonte: Próprios autores (2017).

Cálculo de força cortante

Ponto 0 m:

$$F_1 = 19,25kN$$

Ponto 1 m:

$$F_2 = F_1 + P$$

$$F_2 = 19,25kN - 22kN$$

$$F_2 = -2,75kN$$

Ponto 8 m:

$$F_3 = F_2 + R_B$$

$$F_3 = -2,75kN + 2,75kN$$

$$F_3 = 0$$

Pode-se observar que quando a carga se aproxima de um ponto de apoio específico a força cortante aumenta, e o momento fletor diminui. Inversamente quando a carga se desloca para o centro, o momento fletor aumenta e a força cortante diminui.

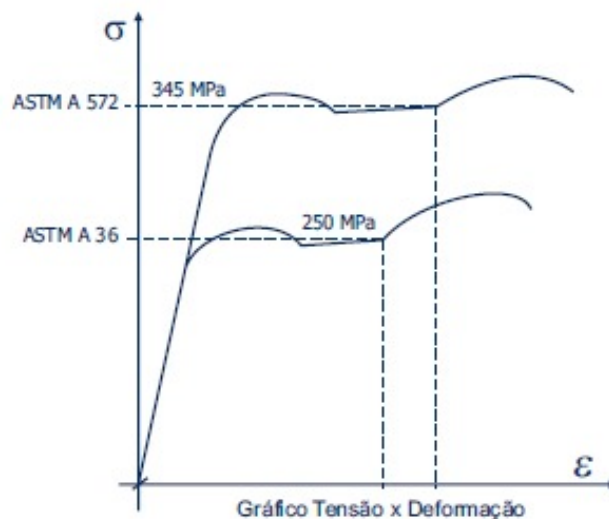
APÊNDICE D – Sobre o aço ASTM A 572 Grau 50

Tabela 13 – Propriedades mecânicas do aço ASTM A 572 Grau 50.

	ASTM A 572 Grau 50	ASTM a 572 grau 60*	ASTM A 992*
Limite de Escoamento (MPa)	345 min.	415 min	345 a 450
Limite de Resistência (MPa)	450 min.	520 min.	450 min.
Alongamento após ruptura (%)	18 min.	16 min.	18 min.
	AÇO COR 500*	ASTM 131 AH32*	ASTM A131 AH36
Limite de Escoamento (MPa)	370 min.	315 min.	355 min.
Limite de Resistência (MPa)	500 min.	440 a 590	490 a 620
Alongamento após ruptura (%)	18 min.	19 min.	19 min.

Fonte: <https://www.comercialgerdau.com.br/pt/produtos/perfis-estruturais-gerdauad-image-0>, adaptado pelos autores (2017).

Figura 20 – Gráfico Aços



Fonte: Gerdau, adaptado pelos autores (2017).

APÊNDICE E – Dimensões de perfis W

Figura 21 – Dimensões dos perfis W

Seções de abas largas ou perfis em W											
Unidades SI											
Descrição	Área A	Altura d	Espessura da alma t _{alma}	Aba		eixo x-x			eixo y-y		
				largura t _{aba}	espessura b _{aba}	I	S	r	I	S	r
mm × kg/m	mm ²	mm	mm	mm	mm	10 ⁶ mm ⁴	10 ³ mm ³	mm	10 ⁶ mm ⁴	10 ³ mm ³	mm
W250 × 149	19.000	282	17,30	263,0	28,4	259	1.840	117	86,2	656	67,4
W250 × 80	10.200	256	9,40	255,0	15,6	126	984	111	43,1	338	65,0
W250 × 67	8.560	257	8,89	204,0	15,7	104	809	110	22,2	218	50,9
W250 × 58	7.400	252	8,00	203,0	13,5	87,3	693	109	18,8	185	50,4
W250 × 45	5.700	266	7,62	148,0	13,0	71,1	535	112	7,03	95	35,1
W250 × 28	3.620	260	6,35	102,0	10,0	39,9	307	105	1,78	34,9	22,2
W250 × 22	2.850	254	5,84	102,0	6,9	28,8	227	101	1,22	23,9	20,7
W250 × 18	2.280	251	4,83	101,0	5,3	22,5	179	99,3	0,919	18,2	20,1
W200 × 100	12.700	229	14,50	210,0	23,7	113	987	94,3	36,6	349	53,7
W200 × 86	11.000	222	13,00	209,0	20,6	94,7	853	92,8	31,4	300	53,4
W200 × 71	9.100	216	10,20	206,0	17,4	76,6	709	91,7	25,4	247	52,8
W200 × 59	7.580	210	9,14	205,0	14,2	61,2	583	89,9	20,4	199	51,9
W200 × 46	5.890	203	7,24	203,0	11,0	45,5	448	87,9	15,3	151	51,0
W200 × 36	4.570	201	6,22	165,0	10,2	34,4	342	86,8	7,64	92,6	40,9
W200 × 22	2.860	206	6,22	102,0	8,0	20,0	194	83,6	1,42	27,8	22,3

Fonte: Hibbler, R. C, adaptado pelos autores (2017).