ANÁLISE E PROPOSTA DE SOLUÇÃO PARA DESGASTE PREMATURO EM ENGRENAGEM DE CORRENTE

ANALYSIS AND PROPOSED SOLUTION FOR PREMATURE WEAR IN CHAIN GEAR

Alessandro Fraga Farah[I]
Douglas Candido de Oliveira[II]
João Paulo Sachetto[III]
Victor Hugo Pissaia Vieira[IV]

RESUMO

Por meio desse estudo foi possível levantar hipóteses para a solução do problema de uma empresa em relação ao motivo do desgaste prematuro de um conjunto de engrenagens de corrente. Diante da incerteza sobre alguns fatores associados a manutenção, como: falta de lubrificação, excesso de partículas (poeira) entre o conjunto de engrenagem e corrente e ou material inapropriado para tal fim, sendo assim, adotou dentre as análises no equipamento, o ensaio de dureza Brinell (HB) nos dentes de engrenagem. O resultado obtido com o durômetro indicou um material totalmente inadequado para a utilização em um conjunto de transmissão. Com esses resultados e as demais análises dos aspectos relacionados a manutenção e variáveis operacionais em conformidade, sugeriu se a troca desse componente ou ainda, submetê-los a processos de melhoramento de superfícies. Os resultados foram apresentados a empresa juntos com a necessidade de mudanças nas características mecânicas do material. A ação primária a ser adotada pela empresa, baseou se na substituição do fornecedor e solicitação dos certificados técnicos de qualidade atestados com a veracidade das propriedades mecânicas requeridas ao componente.

Palavras-chave: Manutenção. Engrenagem. Dureza.

ABSTRACT

Through this study it was possible to raise hypotheses for the solution of a company's problem in relation to the reason for the premature wear of a set of chain gears. In view of the uncertainty about some factors associated with maintenance, such as: lack of lubrication, excess of particles (dust) between the gear and chain set and or material unsuitable for such purpose, therefore, it adopted among the analyzes on the equipment, the Brinell hardness (HB) on the gear teeth. The result obtained with the durometer indicated a material totally unsuitable for use in a transmission set. With these results and the other analyzes of aspects related to maintenance and operational variables accordingly, it suggested whether the replacement of this component

[I] Professor Dr. da Faculdade de Tecnologia (FATEC) – Sertãozinho – SP – Brasil. E-mail: alessandro.farah@fatec.sp.gov.br
[II] Professor do Senai Oscar Lúcio Baldan – Matão – SP – Brasil. E-mail: olicaan@yahoo.com
[III] Prof. Me. da Faculdade de Tecnologia (FATEC) – Sertãozinho – SP – Brasil. E-mail: joao.sachetto@fatec.sp.gov.br
[IV] Aluno da Fundação Educacional de Ituverava – Ituverava – SP- Brasil. Email: victor_hugodv@hotmail.com

or still, subject them to surface improvement processes. The results were presented to the company together with the need for changes in the mechanical characteristics of the material. The primary action to be taken by the company was based on replacing the supplier and requesting technical quality certificates attested with the veracity of the mechanical properties required for the component.

Keywords: Maintenance. Gear. Hardness

Data de submissão do artigo: 05/09/2020.
Data de aprovação do artigo: 05/11/2020.
DOI: 10.33635/sitefa.v3i1.118

1 INTRODUÇÃO

Falhas em engrenagens frequentemente estão associadas a erros ou ausência de procedimentos de manutenção preventiva e/ou lubrificação, erros de projetos associadas a especificação de material com propriedades mecânicas inadequadas, variáveis e condições operacionais anormais as rotinas de operação do equipamento no qual o componente está inserido, dentre outras possíveis causas. Estas anomalias são evidenciadas por meio de desgaste prematuro, fraturas e travamento do sistema de transmissão. Propriedades mecânicas compatíveis com a aplicação desses componentes, frequentemente são obtidas por meio de tratamento superficiais, como por exemplo, têmpera, cementação e nitretação, processos esses que possibilitam, obtenção de uma superfície dos dentes endurecidas com o núcleo tenaz.

O objetivo desse trabalho fundamentou se na necessidade de propor solução para as frequentes intervenções corretivas em um conjunto de engrenagens de corrente, confirmar com técnicas adequadas a necessidade de substituição da liga metálica utilizada na fabricação da engrenagem, sugerir melhoria por algum processo de tratamento e ou se necessário a mudança de fornecedor, caso a empresa que disponibiliza esse dispositivo não se enquadrasse nas especificações necessárias para um bom funcionamento do conjunto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo o autor Childs (2014), por sua definição, engrenagens são rodas cilíndricas dentadas usadas para transmitir potência de origem mecânica oriundo de um movimento rotativo para outro.

A engrenagem de corrente pode ser produzida com ampla variedade dimensional e diferentes materiais, atendendo assim, diferentes tipos de solicitações mecânicas e diferentes aplicações em sistema de transmissão de movimentos circulares (SHIGLEY; MISCHKE, 2008).

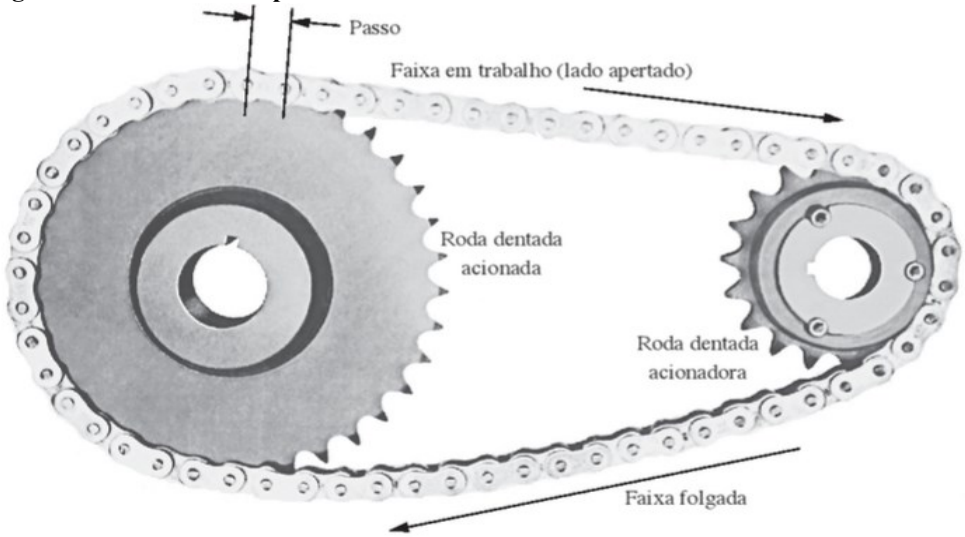
Esse tipo de engrenagem normalmente é fabricado com número ímpar de dentes, pelo simples fato que as correntes terão um número par de roletes. Isso possibilita um menor desgaste pelo motivo de que existe o revezamento do conjunto de encaixes entre dente e rolete, desta forma permitindo um desgaste muito mais uniforme, se tratando de engrenagem e corrente.

As engrenagens têm por meios de verificação suas dimensões a norma DIN 3962, e podem ser fabricadas com diversos tipos de materiais e composições químicas, sendo sua maioria polímeros e metais, que nesse caso variam muito pois suas características físicas influenciam na aplicação da engrenagem. Os materiais a serem empregados para a fabricação

são: aços, aços-liga, fundidos, ferro fundido (fofo), cromo-níquel, ligas de cobre, alumínio, náilon. Como citado anteriormente as aplicações variam conforme a aplicação do conjunto de engrenagem, sendo possível realizar um acoplamento entre dente a dente ou um sistema de transmissão por corrente, onde ambas utilizam no mínimo um par de engrenagens (NORTON,2013).

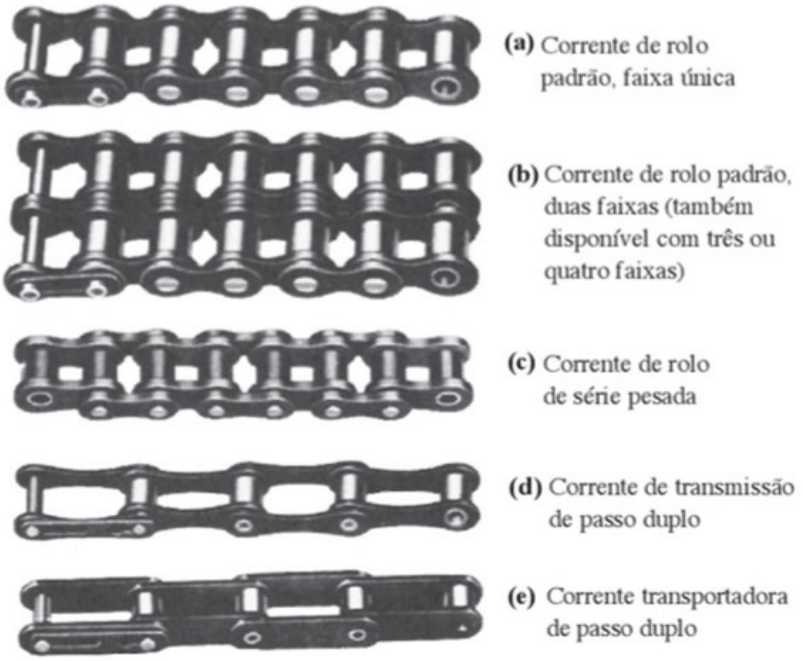
Existem diversos mecanismos para transmissão de energia mecânica e potência, um deles é através de um conjunto de engrenagem, aos quais imprimem rotação, torque e a transmissão de movimento que pode ser para maior ou para menores velocidade/rotação. Essa transmissão de rotação de um eixo onde o conjunto é instalado, é considerado o mais eficiente mecanismo para transmissão de movimentos em sistemas mecânicos. Os tipos de engrenagem mais comuns para esse tipo de aplicação são as cônicas, de corrente, helicoidais, cremalheira, retas, parafusos de rosca sem fim, e cada uma dessas classificações citadas está associado a uma aplicação em específico, dependendo da origem e fim do movimento a ser trabalhado. O uso excessivo desse conjunto requer uma manutenção preventiva, pois a falta desse processo de manutenção gera uma série de problemas, como, desgaste dos componentes (dentes, corrente, eixo), corrosão, fadiga, falta de lubrificação e ou meio inadequado onde o equipamento está instalado. As figuras 1 e 2 representam, um sistema de transmissão velocidades por meio de engrenagens e corrente e os tipos de correntes disponíveis para estas aplicações, respectivamente.

Figura 01 - Transmissão por corrente de rolo



Fonte: Rexnord Industries, LLC, Milwauke, Wiscousin, EUA (2020)

Figura 02 - Correntes de rolo/transmissão/transportadora



Fonte: Rexnord Industries, LLC, Milwauke, Wiscousin, EUA (2019)

Em relação ao projeto da corrente (cadeia de elos), é importante relacionar a capacidade de transmissão com três modos de falha: (1) fadiga das placas de conexão em razão da aplicação repetida da tração no lado apertado da cadeia de elos, (2) impacto dos rolos a medida em que eles engatam os dentes da roda dentada e (3) desgastes entre os pinos de cada conexão e as buchas sobre pinos. (MOTT, 2015). As ligas metálicas mais indicadas para a confecção de engrenagens estão relacionadas a porcentagem de carbono (C) em sua composição, conforme a tabela 1.

Tabela 1 – Nomeclatura e aplicações de alguns aços

Número SAE	Aplicações
1015	Peças em chapa de metal moldada; peças usinadas (podem ser cementadas)
1030	Peças em perfil de barra, alavancas, hastes e chaves de uso geral
1040	Eixos, engrenagens
1080	Molas; peças de equipamentos agrícolas submetidos a abrasão (dentes de ancinho giratório, discos arados, dentes de cortadores)
1112	Peças de tornos automáticos
4140	Engrenagens, eixos, forjamentos
4340	Engrenagens, eixos, peças que exigem bom endurecimento integral
	Engrenagens, eixos, cames
5150	Eixos de alta durabilidade, molas, engrenagens
6150	Engrenagens, forjamentos, eixos, molas
8650	Engrenagens, eixos
9260	Molas

Fonte: Adaptado de Mott (2015, p. 51)

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a realização desse estudo, considerou se recorrentes falhas por desgaste ocorridas em um conjunto de engrenagens de transmissão de movimento/rotação por corrente/cadeia de elos. Foram levantadas algumas hipóteses referentes ao desgaste em um curto espaço de tempo e atividade do conjunto. Foi feito uso de ensaio de dureza para uma avaliação inicial desta que é uma propriedade fundamental, haja vista que verificava se pronunciado desgaste nos dentes, sendo assim, a partir desta técnica, possibilitou uma noção prévia da liga metálica empregada na fabricação do componente e compatibilidade do mesmo com a referida aplicação na empresa.

A peça a ser analisada é uma engrenagem para corrente dupla e está ilustrada conforme imagem a seguir:

Figura 3 - Engrenagem dupla de Corrente



Fonte: fotografado pelos autores (2020)

A figura 4, apresenta um conjunto de corrente e engrenagens e sua aplicação. Um sistema de motor e redutor transmite o movimento circular por meio da ação entre uma engrenagem montada no eixo de saída do redutor, o qual é responsável redução na velocidade de rotação do motor. A redução é transferida de uma engrenagem a outra, com o objetivo de movimentar a correia transportadora que está sendo tracionada pelo tambor de acionamento.

Figura 4 - Sistema de transmissão motor/redutor para tambor de correia transportadora



Fonte: fotografado pelos autores (2020)

Para a realização dos ensaios de dureza, optou se inicialmente pelo método Brinell, o qual é descrito e regido pelo método e norma descritos na tabela 2, complementado por Chiaverini, conforme texto subsequente a tabela.

Tabela 2 - Metodologia aplicada para o ensaio de dureza Brinell

Análise	Método
Dureza	Realização de compressão axial ao corpo de prova/material (plano) com penetrador em forma de esfera de aço ou tungstênio. (ABNT NBR ISO 6506-1 :2019)

Fonte: os autores (2020)

> A dureza é determinada pela resistência à penetração... Para isso utiliza-se um "penetrador" na forma de esfera ou de pirâmide ou troco de cone, confeccionado de aço temperado, "metal duro" ou diamante, o qual é forçado a penetrar no material cuja a dureza se quer medir pela aplicação de uma carga de natureza estática (CHIAVERINI, 1986, p. 137)

O estudo realizado na peça que apresentou o desgaste prematuro, consistiu em, medir a dureza em pontos das extremidades dos dentes da engrenagem para a verificação segundo a literatura ou por meio de cálculos matemáticos a resistência a endentação desse material, posteriormente comparado com os materiais indicados para a aplicação onde a coroa estava executando o trabalho. Utilizando um durômetro, marca Pantec apropriado para medir na escala Brinell, utilizando esfera de aço com diâmetro de 10 mm com carga de 3000 Kg para a obtenção do valor da dureza (HB).

A esfera de Aço de diâmetro **D** é forçada sobre a superfície da peça/material com uma carga **P**, essa força exercida sobre a peça/material gera uma "impressão" em formato de calota esférica, de diâmetro ***d***, no qual podemos dessa forma e com essas informações em mãos medir por meio de cálculos o valor da "dureza Brinell". Esta dureza é representada pela letra H e é a relação entre a força aplicada e a área da impressão obtida.

$$H = \frac{2P}{\pi D\,(D-\sqrt{D^2-d^2})}\left(\frac{kgf}{mm^2}\right) \quad (1)$$

Quanto maior for a impressão obtida na peça/material pode se afirmar que ele é considerado "mole", ou seja, que aceita facilmente a penetração.

Figura 5 - Fotos reais da coroa com desgaste superficial



Fonte: fotografado pelos autores (2020)

Na figura 5 pode-se ver fotos reais da coroa (engrenagem) com o desgaste na região dos dentes, sem fraturas ou defeitos aparentes. A análise visual do conjunto montado nos pode servir de base para as primeiras afirmações, que, não estávamos lidando com desalinhamento entre coroa e corrente, falta de lubrificação e ou falta de ajustes como tensão da corrente. Por fim com a análise visual e posteriormente o ensaio de dureza na periferia dos dentes descartamos maiores análises com outros tipos de ensaios, como de impacto, metalografia e tração.

Segundo Medeiros, 2008, o valor de dureza Brinell de um SAE 1045 está na média de 178HB com desvio padrão de ± 6, em analogia a *Tabela 1* que nos mostra que o SAE 1040 já é indicado para a fabricação de uma engrenagem podemos afirmar que o uso de um aço com porcentagem de carbono a baixo dos 40% não seria apropriado para a confecção das mesmas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise realizada no ensaio de dureza Brinell na periferia dos dentes da engrenagem podemos visualizar que tivemos uma média simples de dureza na casa dos 82.8 HB, sendo o ponto com maior dureza de 87 HB e o de menor 78 HB.

O resultado obtido no ensaio foi primeiramente conferido com o que CHIAVERINI utilizou:

Tabela 3 - Referencial de dureza em diferentes materiais

Dureza (kgf/mm²)	Materiais Ensaiados
Entre 90 e 415	Aços e ferros fundidos
Entre 30 e 140	Cobre, alumínio e suas ligas mais duras
Entre 15 e 70	Ligas antifricção, cobre, alumínio e duas ligas mais moles
Até 30	Chumbo, estanho, antimônio e metais patentes

Fonte: Adaptado de CHIANVERINI (1986)

A imagem 4 mostra a engrenagem após o ensaio de dureza:

Figura 4 - Engrenagem de corrente após ensaio de dureza Brinell



Fonte: os autores (2020)

Tabela 4 - Resultados obtidos no ensaio de dureza em cinco pontos distintos

Local da aplicação	Carga (Kg)	Penetrador		Resultado Obtido (HB)
1	3000	Esfera	(10 mm)	87
2	3000	Esfera	(10 mm)	85
3	3000	Esfera	(10 mm)	84
4	3000	Esfera	(10 mm)	80
5	3000	Esfera	(10 mm)	78
Média de Dureza				**82,8**

Fonte: os autores (2020)

A tabela mostra alguns dos aços mais indicados para a fabricação de uma engrenagem, são eles: SAE 1040, SAE 4140, SAE 4340, SAE 4640, SAE 5150, SAE 6150 e SAE 8650, esses aços possuem uma característica em comum, a presença de carbono em porcentagens entre 40% e 50%. Na literatura encontramos valores de dureza Brinell para o SAE 1040 na casa de 185 HB, e do SAE 6150 entre 220 HB. Essa dureza pode ser aumentada com o processo de tratamento térmico na região periférica do dente, alguns dos mais comuns são: têmpera, cementação ou nitretação. Esses processos melhoram a resistência ao desgaste do dente da engrenagem exponencialmente, apropriando a para o uso em um conjunto de transmissão.

A média da dureza encontrada é compatível com o SAE 1008, no entanto, para a confirmação desta hipótese, faz se necessário o uso de técnicas metalográficas e análise química do material usado na fabricação destas engrenagens.

Realizou-se análises de campo, constatando se que o conjunto estava em pleno funcionamento, sem nenhuma intervenção externa que poderia comprometer ou afetar a resistência ao desgaste. A análise consistiu em: procedimentos de montagem, alinhamento entre engrenagens e alguns parâmetros operacionais, como: tempo de funcionamento, carga atribuída na correria transportadora, potência e torque do equipamento. Analisamos também a rotina de lubrificação com o óleo lubrificante CHEMLUB Volan Lub 8000.

Os resultados das análises da tabela 4 indicaram uma rotina de manutenção e lubrificação estavam dentro do esperado e programado, seguindo manual do lubrificante e rotina de manutenção adotada pela empresa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseado no tempo precoce de trabalho até o desgaste acentuado se manifestar na falha, foram observadas fortes evidências de que a liga metálica utilizada na fabricação das engrenagens, é incompatível com os esforços os quais o componente é submetido. O ensaio de dureza confirmou esta hipótese. Contudo, para atribuir a somente a esta condição a falha do componente, foi necessário confirmar por meio da análise dos procedimentos de manutenção preventiva, tais como, ajustes e regulagem mecânica do sistema, bem como, a rotina de lubrificação, evidenciou se que nesse aspecto, lubrificante, volume e frequência estavam em conformidade com as especificações recomendadas pelo fabricante do equipamento e os planos de manutenção são cumpridos satisfatoriamente, descartando a possibilidade da falha do componente e as sucessivas intervenções corretivas estar relacionadas a rotinas e planos de manutenção inadequado ou não cumpridos. Outro fator investigado e também descartado quanto a sua contribuição para a falha prematura, foram as variáveis operacionais do equipamento, nesse aspecto também constatou se que não há relação, de velocidades

periféricas, cargas aplicadas, sentido de movimento linear e circular do mecanismo de acionamento do equipamento com uma possível contribuição ao desgaste prematuro.

Considerando esses valores e que todas especificações de manutenção e lubrificação estão dentro da normalidade pode se afirmar que a engrenagem é totalmente inapropriada para a referida aplicação, onde o atrito predomina entre o elo da corrente e o dente da engrenagem.

A média da dureza do material ensaiado conforme tabela 4 foi comparada com um aço SAE 1008 (0,08% de carbono) com cerca de 95 HB, valor esse inferior a dureza superficial necessária em dentes de engrenagens de corrente. Sugere se como alternativas a resolução do problema, usar esta mesma liga metálica, no entanto submeter o componente a cementação, promovendo assim, endurecimento superficial, fato que aumenta a resistência ao desgaste e resistência a fadiga mecânica, bem como preserva o núcleo do dente tenaz. Outra possibilidade eliminar a causa da falha prematura adquirir o componente fabricado com aços baixa liga como por exemplo SAE 4340 com dentado da engrenagem submetido a tempera superficial, procedimento que assim como na cementação e nitretação, promove endurecimento superficial com valores em torno de 55 a 60 HRC.

A sugestão de eliminação da causa das falhas prematuras e recorrentes no componente mecânico, baseados nos resultados desse estudo, foi mudança de fornecedor e material da engrenagem, juntamente com solicitação de laudo comprobatório da veracidade das informações técnicas sobre o componente a ser adquirido.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAIS TÉCNICAS. **NBR ISO 6506: Materiais Metálicos – Ensaio de Dureza Brinell.** Rio de Janeiro. 2019.

CHIAVERINI, Vicent. **Tecnologia Mecânica Estrutura e Propriedades das Ligas Metálicas** Vol. 01, 2º Ed., Editora McGraw.Hill Ltda, 1986. p.125-149

CHILDS, P. R. N., "**Gears," in Mechanical Design Engineering Handbook**, 1. ed., Butterworth Heinemann, 2014.

MEDEIROS, N. T. J., 2008, **"Desgaste Abrasivo de Ferro Fundido Nodular Usado em Engrenagens"** Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, CONEM 2008.

MOTT, Robert. **Elementos de Máquinas em Projetos Mecânicos,** 5. ed.. Editora Pearson, 2015. p. 299-313.

NORTON, R. L. **Projeto de máquinas: uma abordagem integrada.** 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013

REXNORD CORPORATION. www.rexnord.com.br **Fabricante de Componentes de Transporte e Transmissão de Potência, Incluindo Transmissões por Corrente de Rolo e Sistemas de Engenharia de Transmissão por Cadeia de Elos.** Disponível em: https:// www.rexnord.com.br. Acesso em: 10 nov. 2019.

SHIGLEY, J. E.; MISCHKE, C. R. **Projeto de Engenharia Mecânica**. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.