



PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM DISPOSITIVO DE LEVANTAMENTO DE CARGAS ARTICULADO

Fernando Marques Fernandes ^{*1}, **Antônio Teófilo Campos Lima** ¹, **Clécio Vidal da Silva** ¹,
David Hunner Vieira do Lago ¹, **Guilherme Moreira de Souza** ¹, **Ivanovik Gouveia Marx** ¹,
José Carlos Morilla ¹, **João José de Souza** ¹ e **Wilson Roberto Nassar** ¹.

¹ Universidade Santa Cecília.

Rua Oswaldo Cruz, 255/277 – Boqueirão – Santos – São Paulo – Brasil – CEP 11045-907
fmarques@unisanta.br

RESUMO

O projeto consiste na elaboração de solução para reduzir em 35% o tempo de execução da atividade de remoção e deslocamento de equipamentos de até 500 kg, da área industrial para uma oficina de manutenção em uma empresa produtora de fertilizantes no polo petroquímico de Cubatão – São Paulo - Brasil, fixando em dois o número de funcionários para realizar todo o procedimento de remoção e transporte. Para isso, foi construída uma estrutura articulada, com capacidade de rotação de 360° sobre um carrinho de transporte com rodas pneumáticas. O projeto foi dimensionado conforme NBR 8400, sendo sua principal estrutura constituída de aço ASTM-A36. Foram realizados testes no protótipo construído que comprovaram a eficiência do projeto dentro da proposta inicial, o mesmo apresentou boa movimentação, fácil manipulação para execução de todo procedimento e comportamento conforme esperado da estrutura do projeto, a facilidade de execução dos procedimentos refletiu diretamente na melhora nos indicadores de tempo e mão de obra utilizados, como pontos fortes do projeto pode-se ressaltar o deslocamento em terrenos irregulares, o giro da lança, suas dimensões e a fácil manutenção do equipamento.

Palavras Chaves: *Pórtico, Articulado, Manutenção.*

1. INTRODUÇÃO

O processo de manutenção de equipamentos pode possuir várias etapas antes da sua execução, como por exemplo, a remoção do equipamento do seu local de operação e transporte, com segurança, para a oficina de manutenção. Foram realizados estudos durante a execução do serviço de remoção e deslocamento de uma bomba centrífuga, com peso de aproximadamente 200 kg, da área industrial para a oficina de manutenção, em uma das unidades industriais da Vale Fertilizante S.A, foram necessárias seis horas e três profissionais, utilizando máquinas de elevação de carga, para execução completa do procedimento.

Com o objetivo de minimizar o tempo de execução deste tipo de procedimento em 50% e reduzir o número de profissionais para dois, desenvolvemos o projeto do pórtico articulado.

O mesmo consiste em uma estrutura composta por uma viga principal e duas colunas, sendo uma fixa e uma móvel, com capacidade de carga de até 500 kg fixadas sobre um carinho com rodas pneumáticas, para transporte de carga. A fixação da viga principal é constituída em uma de suas extremidades, através de uma base deslizante, e na outra extremidade através de uma bucha de desgaste.

A viga principal comporta a instalação de um trole e uma talha para realizar o levantamento dos equipamentos.

A Figura 1 apresenta os detalhes do conjunto do projeto.

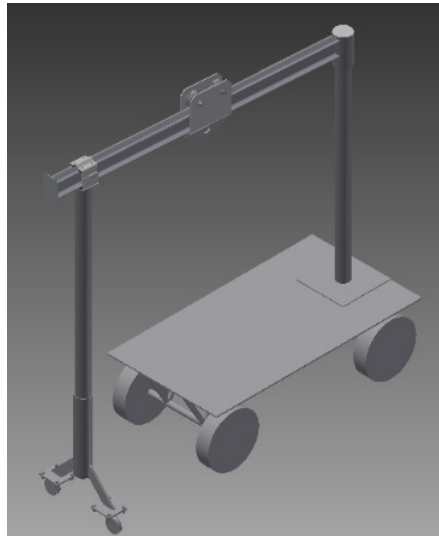


Figura 1 – Detalhes do Conjunto do Projeto.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste tópico são descritas as características dos principais componentes do projeto, sendo já especificado como foram realizadas as seleções dos componentes de mercado utilizados no mesmo.

2.1. Viga Principal, Colunas Fixa e Móvel.

A viga principal é fabricada em perfil I com aço ASTM-A36, sua alma é de 4 polegadas e a mesma tem comprimento de 2 m, na Tabela 1 temos as principais composições do aço ASTM A36, utilizado na estrutura do pórtico.

Tabela 1 – Propriedades do Aço ASTM A36 [7].

Propriedades	Valor
Densidade	7.85 g/cc
Resistência a Tração, Ultimate	400 - 550 MPa
Resistência a Tração, Yield	250 MPa
Alongamento	20,0 %
Modulo de elasticidade	200 GPa
Compressão	152 MPa
Bulk Modulo	140 GPa
Coefficiente Poissons	0,260
Modulo de Cisalhamento	79,3 GPa

A coluna fixa é fabricada em perfil tubular com aço ASTM-A36 em perfil Schedule 40, tem comprimento de 1,55 m, a coluna móvel foi criada pensando no equilíbrio que dará junto ao rodízio para a movimentação de cargas até a plataforma do carrinho, a mesma é fabricada em perfil tubular com aço ASTM-A36 em perfil Schedule 40, com comprimento de 1,94 m, a Figura 2 mostra em detalhes o corpo de fixação da coluna móvel. Quando o projeto não estiver em uso, a coluna móvel ficará apoiada em cima da plataforma, devido ao sistema telescópico criado em sua base com fixação através de sistema de pinos, conforme Figura 3.

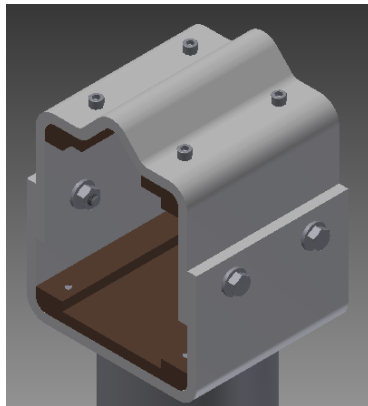


Figura 2 – Corpo de Fixação da Coluna Móvel

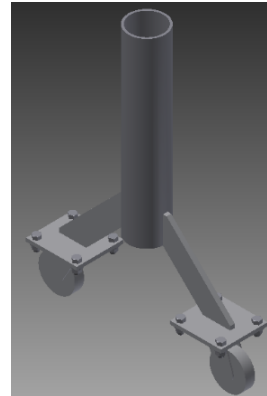


Figura 3 – Suporte Móvel dos Rodízios

2.2. Rodízios

Os rodízios são dispositivos de movimentação, assim como a roda, porém ele é mais compacto, usado para velocidades menores, para serviços onde o terreno não tem muitos obstáculos e é pouco acidentado. Segundo [9] temos três passos para o selecionamento correto de um rodízio. O primeiro é a divisão da carga por rodízio, o segundo passo consiste na avaliação do ambiente que o rodízio atuará, como a temperatura máxima e mínima e a presença de produtos químicos que possam provocar contaminações, a partir dessa avaliação saberemos o melhor material que o rodízio será feito, o terceiro passo é escolher o tipo de rodagem ideal, podendo ser de furo passante, bucha de nylon, bucha de bronze, rolamentos de roletes e rolamentos de esferas.

Conforme [9] o modelo escolhido é o GMA 62 PE, foram usados 2 rodízios giratórios com capacidade de 400 kg cada, largura de 50 mm e diâmetro de 6", rolamentos de roletes e freio pedal para manter a estabilidade quando a carga estiver sendo içada.

A Figura 4 apresenta o rodízio selecionado para o projeto.

2.3. Trole

Tem a função de sustentar a talha na viga I fazendo movimentos longitudinais para facilitar a estropagem, içamento e a acomodação de cargas sobre a plataforma do pórtico. De acordo com [4] o modelo escolhido para uso no projeto é o T500, com capacidade de 500 kg e dimensões 178x195x160 mm.

A Figura 5 mostra a ilustração do trole selecionado para aplicação do projeto.



Figura 4 – Rodízio [9].



Figura 5 – Trole [4].



2.4. Talha

De [3] foi selecionada a talha com acionamento manual por alavanca modelo S-603, capacidade de 500 kg, a Figura 6 apresenta o desenho da talha escolhida.

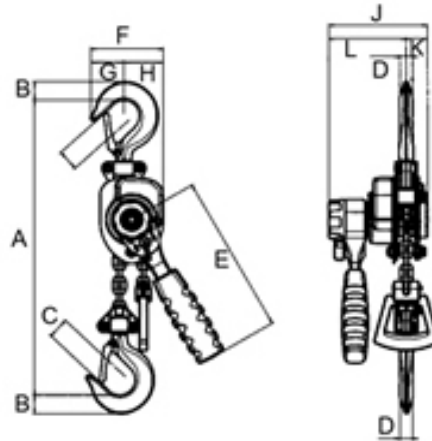


Figura 6 – Talha [3].

2.5. Carro de Transporte

Para a seleção do carro de transporte, foi levado em conta o tipo de pavimento para determinar o tipo de roda, os materiais e a serem içados para determinar a plataforma, e o peso máximo desses materiais, além da estrutura do pórtico, para determinar a carga máxima que o carrinho suporta. Desta forma, consultando [6] foi selecionado o modelo TM-13. Para dar maior segurança ao transporte dos materiais foram adaptadas abas nas suas extremidades.

A Figura 7 apresenta o carro de transporte.



Figura 7 – Carro de Transporte [6].

2.6. Dimensionamento

Neste item serão apresentados os cálculos executados para dimensionamento da estrutura do pórtico.

2.6.1. Pré-dimensionamento a Flexão

Para o pré-dimensionamento de uma barra a flexão deve-se partir da condição que a mesma estará trabalhando, no máximo, no estado limite plástico. Deve-se então procurar uma secção para a viga que possa atender a condição limite de utilização [1].

A Figura 8 apresenta as dimensões do perfil utilizado na viga principal.

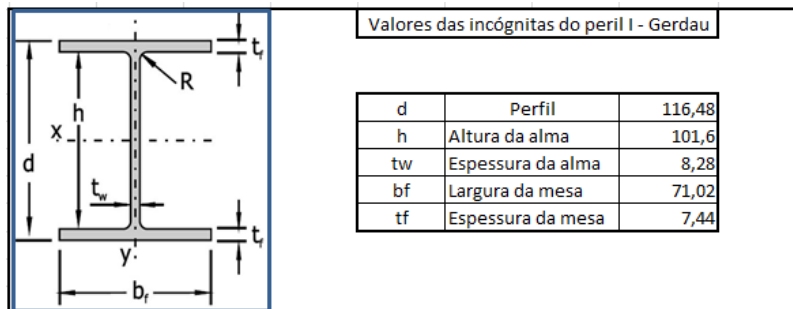


Figura 8 – Dimensões do Perfil Utilizado [2].

Para que este requisito seja atendido é preciso obedecer à Equação (1) que correlaciona algumas grandezas importantes para este dimensionamento.

$$Z \geq \frac{Md}{\Phi b f_y} \quad (1)$$

Onde: Z = módulo resistente plástico da seção, Md = momento de dimensionamento, Φb = coeficiente de segurança para flexão e f_y = tensão limite de escoamento.

A Equação (2) apresenta o cálculo do momento fletor de escoamento [5].

$$M_f = \frac{I \cdot L E}{r} \quad (2)$$

Substituindo os valores encontramos $M_f = 17,9$ kN.m.

A Equação (3) apresenta o cálculo do módulo de resistência plástica do perfil [5].

$$Z = \frac{M_f}{F_y} \quad (3)$$

Substituindo os valores temos $Z = 71,46$ cm³.

A Equação (4) foi utilizada para comparação com o módulo de resistência plástica do perfil [5].

$$Z \geq \frac{Md}{\Phi b f_y} \quad (4)$$

Substituindo os valores temos $Z \geq 15,08$ e comparando com o valor obtido de Z foi possível satisfazer a condição de pré-dimensionamento.

2.6.2. Verificação da Flambagem Local da Alma – FLA

Foi calculado o valor de λ_a , Equação (5), comparado com os valores de λ_{pa} e λ_{ra} , Equação (6) e Equação (7), e com isso definidas qual a classe da viga e qual metodologia utilizar para definir o momento de aplicação nessa região.

$$\lambda_a = \frac{h}{t_w} \quad (5)$$



$$\lambda_{pa} = 3,5 \sqrt{\frac{E}{fy}} \quad (6)$$

$$\lambda_{ra} = 5,6 \sqrt{\frac{E}{fy}} \quad (7)$$

Foram obtidos os seguintes valores: $\lambda_a = 12,27$, $\lambda_{pa} = 98,99$ e $\lambda_{ra} = 158,39$ e comparando os valores obtidos temos a relação $\lambda_a \leq \lambda_{pa}$, assim foi possível definir que: $M_n = M_{pl} = Z \cdot fy$ e que a mesma é compacta quanto a alma.

2.6.3. Verificação da Flambagem Local da Mesa – FLM

Foi calculado o valor de λ_m , Equação (8), comparado com o valor de λ_{pm} , Equação (9) e desta forma definido qual a classe da viga e qual metodologia utilizar para definir o momento de aplicação nessa região.

$$\lambda_m = \left(\frac{bf}{tf} \right) \quad (8)$$

$$\lambda_{pm} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{fy}} \quad (9)$$

Foram obtidos os seguintes valores: $\lambda_m = 4,77$ e $\lambda_{pm} = 10,75$, comparando os valores obtidos temos a relação $\lambda_m \leq \lambda_{pm}$, e assim foi possível definir que: $M_{NM} = M_{PL} = Z \cdot fy$.

2.6.4. Verificação da Flambagem Lateral com Torção

Segundo [8], no caso deste projeto, este efeito pode ser desconsiderado.

2.6.5. Verificação Contra Escoamento e Cisalhamento

Para o cálculo da tensão foi utilizada a Equação (10).

$$\sigma = \left(\frac{Mf \cdot r}{I} \right) = 26,59 \text{ MPa} \quad (10)$$

Comparando os valores máximos estipulados pela norma, com o valor obtido, o perfil escolhido pode ser aplicado na estrutura da viga principal.

2.6.6. Verificação Contra a Flambagem

Para esta verificação foi utilizada a Equação (11).



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

$$P_{crit} = \left(\frac{\pi^2 E I}{L^2} \right) \quad (11)$$

Analisado os valores obtidos na condição crítica, ou seja, toda a carga diretamente posicionada em cima do perfil é necessária que o mesmo suporte acima dos 7922,07 N, sendo apenas os perfis com diâmetro maior do que 3½" capazes de suportar esta carga com o coeficiente de segurança estipulado por [8].

2.6.7. Verificação Contra a Fadiga

Calculado o $\sigma_{MAX} = 26,92$ MPa e o $\sigma_{MIN} = 0,34$ MPa, da Equação (12) temos:

$$R = \frac{\sigma_{MIN}}{\sigma_{MAX}} = 0,0126 \quad (12)$$

Conforme [8] é possível considerar $R = 0$ e adotando este critério, temos da Equação (13):

$$\sigma_0 = 1,66 \sigma_w \quad (13)$$

De acordo com [8] $\sigma_w = 28,54$ MPa, e com este valor na Equação (14) temos:

$$\sigma_0 = 1,66 \cdot 28,54 = 47,38 \text{ MPa} \quad (14)$$

Comparando com o valor máximo de tensão obtido no item 2.6.5. é possível garantir que o fenômeno da fadiga não irá causar falhas na estrutura do pórtico.

3. RESULTADOS

Para análise da estrutura pelo método dos elementos foi utilizado o software Inventor versão 2013, através de [8] foi estimada uma carga aplicada de 807,55 kg no centro da viga principal onde ocorre a maior solicitação de carga para a estrutura. Para efeito de simplificação não foi utilizada a estrutura do carrinho e os rodízios utilizados na coluna móvel.

3.1. Considerações Adotadas

A Tabela 2 apresenta as propriedades físicas adotadas no conjunto.

Tabela 2 – Considerações Físicas do Projeto

Massa	521 kg
Área	8564380 mm ²
Volume	66313600 mm ³
Centro de Gravidade	x = 104,6 mm y = 22,6 mm z = - 0,0009 mm



3.2. Resultados da Simulação

Após o modelamento dos componentes e do conjunto foram realizados os ensaios, conforme os critérios de simplificação adotados foi simulado o carregamento e analisados os seguintes pontos na estrutura principal:

- Verificação ao cisalhamento e escoamento
- Flecha na estrutura principal
- Flambagem nas colunas

3.2.1. Verificação ao Cisalhamento e Escoamento

Na Figura 9 é possível verificar que a estrutura apresenta apenas a coloração azul escura, sendo assim o valor máximo de tensão que ocorre na mesma é de 20,7 MPa.

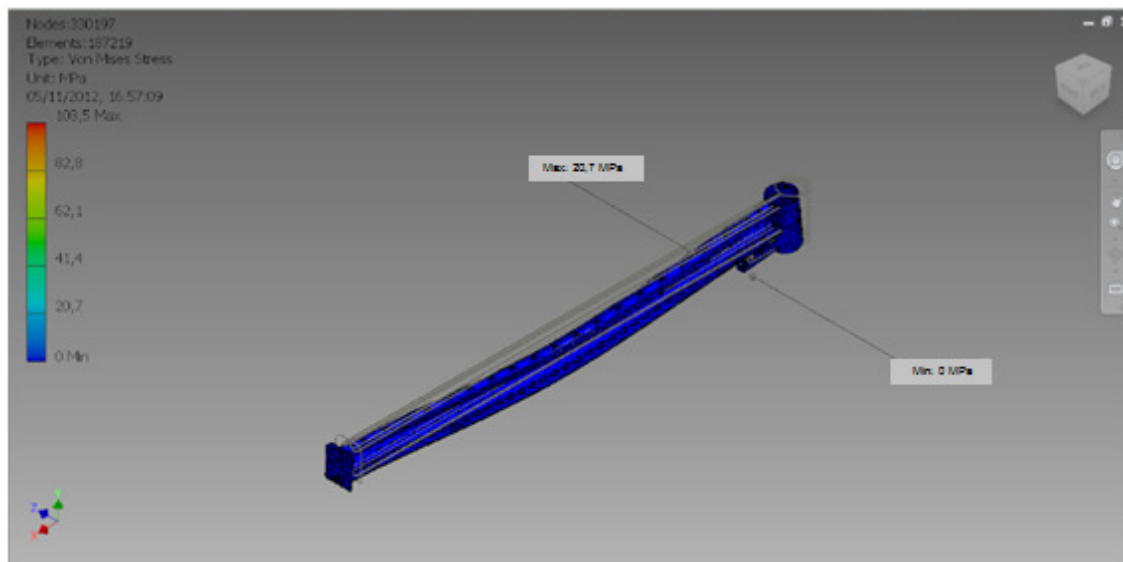


Figura 9 – Verificação ao cisalhamento e escoamento.

3.2.2. Verificação da Flecha Máxima

Na Figura 10 foi indicada a flecha máxima de 0,4778mm.

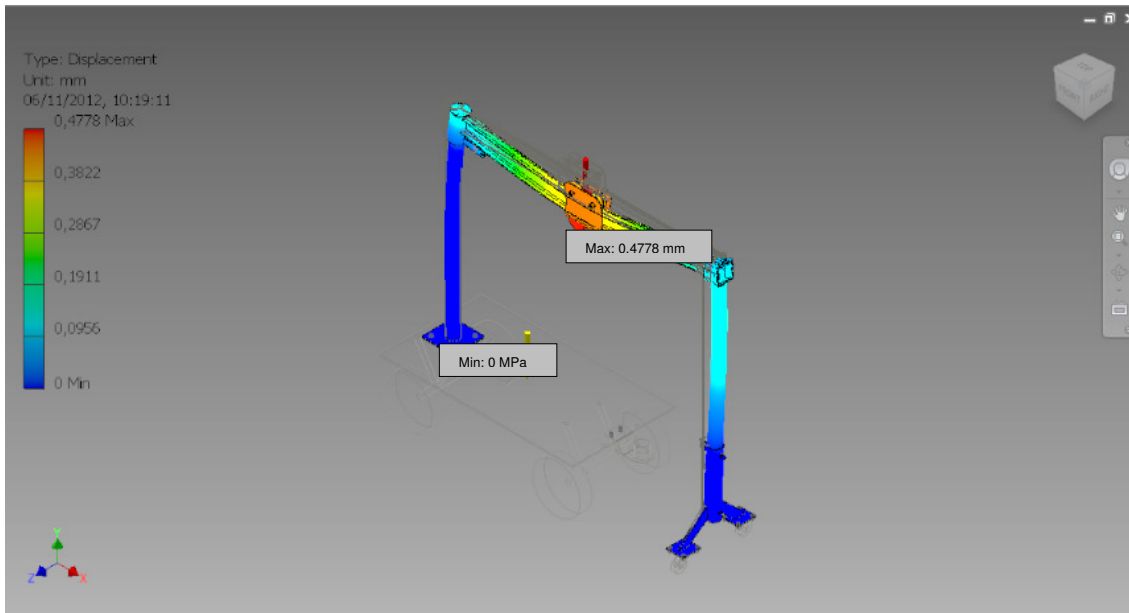


Figura 10 – Verificação da Flecha Máxima

3.2.3. Verificação Contra Flambagem

A Figura 11 apresenta um valor referente ao coeficiente de segurança contra a flambagem de 15.

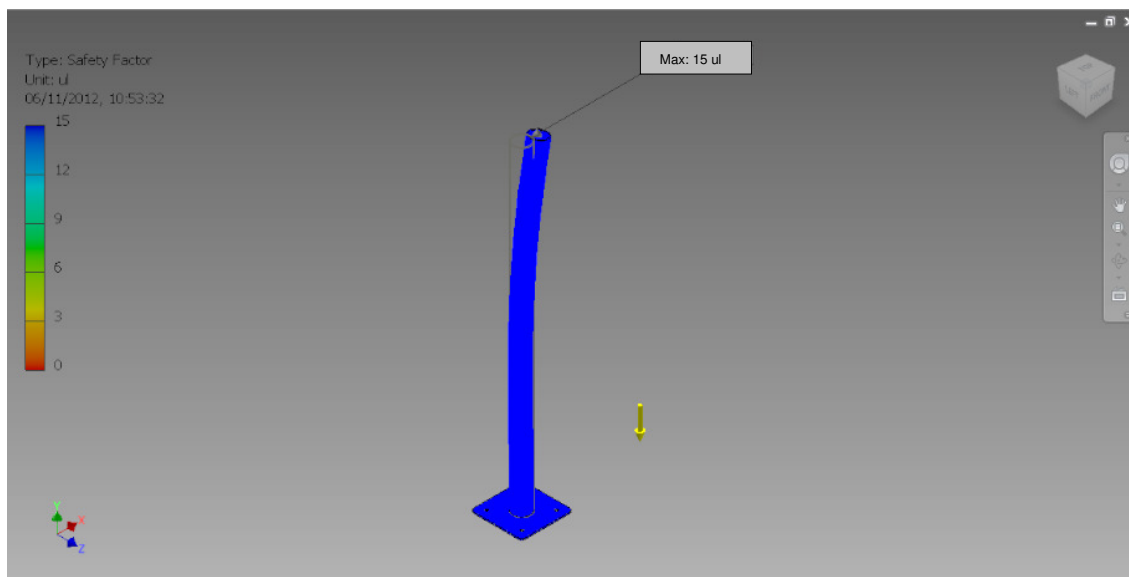


Figura 11 – Verificação do Coeficiente de Segurança Contra Flambagem

4. CONCLUSÕES

Inicialmente foi estipulada para o projeto uma redução de 50% do tempo de execução do procedimento de remoção e transporte de um determinado equipamento e redução de um operador, nos resultados obtidos nos testes o protótipo proporcionou uma redução de 35% do tempo gasto com o processo e a redução de um colaborador para a execução da tarefa, com



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

isso é possível considerar o mesmo satisfatório mesmo apresentando redução de tempo abaixo do estipulado inicialmente.

Com a construção do protótipo foi possível visualizar os procedimentos de utilização e confrontar as expectativas quanto ao funcionamento com os reais resultados, o mesmo apresentou boa movimentação, fácil manipulação para execução de todo procedimento e comportamento conforme esperado da estrutura do projeto, a facilidade de execução dos procedimentos refletiu diretamente na melhora nos indicadores de tempo e mão de obra utilizados. O protótipo foi submetido a testes de elevação e transporte, com um motor elétrico da WEG de 100 CV que pesa aproximadamente 350 kg. Todos os resultados obtidos foram satisfatórios, o projeto mostrou boa movimentação sobre terrenos irregulares tanto com ou sem carga, durante o procedimento de preparação para o levantamento da carga o mesmo se mostrou eficiente na movimentação da coluna móvel e no giro de 360° para o levantamento da carga e a estrutura teve o comportamento esperado com a aplicação da carga de trabalho.

Como pontos fortes do projeto podemos citar o deslocamento em terrenos irregulares, o giro da lança, suas dimensões e a fácil manutenção do equipamento.

5. REFERÊNCIAS

- [1] Antônio Carlos da Fonseca Bragança Pinheiro, Estruturas Metálicas, 2ª Ed., Editora Edgard Blucher, São Paulo, 2005.
- [2] Catalogo de Produtos Comercial Gerdau, <http://www.comercialgerdau.com.br>, acessado em junho de 2013.
- [3] CM do Brasil, <http://www.cmdobrasil.com.br>, acessado em maio de 2013.
- [4] CSM, <http://www.csm.ind.br/revenda/Produtos>, acessado em abril de 2013.
- [5] Ferdinand P. Beer, E. Russell Johnston Jr e John T. Dewolf, Mecânica dos Materiais, 5ª Ed., Mc Graw Hill, São Paulo, Brasil, 2011.
- [6] Marcon, <http://www.marcon.ind.br>, acessado em junho de 2013.
- [7] MATWEB, Material Property Data - <http://www.matweb.com> – acessado em junho de 2013.
- [8] NBR 8400, Cálculo de Equipamentos para Levantamento e Movimentação de Carga, 1984.
- [9] SCHIOPPA. Catálogo de Rodas e Rodízios Schioppa, 2010. <http://www.schioppa.com.br>, acessado em junho de 2013.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UNISANTA - Universidade Santa Cecília pelo apoio recebido durante toda a execução desta pesquisa e a todos que colaboraram para a produção deste artigo.