

Artigo

Eliminação de Gargalo na Produção: Estudo de Caso da Readequação de uma Ponte Rolante.

Valmir Pereira Bezerra Júnior ^[1], **Romulo Pierre Batista dos Reis** ^[2].

^[1] Universidade Federal Rural do Semiárido - UFERSA, Engenharia Mecânica; Valmir Pereira Bezerra Júnior; v-junior22@hotmail.com

^[2] Universidade Federal Rural do Semiárido - UFERSA, Engenharia Mecânica; Romulo Pierre Batista dos Reis; romulopierre@ufersa.edu.br

Data da defesa: 25/outubro/2024;

Resumo: O estudo abordou a otimização da eficiência de um guindaste elétrico de ponte rolante (EOT) em uma planta industrial, buscando resolver o problema da baixa velocidade decorrente de uma relação de engrenagens inadequada. O objetivo foi aumentar a velocidade de deslocamento longitudinal do guindaste, melhorando assim a produtividade. Para isso, uma equipe multidisciplinar foi formada para redesenhar a caixa de engrenagens, realizando testes e cálculos para identificar a melhor configuração. Após a implementação do novo sistema de engrenagens, a velocidade de saída dobrou, resultando em um aumento significativo na produção, sem afetar a estrutura da planta ou comprometer a segurança operacional.

Palavras-chave: Eficiência de guindaste, Velocidade de deslocamento, Relação de engrenagens, Otimização de produtividade, Reengenharia.

1. INTRODUÇÃO

Guindastes são máquinas industrializadas que são principalmente usadas para o transporte de materiais em canteiros de obras, fábricas, linhas de montagem, áreas de armazenamento, usinas de energia e locais semelhantes. Suas características de design variam amplamente de acordo com suas principais especificações operacionais, como: tipo de movimento da estrutura do guindaste, peso e tipos de carga, posição do guindaste, características geométricas, regimes operacionais e condições ambientais. Ele possui uma viga de pista de guindaste equipada com rodas para deslocamento. Esse tipo de deslocamento é chamado de Longo Deslocamento (LT) do guindaste. Nesse caso, toda a estrutura do guindaste se move na direção do eixo do galpão. A viga de pista do guindaste também é conhecida como Viga de Extremidade, que sustenta a Ponte do Guindaste. Todos os guindastes da empresa são guindastes de dupla viga. O Guindaste EOT de Dupla Viga pode ser equipado com passarelas e plataformas de montagem, sendo assim também adequado para a manutenção dos equipamentos da oficina [1]. O guindaste EOT (Guindaste Elétrico de Ponte Rolante) é mostrado na Figura 1.

Gong et al. [2] exploraram o impacto de melhorias na transmissão de guindastes industriais sobre a eficiência e segurança, mostrando que uma relação de engrenagem otimizada pode aumentar significativamente a produtividade nas operações de carga. Kimura e Saito [3] investigaram a reengenharia de guindastes em siderúrgicas, com foco na adaptação da velocidade de deslocamento para atender à demanda de produtividade, com resultados que mostraram uma melhora de até 45% na velocidade de operação. Singh et al. [4] destacaram a importância da manutenção preventiva e da readequação dos sistemas de transmissão para evitar gargalos de produção, especialmente em ambientes fechados, onde a velocidade e a segurança dos guindastes são críticas. Melconian [5] também discute elementos de máquinas que impactam diretamente a produtividade e eficiência em operações de carga e descarga, aspectos essenciais para a readequação de sistemas de guindastes. Rudenko

[1], que detalha os princípios operacionais e de design de máquinas de elevação e transporte para melhorar a eficiência de movimentação em ambientes industriais.

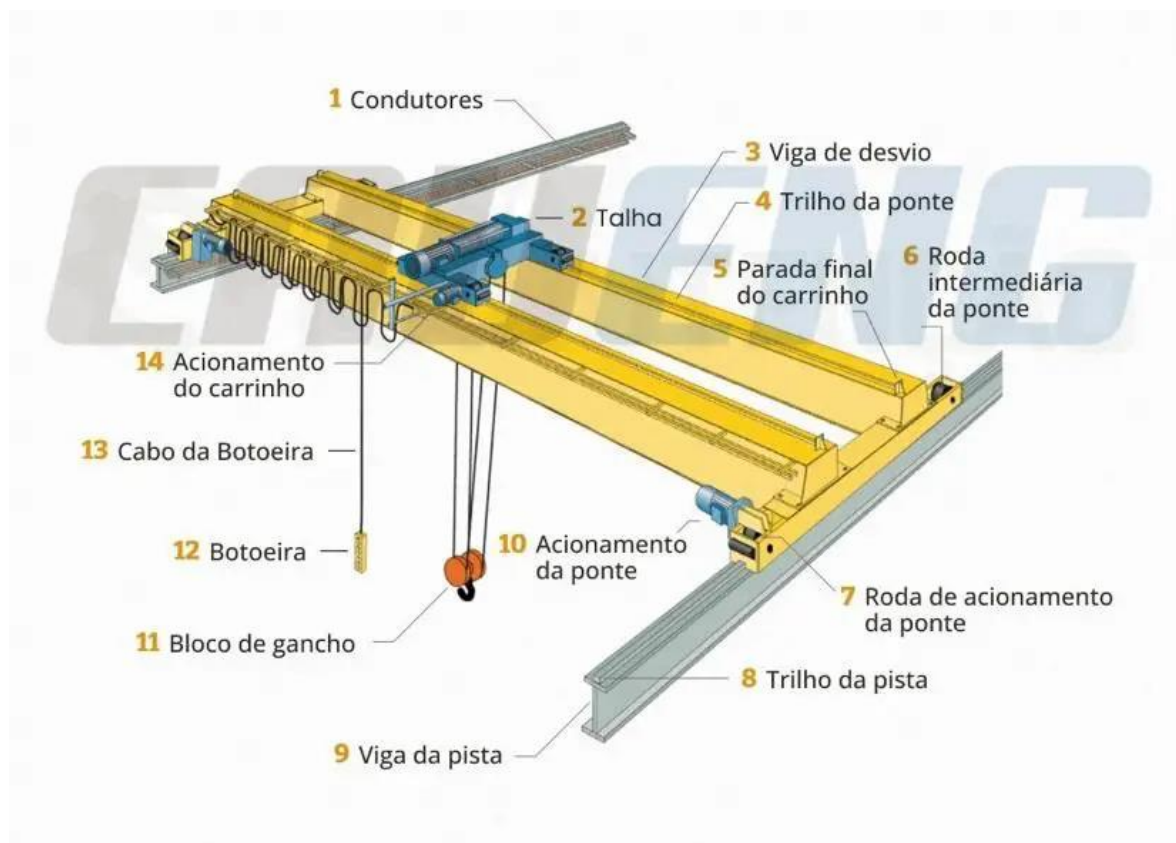


Figura 1: Estrutura de Guindaste EOT de Ponte Rolante. [6]

2. METODOLOGIA

O estudo de caso foi conduzido em uma conhecida empresa de movimentação de cargas onde foi incluído diversas entrevistas com a gestão, operários, equipe de manutenção, encarregados e o gerente de produção, que forneceram detalhes sobre a situação atual dos guindastes EOT na planta, bem como auxiliaram na melhoria das condições dos guindastes. O local de trabalho estudado era a área de manutenção da divisão de fornos da planta, como ilustrado na Figura 2. Conforme mostrado abaixo, o comprimento do galpão é de 112 metros e a largura é de 27 metros, a altura do galpão é de 10 metros. Ele possui dois fornos, ilustrado como F1 e F2, com uma área de manutenção na parte traseira do forno 1, e ao lado está a casa de bombas, que fornece água desmineralizada para ambos os fornos para o funcionamento adequado, além de fornecer resfriamento aos fornos. Os quadrados ilustrados de 1 a 11 na figura são os números de série das colunas do galpão.

A principal produção da empresa é de lingotes de 3,5" x 4,5" x 60", com uma produção total de aproximadamente 2.500 toneladas de aço por mês. A produção é realizada com o auxílio de guindastes EOT, que são essenciais para a operação. A empresa possui cinco guindastes EOT com capacidades que variam de 5 a 15 toneladas, todos operados por operadores de guindaste em cabines localizadas em um dos lados do guindaste.

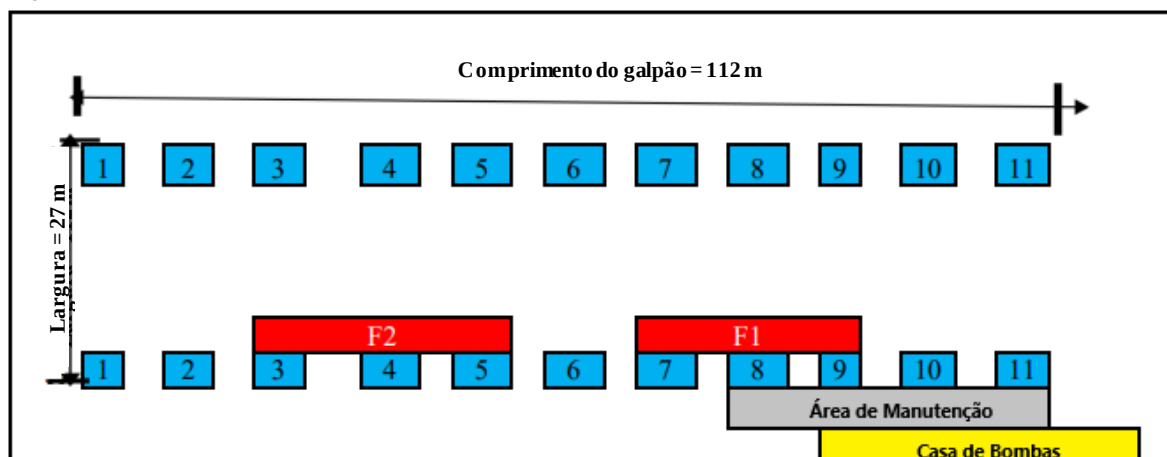


Figura 2: Adaptação do Layout da Divisão de Fornos. [7]

Os dados técnicos do guindaste EOT de dupla viga da empresa no momento do estudo está informado na Quadro 1.

Quadro 1: Dados Técnicos do Guindaste EOT de Dupla Viga antes do trabalho. [8 - 10]

Nº	Parâmetro do Guindaste	Unidade do Parâmetro	Valor do Parâmetro
1.	Classe de Serviço	Sistema BIS	4
2.	Capacidade da Talha Principal	Toneladas	15
3.	Vão do Guindaste	Metros	27
4.	Velocidade de Elevação	Metros/minuto	15
5.	Base do Carro	Metros	2,5
6.	Bitola do Carro	Metros	5,3
7.	Distância da Base do Carro	Metros	1,5
8.	Peso do Carro	Toneladas	3,2
9.	Peso Total do Guindaste	Toneladas	31
10.	Quantidade de Rodas de Deslocamento Longitudinal	Número	4
11.	Quantidade de Rodas Motrizes	Número	2
12.	Velocidade de Deslocamento Longitudinal	RPM	19,54
13.	Diâmetro das Rodas de Deslocamento Longitudinal	Milímetros	848
14.	Tamanho dos Trilhos de Deslocamento Longitudinal	Milímetros	110
15.	Velocidade de Deslocamento Transversal	Metros/minuto	42
16.	Diâmetro das Rodas de Deslocamento Transversal	Milímetros	232
17.	Número de Quedas da Talha Principal	Número	4
18.	Peso da Viga	Toneladas	16,6
19.	Peso da Plataforma	Toneladas	1,9
20.	Peso do Pannel Elétrico	Toneladas	0,51
21.	Peso da Máquina de Deslocamento Longitudinal	Toneladas	0,385
22.	Peso da Cabine do Operador do Guindaste	Toneladas	1,1
23.	Estágios da Caixa de Engrenagens da Talha Principal	Toneladas	4
24.	Estágios da Caixa de Engrenagens de Deslocamento Longitudinal	Toneladas	3
25.	Temperatura de Desclassificação	Celsius	50

26.	Capacidade do Motor da Talha Principal	HP	50
27.	Velocidade do Motor da Talha Principal	RPM	950
28.	Velocidade do Motor de Deslocamento Longitudinal	RPM	960
29.	Capacidade do Motor de Deslocamento Longitudinal	HP	7,5x2
30.	Diâmetro do Cabo de Aço	Milímetros	25

Inicialmente, foi observado que a produção mensal da empresa era de 1.800 toneladas. Todos os membros estavam preocupados com essa produtividade, pois, para se manter competitiva no mercado, a empresa precisava aumentar a produção mantendo a qualidade. Após considerar diversos fatores, como:

- Altura do galpão
- Vão do guindaste
- Distância entre as colunas
- Peso do guindaste conforme sua capacidade de elevação
- Velocidade de deslocamento longitudinal
- Diâmetro das rodas de deslocamento longitudinal
- Diâmetro das rodas de deslocamento transversal
- Desempenho do operador e condições de saúde
- Fornecimento de tensão adequado nos motores do guindaste EOT
- Alinhamento dos trilhos de deslocamento longitudinal
- Diâmetro do tambor do cabo de aço
- Relação de velocidade em todas as caixas de engrenagens, ou seja, deslocamento longitudinal, transversal e elevação

Percebeu-se que a velocidade do guindaste afetava a produção geral da empresa. Sua velocidade era lenta em comparação com a capacidade do motor de deslocamento longitudinal (LT).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Criação da Equipe de Projeto

Com a administração convencida da importância de uma reengenharia na caixa de engrenagens de deslocamento longitudinal do guindaste existente para solucionar os problemas mencionados, foi criada uma equipe de execução de projeto. A equipe era composta por oito membros da empresa: um engenheiro de manutenção mecânica, um técnico mecânico, dois soldadores, quatro ajudantes e dois pesquisadores, para fins de pesquisa. Todos os membros tinham entre 5 e 10 anos de experiência. Estes eram responsáveis por fornecer os dados necessários e iniciar os testes para a implementação do projeto, incluindo a compra dos materiais necessários para a execução.

As metodologias adotadas para alcançar os objetivos foram:

1. Exame do projeto original da caixa de engrenagens.
2. Etapas detalhadas de redesign da caixa de engrenagens.
3. Teste da nova caixa de engrenagens.
4. Instalação da nova caixa de engrenagens no guindaste.

2.2. Exame do Projeto Original da Caixa de Engrenagens

Neste passo, todos os membros da equipe do projeto examinaram o projeto original da caixa de engrenagens. Observou-se que a velocidade do deslocamento longitudinal era muito lenta em comparação com a capacidade do motor de deslocamento. O número de estágios da caixa de engrenagens era três, conforme mostrado na Figura 3.

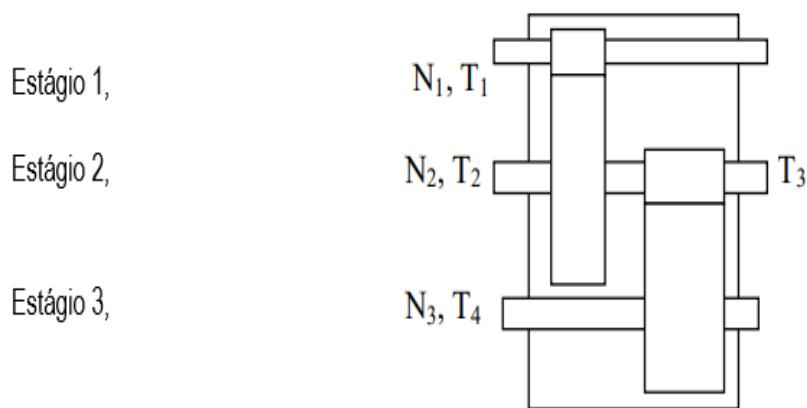


Figura 3: Diagrama Esquemático da Caixa de Engrenagens. [5]

2.3. Cálculos:

Estágio 1:

- Velocidade do motor de entrada (N_1) = 960 RPM
- Número de dentes no pinhão (T_1) = 14

Estágio 2:

- Número de dentes na engrenagem (T_2) = 89
- Número de dentes no pinhão (T_3) = 11

Estágio 3:

- Número de dentes na engrenagem (T_4) = 85

Foi utilizada a relação de transmissão de engrenagens mostrado na Equação 1 [5]. Onde:

$$N_1 \times T_1 = N_2 \times T_2 \quad (1)$$

Isolando o N_2 , temos:

$$N_2 = \frac{N_1 \times T_1}{T_2} \quad (2)$$

Utilizando a Equação 2 com os dados obtidos, temos:

$$N_2 = \frac{960 \times 14}{89} = 151 \text{ RPM}$$

Então, a velocidade do eixo do estágio 2 é de 151 RPM.

Da mesma forma, temos para o estágio 3:

$$N_3 = \frac{151 \times 11}{85} = 19,54 \text{ RPM}$$

Concluiu-se que a velocidade de saída da caixa de engrenagens era de 19,54 RPM, muito lenta para a atual demanda de produção da empresa. Esse fator prejudicava a produção da planta. Para resolver esse problema, seguiu-se para a próxima etapa.

3. RESULTADOS

Nesta etapa, o problema do primeiro estágio foi eliminado ao modificar a relação de engrenagens da caixa de deslocamento longitudinal. O novo cálculo para a relação de engrenagens que geraria uma velocidade ótima foi realizado.

3.1. Novo Cálculo de Relação de Engrenagens:

Estágio 1:

- Velocidade do motor de entrada (N_1) = 960 RPM
- Número de dentes no pinhão (T_1') = 20

Estágio 2:

- Número de dentes na engrenagem (T_2') = 87
- Número de dentes no pinhão (T_3') = 14

Estágio 3:

- Número de dentes na engrenagem (T_4') = 79

Aplicando os novos valores da Equação 2:

$$N_2' = \frac{960 \times 20}{87} = 220,69 \text{ RPM}$$

Agora, para o estágio 3:

$$N_3' = \frac{220,69 \times 14}{79} = 39,12 \text{ RPM}$$

A velocidade de saída aumentou para 39,12 RPM, quase o dobro da velocidade anterior. Essa nova velocidade aumentará significativamente a produção.

3.2. Teste da Nova Caixa de Engrenagens

Após a conclusão bem-sucedida do projeto da nova caixa de engrenagens de deslocamento longitudinal, foi realizada uma série de testes para avaliar o desgaste, ruído e vibrações. Não foi detectado nenhum som indesejado ou vibrações, comprovando que a nova caixa de engrenagens estava pronta para ser instalada no guindaste.

3.3. Instalação da Nova Caixa de Engrenagens

A instalação da nova caixa de engrenagens no guindaste resultou em um aumento significativo na velocidade do guindaste, sem ruídos ou vibrações e sem gerar nenhum risco de acidente no local. Além disso, essa velocidade aumentada não afetou a estrutura do galpão ou as colunas da planta.

4. CONCLUSÃO

O estudo de caso demonstrou que a produção pode ser significativamente aumentada por meio da reengenharia da relação de engrenagens, otimizando a velocidade de deslocamento longitudinal. Inicialmente, a baixa velocidade dos guindastes impactava negativamente a produção da fábrica, resultando em menor produtividade mensal. Após uma análise detalhada e o redesenho da caixa de engrenagens, foi possível dobrar a velocidade do guindaste, passando de 19,54 RPM para 39,12 RPM. Esse aumento permitiu um incremento direto na produção da planta, que passou de 1800 para 2500 toneladas ao mês, sem comprometer a estrutura física do galpão ou a segurança operacional.

A abordagem adotada, com a formação de uma equipe multidisciplinar para a reconfiguração da caixa de engrenagens, mostrou-se eficaz. A instalação da nova caixa de engrenagens foi bem-sucedida, e o guindaste passou a operar de maneira mais eficiente, sem apresentar ruídos ou vibrações indesejadas. Com essa solução, a fábrica pôde aumentar sua capacidade produtiva de forma sustentável, comprovando que a manutenção proativa e o aperfeiçoamento dos equipamentos industriais são fundamentais para a competitividade no mercado.

Portanto, este estudo evidencia a importância de uma abordagem técnica rigorosa para a resolução de problemas de eficiência mecânica, mostrando que pequenos ajustes na relação de engrenagens podem gerar grandes melhorias na produtividade industrial.

5. REFERÊNCIAS

- [1] RUDENKO, Nikolai. Máquinas de Elevação e Transporte. 5ª ed. Moscou: Mir, 1975.
- [2] GONG, X. et al. "Optimization of Gear Ratios for Industrial Cranes to Enhance Operational Efficiency." *International Journal of Mechanical Engineering*, 2019
- [3] KIMURA, H.; SAITO, R. "Reengineering Overhead Cranes for Improved Efficiency in Steel Plants." *Journal of Manufacturing Systems*, 2020

- [4] SINGH, A. et al. "Preventive Maintenance and System Reconfiguration to Address Production Bottlenecks in Heavy-Duty Cranes." *Mechanical Systems and Signal Processing*, 2018
- [5] MELCONIAN, Sarkis. Elementos de Máquinas. 4ª ed. São Paulo: Hemus, 2004.
- [6] CAUENG. Explorando os componentes de uma ponte rolante. Disponível em: <https://caueng.com/explorando-os-componentes-de-uma-ponte-rolante/>. Acesso em: [27/08/2024].
- [7] Mapa das instalações da fábrica. Mossoró, 2023.
- [8] COLUMBUS MCKINNON. Catálogo de produtos 2001. São Paulo: Columbus McKinnon, 2001.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8400: Cálculo de equipamento para levantamento e movimentação de cargas. Brasil, ABNT. 1984.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Brasil, ABNT. 2008.