

# ANÁLISE DE FALHA DO PARAFUSO DE FIXAÇÃO DO FLANGE DE ROLO SUPERIOR DE MOENDA

*Celiomar Francisco Araújo<sup>1</sup>*

*Warley Augusto Pereira<sup>2</sup>*

## RESUMO

O presente artigo realiza uma análise de falha do parafuso de fixação do flange de rolo superior de moenda, levando em conta o índice de frequência de fraturas de parafusos que fixam os flanges nas camisas de moenda em usinas de cana-de-açúcar. Assim, visou-se compreender porque e como ocorre a quebra de parafusos dos flanges do rolo superior. Esse tipo de ocorrência exige das usinas longos períodos de parada da moenda para que se possa fazer a reparação do problema, tal fato ocorre geralmente no período de safra, em que há situações diversas que contribuem e levam às falhas. Mediante tal problema, este trabalho tem como principal objetivo compreender as principais causas que de fato ocasionam as falhas sucessivas do parafuso utilizado em terno, apontando ainda qual a melhor forma de reduzir o mesmo e evitar a indisponibilidade do equipamento para a produção. Além desse objetivo principal, devem ser alcançados os seguintes objetivos específicos: compreender o processo de moagem; apresentar os principais componentes de um terno; conceituar a fadiga dos metais, mecanismo de falha, bem como o efeito dos fatores que influenciam a resistência à fadiga; apresentar projetos para parafusos de aço, com cargas atuantes em parafusos de flanges de moenda, sua resistência, quando pré-carregados sob carga dinâmica em cisalhamento. A partir de um estudo de caso de uma amostra de parafuso do flange da moenda utilizado por uma usina de açúcar e álcool, sob a inspeção conforme roteiro N° 74.048.30.50 R 1 de um laboratório de análises, documentado pelo relatório n° 3943.04.01.10 foi possível evidenciar as possíveis falhas, pois, se vivenciou o da mesma e assim, levou-se a testes para conclusão da pesquisa. Diante de todo o estudo é possível compreender que o ideal é que a transição entre o raio e a superfície cilíndrica anterior à rosca seja suave, deste modo é possível evitar a formação de arestas, e ainda o raio no fundo dos filetes da rosca deverá contar com uma curvatura uniforme e regular para melhor resistir a um número elevado de ciclos.

**Palavras-chaves:** Parafuso. Falha. Flange. Fadiga.

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Mecânica pela Universidade de Rio Verde-UniRV-GO.

<sup>2</sup> Orientador, Professor Dr. da Universidade de Rio Verde

## 1 INTRODUÇÃO

Conforme Lima e Ferraresi (2006), o setor sucroalcooleiro tem crescido no Brasil nestes últimos anos, devido a grande quantidade de aumento de veículos bicompostível no país. O setor industrial sucroalcooleiro no Brasil é caracterizado por períodos de safra e de entressafra. Durante o período de safra, normalmente, os equipamentos moenda ou difusor são expostos à sua capacidade operacional máxima e o ritmo de trabalho desejado é o interrupto, no período de entressafra é utilizado para a restauração e manutenção de equipamentos para iniciar-se uma nova safra.

No presente artigo é realizada uma análise de falha do parafuso de fixação do flange de rolo superior de moenda, levando em conta o índice de frequência de fraturas de parafusos que fixam os flanges nas camisas de moenda em usinas de cana-de-açúcar. Assim, visa-se compreender porque e como ocorre a quebra de parafusos dos flanges do rolo superior.

Esse tipo de ocorrência exige das usinas longos períodos de parada da moenda para que se possa fazer a reparação do problema, tal fato ocorre geralmente no período de safra, em que há situações diversas que contribuem e levam às falhas.

Mediante tal problema, este trabalho tem como principal objetivo compreender as principais causas que de fato ocasionam as falhas sucessivas do parafuso utilizado em terno, apontando ainda qual a melhor forma de reduzir o mesmo e evitar a indisponibilidade do equipamento para a produção. Além desse objetivo principal, devem ser alcançados os seguintes objetivos específicos:

- Compreender o processo de moagem;
- Apresentar os principais componentes de um terno;
- Conceituar a fadiga dos metais, mecanismo de falha, bem como o efeito dos fatores que influenciam a resistência à fadiga;
- Apresentar projetos para parafusos de aço, com cargas atuantes em parafusos de flanges de moenda, sua resistência, quando pré-carregados sob carga dinâmica em cisalhamento.

Diante deste cenário, observa-se a necessidade de compreender tais falhas, sendo o tema de suma importância para garantir melhor produtividade das usinas, deste modo,

observa-se que todo o projeto e as ações de manutenção, devem ser planejados para que a probabilidade de falha durante a operação seja minimizada, falhas de materiais e dimensionamentos incorretos para aplicação em componentes críticos para o processo, como os da moenda, são extremamente indesejáveis podendo ocasionar a quebra dos parafusos de fixação dos flanges do rolo superior e diversas ações são colocadas em práticas para minimizar a indisponibilidade destes equipamentos.

Segundo o boletim técnico Welding (2016), a quebra dos parafusos de fixação dos flanges de moenda são falhas de acontecimento em diversas usinas de cana-de-açúcar devido aos fatores como falta de conhecimento técnico do projeto, fabricação inadequada, montagem inadequada e problemas operacionais.

No caso de existirem falhas prematuras, são realizadas análises de âmbito científico, uma etapa deste processo é a análise e a produção de conceitos que levam a utilizar o desenvolvimento de novas soluções capazes de minimizarem estas falhas. Por outra parte do processo se concentra na capacidade de retomada dos equipamentos, ou seja, em caso de falhas prematuras, ter estratégias robustas o suficiente para restaurar os equipamentos e retorna-los em operação no melhor tempo possível.

Devido à exigência do uso constante diário intermitente da moenda para extração de caldo da cana de açúcar no ano, período de safra, motivo que leva a necessidade a materiais e dimensionamento adequado e operação correto dos componentes da moenda, quando ocasiona a falha prematura e é realizado análise de falha de modo científico a contribuir para novas soluções duradouras e correções mais eficácia que garanta o funcionamento total da moenda.

## 1.1 PROCESSO DE MOAGEM

A moagem trata-se de um processo de fragmentação fina, que resulta em um produto que se adéqua à concentração de determinada matéria prima, deste modo, observa-se que o processo de moagem trata-se de uma área da fragmentação que determinam maiores investimentos, bem como gastos de energia (CHAGAS, 2008).

A moagem é uma operação de grande importância na garantia do bom desempenho, sendo mais empregados os seguintes equipamentos: moinhos cilíndricos (barras, bolas ou seixos) e moinho de martelos.

Luz et al. (2004) afirmam que a moagem é todo o processo de fragmentação de determinado produto ou matéria prima, requer altos investimentos, grandes gastos de energia e é considerada uma operação importante para o bom desempenho de uma instalação de tratamento. Deste modo, é possível considerar as necessidades de aprendizado para lidar com tal processo. Assim, percebe-se que a moagem deve ser estudada e avaliada, especialmente na fase de dimensionamento e escolha de equipamentos.

Para Von Krüger (2004) há ainda piores custos denominados de indiretos e estes, por sua vez, ligados à eficiência da moagem, criando a necessidade de que os corpos moedores possuam maior intensidade de acordo com sua distribuição granulométrica.

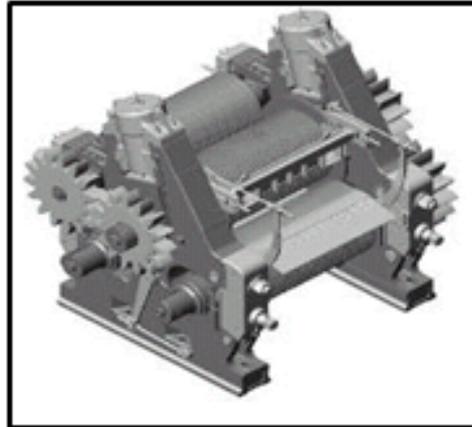
A Moenda é composta por um conjunto de quatro ou seis ternos, variando conforme sua capacidade de produção. No terno os rolos são posicionados no formato de triângulo, de modo que a fibra da cana passe primeiramente entre o rolo de pressão e o rolo superior, onde ocorre a compactação. Em seguida, ocorre a primeira extração do caldo da fibra da cana entre o rolo de entrada e o rolo superior por final ocorre a segunda extração entre o rolo de saída e o rolo superior (FIGUEIRA et al, 2014).

Ainda de acordo com este autor, deste processo obtém-se o subproduto bagaço de cana, que é usado como combustível em caldeiras de alta pressão para geração de vapor e, conseqüentemente, geração de energia elétrica. O processamento do produto principal (o caldo) é dividido em duas etapas, sendo a primeira parte do tratamento de caldo composta pela fermentação e destilaria para produção de etanol e a outra parte é usada no cozimento e cristalização do açúcar.

### 1.1.1. Processo industrial de moagem

De acordo com Payne (1989), a extração do caldo de cana por moenda ocorre pela compressão da cana por pares de rolos instalados nos ternos da moenda, onde a quantidade de ternos é variável conforme a capacidade total de moagem desejada, ocasionando a separação do caldo da fibra da cana. Os ternos são classificados por bitola, sendo os mais comuns 26" x 48", 30" x 54", 34" x 66", 37" x 78", 42" x 84", 46" x 90" e 56" x 100", os primeiros valores correspondem ao diâmetro nominal dos cilindros e os segundos valores aos seus comprimentos. A FIGURA 1 mostra o terno da moenda.

**FIGURA 1** – Terno de moenda

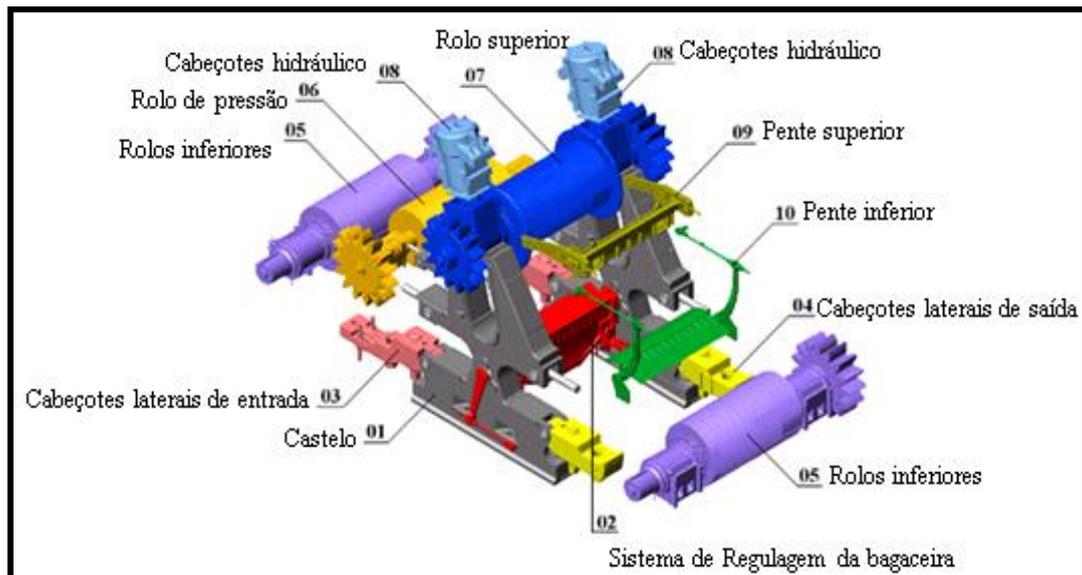


Fonte: Caltarosso (2008).

### 1.1.2 Componentes principais de um terno

Os ternos da moenda e dividido em subconjuntos, os quais cada um tem a sua importância no processo da extração. São eles:

**FIGURA 2** – Vista explodida de um terno de moenda



Fonte: Fábio caltarosso (2008).

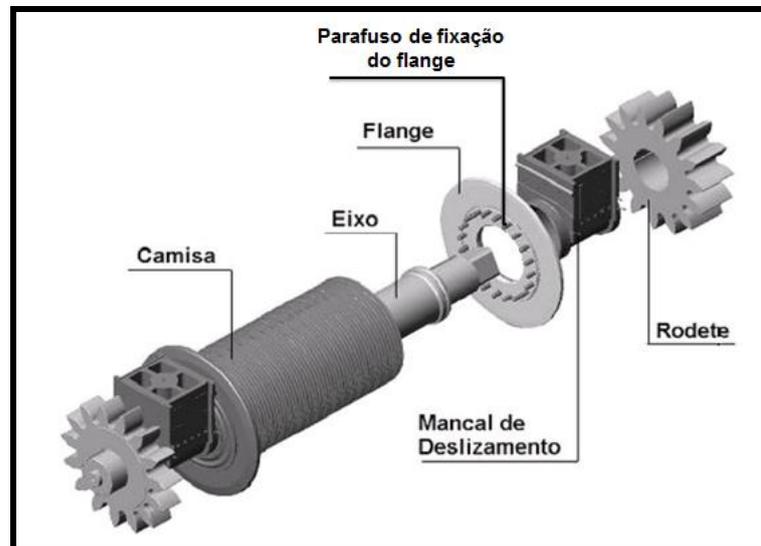
A oscilação ocorrida no rolo superior é importante no processo da moagem, a qual mantém uma pressão constante no colchão de cana-de-açúcar. É foco deste trabalho o componente específico do rolo superior do terno de moenda chamado flange, onde o mesmo é fixado através de parafusos fabricados em aço SAE 4140 com quantidade variável de 12 ou

18 peças, conforme o tamanho do rolo, com o torque de aperto pré-estabelecido, de acordo com a pressão de trabalho.

Hugot (1969) ressalta que os flanges se desgastam no decorrer do período de trabalho, e que entre os rolos inferiores e os flanges do rolo superior tem que haver aproximadamente um milímetro de folga, para que não haja travamento do deslocamento no rolo superior, quando algo estranho ocasiona o deslocamento desnivelado do rolo superior.

Os flanges instalados nas extremidades das camisas do rolo superior (FIGURA 3) têm o objetivo de reter o bagaço entre os castelos e os rolos, assegurando que não haja perda do bagaço pelas laterais do castelo quando o bagaço está sendo comprimido entre os rolos da moenda.

**FIGURA 3** – Rolo superior da moenda



Fonte: Fábio Caltarosso, 2008.

No sistema hidráulico do rolo superior são instalados os cabeçotes hidráulicos que exercem uma pressão contínua e independente em cada mancal. Segundo Caltarosso (2008), o rolo superior tem uma grande importância no terno da moenda, pois é com ele que o bagaço tem maior contato.

Castro e Andrade (2007) salientam que o trabalho do rolo superior em desnível pode gerar no mancal uma concentração de pressão demasiada em pequena área de trabalho que tende ao aquecimento e travamento do mancal no castelo, prejudicando o deslocamento do rolo superior.

Para Hugot (1969), o rolo superior é projetado para suportar elevadas pressões e sua finalidade é fornecer uma compressão contínua na camada da cana-de-açúcar que independe da oscilação desse colchão.

## 1.2 FADIGA DOS METAIS

De acordo com Hibbeler (2010), quando determinada peça é exposta a vários esforços cíclicos repetidos de tensão e deformação, sua estrutura ocasiona o rompimento da estrutura material, até o rompimento total do material, que é denominado fadiga.

O início destas falhas inicia em regiões microscópicas, normalmente na superfície do material onde as tensões localizadas são maiores que as tensões médias exercidas na seção total da peça. Sendo cíclica, esta tensão localizada maior, leva o surgimento de micro trincas (HIBBELER, 2010).

Cimm (2016, p. 1) afirma que a fadiga pode ser conceituada como “efeito acumulativo que provoca a falha de um metal depois de repetidas aplicações de tensões, nenhuma das quais excedendo a força de tensão limite”. Neste caso compreende-se que a fadiga do metal trata-se da tensão que provoca falhas após determinado número de ciclos, sendo o número de ciclos necessários para produção de falhas diminuindo à medida que se aumenta o valor de tensão ou de esforço, há ainda fatores como a corrosão, por exemplo, que também aceleram o estado de fadiga do metal.

Observa-se que a grande maioria das estruturas criadas pela engenharia é elaborada para se sujeitar diversas e variáveis cargas que geralmente variam no tempo. Mesmo quando o carregamento pareça estático sob um primeiro olhar, a falha por fadiga poderá ocorrer em uma ampla gama de ciclos, com valores variáveis, da ordem de 10 ciclos até superiores. Embora o número de ciclos dependa do nível da solicitação, a resistência é menor quando este se sujeita a uma maior carga dinâmica, diminuindo, assim, a vida útil (ROSA, 2002).

### 1.2.1 Mecanismo de falha por fadiga

De acordo com Pereira (2015), a fadiga ocorre mediante alguns mecanismos que necessariamente devem ser aplicados juntos, sendo estes:

- Solicitações dinâmicas,
- Solicitações de tração, e
- Deformação plástica.

Ainda de acordo com este autor, a falha por fadiga tem por mecanismo a nucleação e propagação gerada mediante os defeitos em materiais resultante dos ciclos alternados de tensão ou ainda de deformação.

A falha por fadiga ainda ocorre graças às tensões cisalhantes que tem como consequência um escoamento que gera intrusões e extrusões superficiais, deste modo, aumenta a concentração de tensões gerando uma descontinuidade inicial, essa quando se intensifica, começa a propagar a denominada "trinca de fadiga" que aumenta de tamanho progressivamente até gerar uma fratura do componente (PEREIRA, 2016).

Deste modo, conceitua-se simplesmente a ruptura de um componente conforme a propagação de uma fissura que foi ocasionada por uma aplicação de tensões cíclicas, sendo a fadiga, a causa mais comum de rupturas em peças móveis. As irregularidades superficiais, surgem devido às concentração de tensões e geram deformação plástica, esta se localiza nos planos de deslizamento devido aos movimentos atômicos.

### 1.2.2 Efeito dos fatores que influenciam a resistência a fadiga

De acordo com Rodrigues (2016), a fadiga é um mecanismo de degradação influenciado por trincas, e geram ainda fraturas nas peças e equipamentos em geral ocasionadas por cargas repetidas em ciclos, sendo geralmente em peças como eixos, engrenagens, parafusos, molas, entre outros.

Ainda de acordo com este autor, os elementos que operam sob tensões constantes, bem como com variações pouco frequentes, sendo o mesmo com a maioria dos tanques, vasos de pressão e tubulações que não sofrem fadiga de forma usual. Observa-se que quando uma peça rompe por fadiga, o fato ocorre devido a quantidade de ciclos de tensão que ultrapassou seu limite de resistência, não exatamente devido ao “cansaço” do material.

Quanto aos fatores que influenciam a resistência a fadiga, observa-se que estão relacionados ao material inadequado, e ainda ao excesso de ciclos e ao limite de resistência.

### 1.2.3 Determinação teórica e experimental da resistência à fadiga

De acordo com Uddeholm (2016), os aços utilizados em projetos de engenharia estão expostos, em geral, a condições adversas como as temperaturas elevadas, impactos e choques térmicos, associados a esforços cíclicos intensos. A Tabela 1 apresenta determinações teóricas e experimentais observadas, relacionadas à resistência à fadiga:

**TABELA 1** – Classificação da Resistência à Fadiga

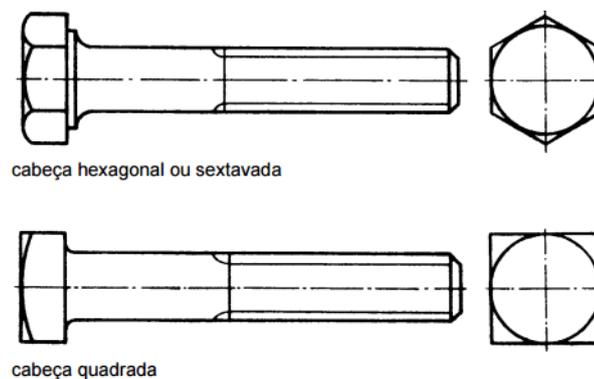
<b>Tipos</b>	<b>Descrição</b>
<b>Fadiga Térmica</b>	É a causa de falha mais corriqueira. Durante o processo, as ferramentas são submetidas a aquecimento e resfriamento alternados, o que gera tensões térmicas. Estas por sua vez, originam deformações na superfície da matriz, gradativamente dando início a trincas de fadiga térmica (conhecidas como “heat checking”). Os fatores que influenciam a fadiga térmica são basicamente as propriedades do material, projeto e fabricação da ferramenta, tratamento térmico e de superfície, além de parâmetros de produção e manutenção.
<b>Ocorrência de Trincas/Quebras</b>	As trincas/quebras ocorrem devido à ocorrência de carregamento excessivo, seja de natureza mecânica ou térmica. Este pode dar origem a trincas grosseiras ou até mesmo a falência total da ferramenta. Os fatores que influenciam a ocorrência de trincas/quebras são basicamente as propriedades do material, projeto e fabricação da ferramenta, tratamento térmico e de superfície, além de parâmetros de produção e manutenção.
<b>Deformações/Indentações</b>	Deformações/indentações na linha de fechamento ou na superfície da cavidade das ferramentas estão diretamente relacionadas com parâmetros de produção e propriedades básicas do material da ferramenta.
<b>Corrosão</b>	Mais comum em moldes para injeção/fundição de metais. Em casos onde a superfície da cavidade perder a camada protetora, o metal fundido irá difundir através da superfície do molde. Ao mesmo tempo, elementos de liga do aço do molde irão se difundir da superfície da ferramenta para o metal líquido. Este processo pode criar a dissolução do aço e de compostos intermetálicos entre o metal líquido e superfície da ferramenta. Em casos onde há severa formação de compostos intermetálicos, o metal líquido irá se soldar a superfície do molde. Os fatores que influenciam a ocorrência de corrosão são parâmetros de produção, projeto da ferramenta e tratamento superficial.
<b>Erosão</b>	É uma forma de desgaste mecânico a quente que acontece na superfície da cavidade. A erosão normalmente está ligada aos parâmetros de produção, de projeto da ferramenta e também do tipo de material e respectivo tratamento térmico empregados. Em alguns casos é comum a ocorrência de uma combinação de corrosão e erosão na superfície da ferramenta.

**Fonte:** UDDEHOLM, 2016, p. 1.

### 1.3 PROJETOS DE PARAFUSOS DE AÇO

Compreende-se como parafuso, uma peça utilizada na engenharia e áreas afins, sendo composto por um corpo cilíndrico tendo como elemento de fixação a rosca, além de uma cabeça, que pode ter formato hexagonal, sextavada, quadrada ou redonda, conforme se observa na Figura 4 (SENAI, 1996).

**FIGURA 4** – Projeto de parafuso



Fonte: SENAI (1996).

A mecânica utiliza o parafuso para unir e manter fixas peças de máquinas, criando conjuntos com porcas e arruelas. Estes elementos são fabricados em aço com baixo teor de carbono, por forjamento ou usinagem, no caso das porcas, e por estampagem, no caso das arruelas (SENAI, 1996).

Os materiais mais comuns na fabricação de parafusos são: “aço de alta resistência à tração, aço-liga, aço inoxidável, latão e outros metais ou ligas não ferrosas podem também ser usados na fabricação de parafusos” (SENAI, 1996, p. 4). Para que estes não oxidem ou corroam, são protegidos com a aplicação de galvanização ou cromagem.

#### 1.3.1 Cargas Atuantes em Parafusos de Flanges de Moenda

Quanto às cargas, observa-se que estas se caracterizam pela soma da tensão inicial, isto é, o aperto inicial, e a carga aplicada pelas peças que são por ele unidas, sendo possível controlar a carga inicial de aperto, de modo que se estabeleça o torque-limite de aperto (SENAI, 1996). O mesmo ocorre no caso de flanges de moenda, sendo o parafuso submetido às cargas que ali atuam.

### 1.3.2. Resistência de Parafusos de Máquinas

A resistência mecânica caracteriza-se quanto às normas específicas como as quantidades mínimas de prova ou à tração. Deste modo, a carga de prova pode ser conceituada como o máximo suportado por um parafuso sem sofrer com deformidades plásticas. Quanto às demais, observa-se que:

A resistência de prova é o quociente entre a carga de prova e a área sob tensão de tração. Os valores da resistência média de prova, da resistência média de tração e os seus desvios padrão correspondentes não fazem parte dos códigos de especificação, assim é responsabilidade do projetista obter esses valores, através de ensaios de laboratório, por exemplo, antes de realizar o projeto (RICHARD et al, 2016, p. 418).

Essa resistência, ainda de acordo com este autor, foi observada com base em uma grande quantidade de ensaios laboratoriais, em que foi possível observar a distribuição estatística dos dados levantados e seus resultados, levando em conta a importância dessas resistências para o projeto de fixadores.

De acordo com Monteiro (2014), as especificações SAE são encontradas na Tabela 2 e tem o intuito de demonstrar os graus dos parafusos que podem ser numerados conforme as resistências de tração, com decimais utilizados para a variação no mesmo nível de resistência, sendo que, parafusos parcial e totalmente rosqueados costumam estar disponíveis em todos os graus relacionados. No caso de parafusos prisioneiros, esses estão disponíveis em graus 1, 2, 4, 5, 8 e 8.1.

Conceitua-se cisalhamento como uma deformidade provocada por determinada ação direta da carga que lhe é aplicada, sendo comum ocorrer em diversos tipos de acoplamentos simples, que utilizam parafusos, pinos, material de solda etc. (HIBBELER, 2000).

Este mesmo autor afirma quanto aos parafusos carregados sob efeito de carga dinâmica em cisalhamento que:

Sob a ação de forças de tração, a barra e a junta irão exercer uma pressão cortante contra o parafuso, e as tensões de contato, chamadas de tensões cortantes, serão criadas. A barra e a junta tendem a cisalhar o parafuso (cortá-lo). Essa tendência é resistida por tensões de cisalhamento no parafuso (HIBBELER, 2000, p. 49).

TABELA 2 - Resistências de parafusos segundo a especificação SAE

SAE Grade No.	Size Range Inclusive, in	Minimum Proof Strength,* kpsi	Minimum Tensile Strength,* kpsi	Minimum Yield Strength,* kpsi	Material	Head Marking
1	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36	Low or medium carbon	
2	$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{4}$ $\frac{7}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	55	74	57	Low or medium carbon	
		33	60	36		
4	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	65	115	100	Medium carbon, cold-drawn	
5	$\frac{1}{4}$ -1 $1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	85	120	92	Medium carbon, Q&T	
		74	105	81		
5.2	$\frac{1}{4}$ -1	85	120	92	Low-carbon martensite, Q&T	
7	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	105	133	115	Medium-carbon alloy, Q&T	
8	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	120	150	130	Medium-carbon alloy, Q&T	
8.2	$\frac{1}{4}$ -1	120	150	130	Low-carbon martensite, Q&T	

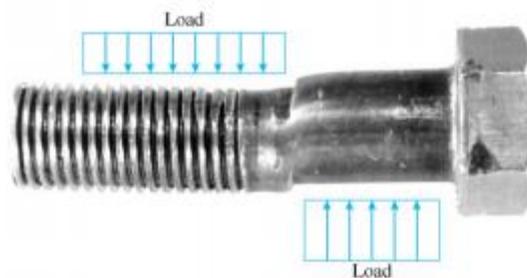
\* Minimum strengths are strengths by 99 percent of fasteners.

Fonte: MONTEIRO (2014).

### 1.3.3. Parafusos Pré-carregados sob Carga Dinâmica em Cisalhamento

A Figura 5 demonstra a falha de um parafuso em cisalhamento simples.

FIGURA 5 – Falha de um parafuso em cisalhamento simples



Fonte: MONTEIRO (2014).

### **3 METODOLOGIA**

A partir do estudo de caso de um parafuso do flange da moenda utilizado por uma usina de açúcar e álcool, sob a inspeção conforme roteiro N° 74.048.30.50 R 1 de um laboratório de análises, foi possível observar falhas desses parafusos. Por isso, resolveu-se realizar esta pesquisa para tentar diagnosticar as possíveis causas das falhas.

Este estudo de caso foi realizado através de coleta de dados em campo do comportamento da moenda e de como esse comportamento influenciou os parafusos do flange do rolo superior da moenda. Com os dados obtidos, analisou-se os parafusos para verificar os prováveis mecanismos de falhas. Também foi analisado a composição, a resistência mecânica e a geometria dos parafusos, para verificar se estavam dentro das especificações do projeto.

Por fim, foram levantados dados do ciclo de trabalho para verificar a amplitude de oscilação do rolo superior do terno da moenda, durante um período de sessenta dias, comparando esses dados com aqueles especificados de projeto.

A partir destas análises, a pesquisa apresentou dados para que fosse possível avaliar as falhas e soluções através das hipóteses levantadas no projeto. Com os testes realizados pelo laboratório de análises, foi possível concluir de fato o que levou ao desgaste do parafuso no flange da moenda.

### **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A inspeção realizada pelo laboratório de análises teve por intuito especificar as condições a serem obedecidas para o fornecimento de parafusos de flange de moendas, seguindo um roteiro pré-estabelecido pelo fabricante, visando a fabricação de peças que possam atender aos requisitos de sua aplicação.

Seguindo-se esse roteiro, toda a superfície do parafuso analisado deveria estar isenta de defeitos, tais como: trincas de têmpera, dobras, fendas, fissuras, marcas de ferramenta e cavidades. Estes ainda deveriam apresentar as seguintes propriedades:

- Dureza máxima 363 HB (39 HRC), onde HB é dureza Brinell e HRC é dureza Rockwell C
- Dureza mínima 311 HB (33 HRC)

- Limite de resistência 1.030 Mpa (mínimo)
- Limite de escoamento 900 Mpa (mínimo)
- Alongamento em 50 mm 12% (mínimo)
- Redução de área 35% (mínimo)

A Figura 6 apresenta a montagem dos parafusos no flange e os mesmos já montados.

**FIGURA 6** - Montagem dos parafusos no flange



Fonte: Celiomar Francisco Araújo, 2016.

A Figura 7(a) mostra os parafusos montados no flange e a Figura 7(b) os parafusos quebrados.

**FIGURA 7** – (a) Flange montado com os parafusos. (b) Flange com parafusos quebrados



(a)

(b)

Fonte: Celiomar Francisco Araújo, 2016.

A partir da observação das falhas nos parafusos, foram feitos ensaios de dureza e de tração pelo laboratório de análises. Os dados do Quadro 1 representam os resultados destes ensaios referentes às amostras analisadas.

**QUADRO 1** – Resultados dos ensaios de dureza e de tração dos parafusos

**RESULTADOS DO ENSAIO DE DUREZA**

Parafuso do flange da moenda	OBTIDO	ESPECIFICADO
Dureza de superfície HRC da ponta	39 / 40	33 / 39
Dureza de superfície HRC da cabeça	36 / 38	33 / 39
Dureza de núcleo HRC	34 / 35	33 / 39

Conclusão: Aprovado.

**RESULTADOS DO ENSAIO DE TRAÇÃO**

Ensaio de tração - ASTM A 370				
Propriedades	LR - MPa	LE - MPa	AL ( %)	Ra (%)
Especificado	1.030 min.	900 min.	12 mín.	35 mín.
Encontrado ( Obtido)	1147	1065	13,5	42,5

Conclusão: Aprovado

Fonte: Celiomar Francisco Araújo, 2016.

De acordo com os resultados dos ensaios, os parafusos apresentaram a dureza dentro do especificado e foram aprovados. A Figura 8 ilustra o resultado da análise dos mecanismos de falhas, onde é possível observar os pontos de início das trincas e o aspecto das mesmas.

**FIGURA 8** – Resultado da análise dos mecanismos de falhas

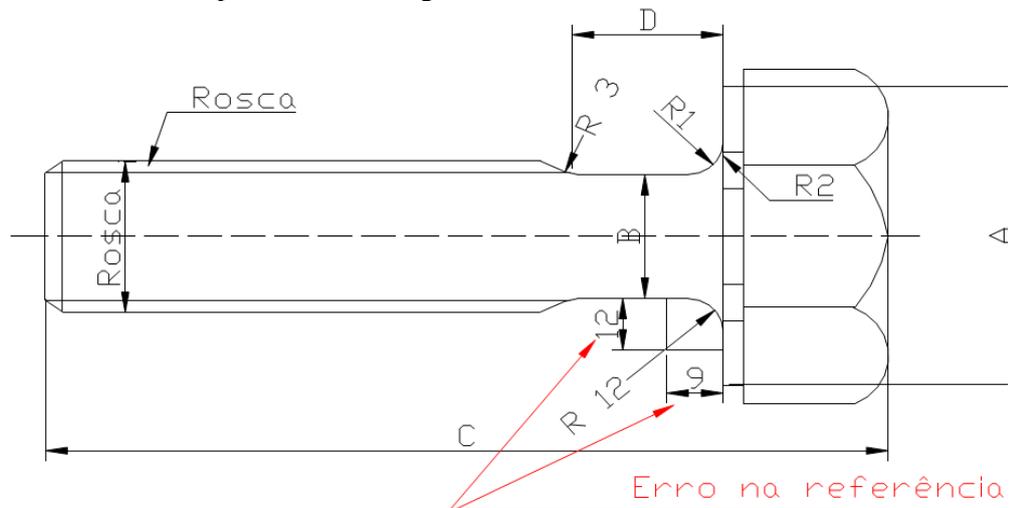


Fonte: Celiomar Francisco Araújo, 2016.

Os parafusos possuem cabeça conformada por forjamento e roscas laminadas e tratadas termicamente. Estes apresentaram início da trinca nos pontos que apresentaram corrosão, sendo que o inspetor que analisou os parafusos quebrados sugeriu proteger o raio da cabeça do parafuso com pintura epóxi. Os parafusos apresentaram curvatura irregular no raio da cabeça, e com cavidades devido corrosão.

A Figura 9 ilustra a geometria dos parafusos analisados, além de dados geométricos dos parafusos atuais e dos parafusos antigos usados nos flanges das moendas. A figura mostra o raio da cabeça com curvatura irregular, e com cavidades, devido corrosão ocasionando o início de trinca.

**FIGURA 9** – Geometria dos parafusos do flange da moenda



Parafuso com falhas ( Novo)		
Especificado		Obtido
A	65-0+46	64,95
B	32	31,67
C	137	136,47
D	28	28,3
R1	12	12 *
R2	4	0
R3	10	10
Rosca	W 6FPP1.1/2"	W- 6 FPP 1.1/2"

\* OBS: Erro na referência do R 12  
Executado 12 x 12 ( Especific. 12 X 9)

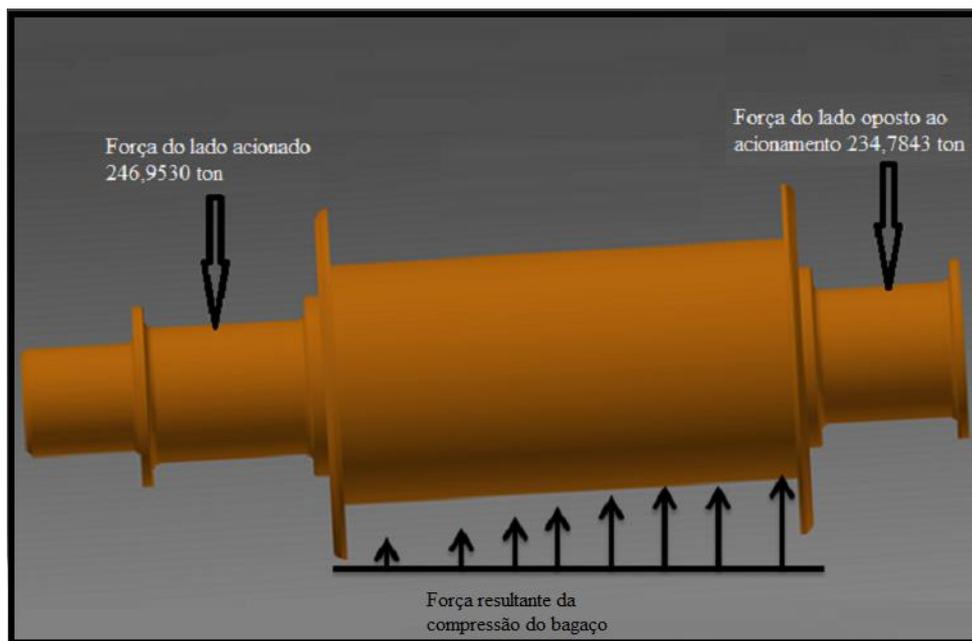
Parafuso antigo		
Especificado		Obtido
A	65-0+46	64,80
B	32	32,19
C	137	137,48
D	28	27,4
R1	12	12
R2	4	4
R3	10	10
Rosca	W 6FPP1.1/2"	W- 6 FPP 1.1/2"

\* OBS: Referência do R 12  
Executado 12 x 9 ( Especific. 12 X 9)

OBS: Pelo fato do parafuso ter erro na referência do raio 12. a arruela não assenta na cabeça do parafuso, provocando amassamento e deformações nesta região.

De acordo com Hugot (1977, p.152), a força específica que é aplicada no rolo superior que distribui para os mancais de bronze, deve estar no limite admissível do material para que não ocorra falha prematura no material. Ainda de acordo com o autor, devido ao desnivelamento do rolo superior, é gerada uma carga distribuída variável de reação devido à força resultante da compressão do bagaço (Figura 10).

**FIGURA 10** – Rolo superior desnivelado com carga distribuída variável



Fonte: Celiomar Francisco Araujo, 2016.

O gráfico da Figura 11 representa o trabalho real do rolo superior que possui duas escalas na vertical uma no lado direito e outro no lado esquerdo. Na escala do lado direito são indicados os valores (mm) de deslocamento vertical do rolo, como mostrado na Figura 10, de acordo com as respectivas cores das linhas. A linha da cor azul clara (horizontal) indica o valor máximo permitido de deslocamento vertical do rolo em desnível entre o mancal do lado acionado (LE) e do lado oposto ao acionado (LD). A linha alaranjada indica a diferença real do desnível entre os mancais do rolo superior em trabalho.

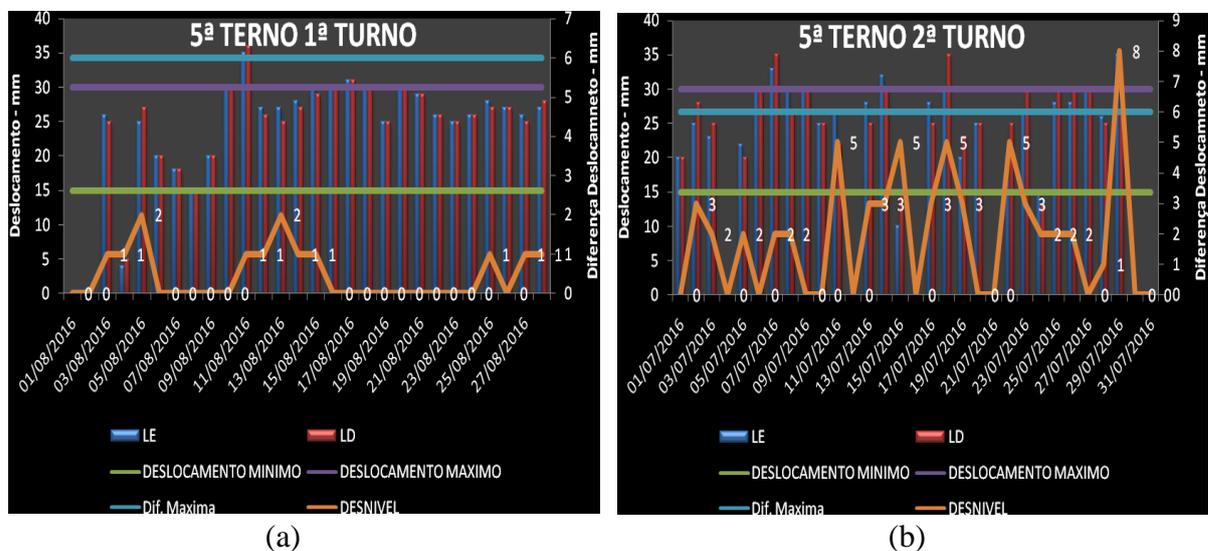
Os valores (mm) da escala do lado esquerdo do gráfico da Figura 11 indicam o deslocamento nivelado do rolo superior. A linha roxa indica o deslocamento vertical máximo nivelado, enquanto a linha verde indica o deslocamento vertical mínimo nivelado. Nestes

gráficos, a linha azul escura mostra o deslocamento vertical do lado esquerdo do mancal e a linha vermelha na indica o deslocamento do lado direito do mancal.

Com a variação do nível de alimentação da fibra da cana pode ocorrer o desnível em excesso entre os cabeçotes hidráulicos, podendo ultrapassar a tolerância de deslocamento entre os cabeçotes pré-estabelecidos pelo fabricante. A Figura 11 (a) ilustra o gráfico de trabalho em condições ideais, enquanto a Figura 11 (b) em condições de trabalho fora das especificações do fabricante da moenda.

Conforme Hugot (1977, p.152), pode-se considerar uma pressão hidráulica média específica para cálculo de carga total. Segundo o autor, “... as espessuras de bagaço que normalmente passam nas moendas, a pressão média exercida sobre o bagaço é semelhante àquela que seria exercida pela carga total F”.

**FIGURA 11** – 5º terno em operação ideal/Desnivelado



Fonte: Celiomar Francisco Araújo, 2016.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observou-se que problemas operacionais da moenda são os causadores de fraturas de parafusos, o que ocorre quando se tem oscilação diferenciada entre os mancais, promovendo o contato entre a bagaceira devido à inclinação do rolo superior ou rolo inferior, compelindo os parafusos e facilitando a sua ruptura. Por outro lado, observou-se que folgas axiais em excesso dos eixos da moenda podem também facilitar a quebra de parafusos por forçar os flanges.

A montagem do parafuso sem um revestimento de proteção da área de intervalo entre o sextavado e a rosca do parafuso ocasionou a formação de vários pontos de corrosão por oxidação proporcionando a concentração de tensão localizada favorecendo ao início do ponto da trica.

Diante de todo o estudo, é possível compreender que o ideal é que a transição entre o raio e a superfície cilíndrica anterior à rosca seja suave. Deste modo, é possível evitar a formação de arestas, e ainda o raio no fundo dos filetes da rosca deverá contar com uma curvatura uniforme e regular.

Até o término deste artigo a empresa ainda não havia feito as correções sugeridas neste trabalho, porém os gestores aceitaram os resultados e se comprometeram realizar as devidas correções no próximo período de manutenção de entressafra.

## **ANALYSIS OF FAILURE OF FIXING BOLT FLANGE MILLING TOP ROLLER**

### **ABSTRACT**

This article presents the failure analysis of fixing screws in a top roller flange of a milling, taking into account the frequency of fracture in fixing screws, which fix the flanges in milling in sugarcane plants. Thus, we aimed to understand why and how the breaking in a fixing screws in a top roller flange occurs. This type of occurrence requires long periods of plants milling stops so that you can repair it. This fact usually occurs during the harvest period, in which there are several situations that contribute and lead to failure. Through this problem, this study aims to understand the main causes of successive failures of the screw used. We still point out the best way to reduce this problem and prevent the equipment availability. In addition to this main goal, the following specific purposes should be achieved: understanding the milling process; presenting the main components of a suit; conceptualizing metals fatigue, mechanism failure and the factors effect that influence the strength fatigue; submitting projects for steel screws with loads acting in milling flange screws, its resistance when preloaded under dynamic loading in shear. From a case study of a flange screw sample used by a sugar and alcohol mill, under inspection script No. 74.048.30.50 R 1 of an analytical laboratory, documented by the report No. 3943.04.01.10, it was possible to highlight the possible failure because we experienced the same and so we took the tests to complete the search. Because of the study, it is possible to understand that the ideal is that the transition between the radius and the front cylindrical surface be soft, so it is possible to prevent the formation of edges and also the radius at the bottom of the threads should count with a uniform and regular curvature to better withstand a high number of cycles.

**Keywords:** Screw. Failure. Flange. Fatigue.

## REFERÊNCIAS

CALTAROSSO, Fábio. **Análise de tensões em equipamentos de moagem da cana-de-açúcar usando o método dos elementos finitos**, 2008. Dissertação (Pós-Graduação) - Universidade de São Paulo- Escola de Engenharia de São Carlos.

CASTRO, S. B.; ANDRADE, S. A. C. **Tecnologia do açúcar**. 1ª. ed. Recife: Universitária, 2007.

CHAGAS, Tays Torres Ribeiro das. **A moabilidade na moagem secundária de pellet-feeds de minérios de ferro em função da mineralogia, química e microestrutura**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Rede Temática em Engenharia de Materiais. Área de concentração: Análise e seleção de materiais. 2008.

CIMM. **Fadiga do metal**. Disponível em:

<<http://www.cimm.com.br/portal/verbetes/exibir/1396-fadiga-do-metal>>. Acesso em 30 de Ago de 2016.

DINAMO. **Automação industrial**, [s.d.]. Disponível em:

<<http://www.dinamoautomacao.com.br/animacao.swf>>. Acesso em: 10 setembro 2015.

HUGOT, Emile. **Manual da Engenharia Açucareira**. Volume I. São Paulo: Mestre JOV, 1969.

HUGOT, Emile. **Manual da Engenharia Açucareira**. Volume II. São Paulo: Mestre JOV, 1969.

HIBBELE.R.C. **Resistência dos materiais**. Tradução de Arlete Simille Marques. 7. ed. São Paulo: [s.n.], 2010. 388 p.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos materiais**. 7ª. ed. São Paulo: Pearson Education, 2010.

HIBBELER, R.C. **Resistência dos Materiais**, 3.º Ed., Editora Livros Técnicos e Científicos, 2000.

FIGUEIRA, H. V. O.; ALMEIDA, S. L. M.; LUZ, A. B. **Cominuição**. in: luz, A. D. Tratamento de Minérios, Rio de Janeiro, Cetem/CNPq, 4ª edição p.113-194, 2004.

LIMA, A. C.; FERRARESI, V. A. Posmec Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. **Desgaste em equipamentos de processamento da can-de-açúcar em destilaria de álcool**, Uberlândia, p. 2-9, 2006.

LUZ, A.B., SAMPAIO, J.A., ALMEIDA, S.L.M. **Tratamento de Minérios - 4ª Edição Revisada**; CETEM, Rio de Janeiro 2004.

KRÜGER, F. L. **Corpos Moedores Côncavos**. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas), UFMG – 2004.

PAYNE, J. H. **Operações Unitárias na Produção de Cana**. São Paulo: Nobel/STAB, 1989.

ROSA, Edison da. **Análise da resistência mecânica: Mecânica da Fratura e Fadiga**. UFSC, 2002. Disponível em: < <http://grante.ufsc.br/download/Fadiga/FADIGA-Livro-Edison-da-Rosa.pdf>>

RODRIGUES, Marcelo Cavalcanti. **Resistência dos metais**. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/3169738/falha-por-fadiga>>. Acesso em 30 de Ago de 2016.

UDDEHOLM, Bohler. **Aços para trabalho quente**. Disponível em: < <http://www.bohler-uddeholm.com.br/156.php>>. Acesso em Ago de 2016.

WELDING. BOLETIM TÉCNICO N° 7. **Boletins**. Disponível em: <<http://www.welding.com.br/site/publicacoes>>. Acesso em: 18 Julho 2016.