



*Federação das Indústrias do Estado da Bahia*

**CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI BAHIA - CAMPUS CIMATEC**

**MBA GESTÃO DA MANUTENÇÃO**

**LAÉRCIO BOMFIM BRITO DE ALMEIDA**

**REDUÇÃO DE FALHAS EM MANCAIS DE ROLAMENTOS NO  
PROCESSO DE LAMINAÇÃO A QUENTE: ESTUDO DE CASO**

**Salvador**

**2017**



**CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI BAHIA - CAMPUS CIMATEC**  
**MBA GESTÃO DA MANUTENÇÃO**

**LAÉRCIO BOMFIM BRITO DE ALMEIDA**

**REDUÇÃO DE FALHAS EM MANCAIS DE ROLAMENTOS NO  
PROCESSO DE LAMINAÇÃO A QUENTE: ESTUDO DE CASO**

Artigo de conclusão de curso apresentado ao curso de pós-graduação do MBA em Gestão da Manutenção da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Emerson Carlos Assunção Sanches

**Salvador**  
**2017**

## TÍTULO DO TRABALHO

LAÉRCIO BOMFIM BRITO DE ALMEIDA<sup>1</sup>

EMERSON CARLOS ASSUNÇÃO SANHES 2

### RESUMO:

Este trabalho apresenta um estudo de caso onde foram aplicados os métodos de Pareto e FMEA em mancais de rolamentos para um sistema de laminação a quente de uma Siderúrgica, com o objetivo de elaborar um Plano de Manutenção para identificar e reduzir falhas. O estudo de caso foi elaborado entre os anos de 2011 a 2013, desenvolvido em uma empresa do setor siderúrgico. Foi realizado o levantamento histórico das ocorrências de falhas, através de históricos e registros e em seguida utilizado ferramentas de qualidade como: Pareto para auxílio da identificação e priorização, além da metodologia FMEA para criação do plano de manutenção e inspeção dos equipamentos, tudo isso com o apoio da expertise agregada dos mecânicos e engenheiros do setor. Após a implementação da metodologia, em pouco mais de um ano, foi possível obter uma redução no número de falhas em 87,5%, um resultado significativo para toda equipe que passou a se expor menos em manutenções corretivas e retrabalho; assim como para o processo, onde foi possível diminuir a indisponibilidade do equipamento, que somando 2011 e 2012, atingiu 43h e 58min, para 4h e 05min em 2013, além da redução de custo na recuperação dos componentes em até 1.150,00% de R\$ 369.184,00 para R\$ 23.074,00. Estes avanços, fortaleceram o emprego de metodologias utilizadas pela Confiabilidade e foram fundamentais para melhorar competitividade da empresa no mercado.

**Palavras-chave:** Mancais de rolamento, Laminação a quente, FMEA, Plano de Manutenção

## 1 INTRODUÇÃO

Nas siderúrgicas, o processo de laminação ocorre através da deformação plástica por deslizamento de discordância que é o resultado dos movimentos dos átomos devido a tensão aplicada. Na laminação o material bruto aquecido é passado entre cilindros que vão reduzindo a espessura e aumentando do comprimento e a largura, obtendo assim uma conformação mecânica. Em geral os equipamentos de

---

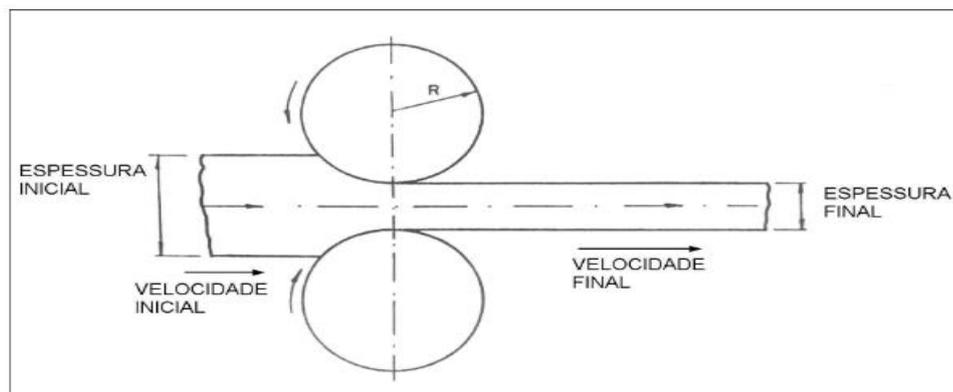
<sup>1</sup> Engenheiro mecânico (Pós-graduando em MBA em gestão da manutenção (SENAI CIMATEC) E-mail: englaercio8@gmail.com.

<sup>2</sup> Professor Orientador graduado em engenharia mecânica pela UFBA e mestre em Mecatrônica pela UFBA atua há 38 anos como engenheiro especialista em manutenção de equipamentos rotativos. E-mail: eng\_spec@terra.com.br

laminação são chamados de laminadores e são projetados para proporcionar o aumento do comprimento a partir desta redução de espessura. NUNES (2010).

A Figura 1 representa o esquema simplificado de um processo de laminação a quente; após o aço obter a temperatura adequada de processo, cerca de 1150°C, o mesmo é introduzido entre dois cilindros onde acontece a redução de espessura do material.

Figura 1- Esquema simplificado de laminação a quente.



Fonte: introdução à metalurgia e aos materiais metálicos, (2010).

O laminador é o local onde são instaladas as cadeiras de laminação, chamadas também de gaiolas. Esse equipamento apresenta componentes que são responsáveis pela realização da conformação mecânica do aço, sendo os principais, os cilindros de laminação, as guias e os mancais de rolamento. O mancal de rolamento é o elemento mecânico que tem a função de sustentar, manter o alinhamento e promover rotação dos cilindros, além de suportar os esforços gerados durante o processo de laminação.

Este trabalho foi realizado em uma determinada empresa do setor siderúrgico, devido ao seu alto número de ocorrências de falhas nos mancais de rolamento no ano de 2011.

Na investigação das falhas, método de lubrificação, montagem inadequada e vibração excessiva do conjunto, foram identificadas através da metodologia e pesquisa dos profissionais envolvidos como as principais causas associadas a falha nos mancais de rolamento.

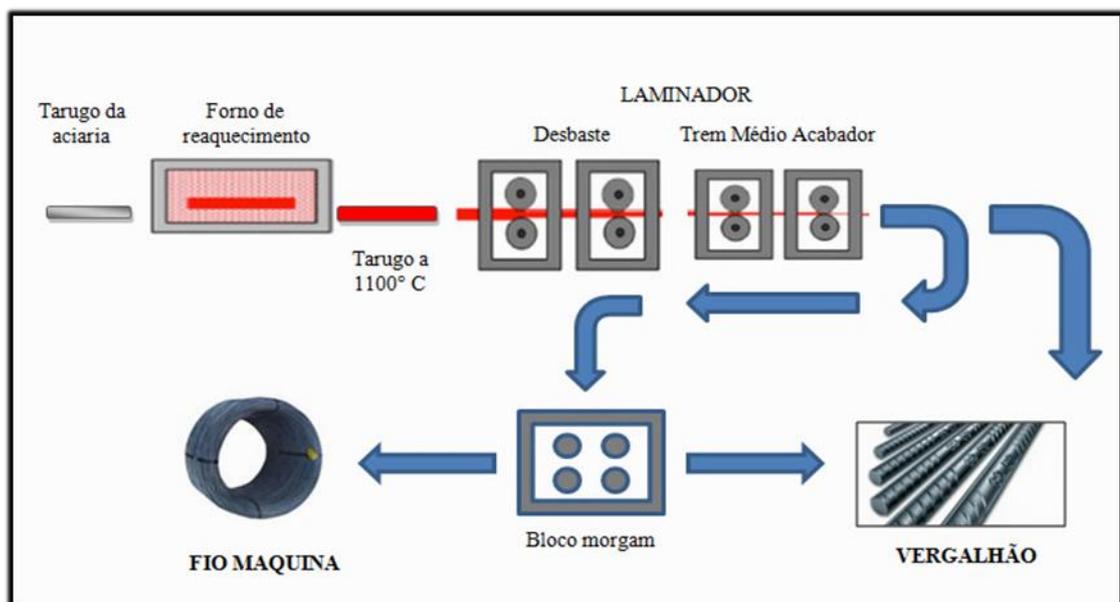
Neste contexto o objetivo deste trabalho foi demonstrar que, através da utilização das ferramentas de qualidade e Confiabilidade, como o PARETO, utilizado

para priorização dos problemas e Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos, em inglês, *Failure Mode and Effect Analysis - FMEA*, fundamental para criação do plano de manutenção dos componentes enriquecidos pelo conhecimento dos técnicos e engenheiros da manutenção e operação, foi possível obter um resultado satisfatório para a equipe e a empresa, quando é utilizado as ferramentas corretas e as pessoas adequadas.

## 1. O PROCESSO DE LAMINAÇÃO E AS FALHAS NOS MANCAIS DE ROLAMENTO:

Para iniciar o processo de laminação, o tarugo de aço carbono é aquecido em um forno de reaquecimento em aproximadamente 1150°C. A depender da bitola, passa por cerca de 17 a 25 cadeiras de laminação, também conhecido como gaiola. As primeiras 09 cadeiras são chamadas de desbaste, as cadeiras de 10 a 15 são chamadas de intermediário ou médio acabador, os passes de 16 a 25 são chamados de acabadores e são conformados em um laminador de rolos, nesta etapa em cada passe existem dois discos laminadores montados verticalmente ou horizontalmente. A Figura 2 representa o processo de laminação a quente da empresa estudada.

Figura 2 – Processo de laminação a quente.



Fonte: Autor, (2014).

É na região do laminador onde encontramos um dos principais equipamentos do processo, a cadeira de laminação – gaiola. Este ativo é composto pelos seguintes componentes: Carcaça, cilindros, guias secas e roletadas, barrões, manifold de refrigeração e, o principal objeto de estudo deste trabalho, o mancal de rolamento.

Os mancais de rolamento antes de serem instalados na carcaça, são montados juntamente com os cilindros, como demonstrado na Figura 3, o conjunto é composto por quatro mancais sendo mancal superior e mancal inferior do lado acionado, e mancal superior e mancal inferior do lado livre, o processo possui 15 cadeiras de laminação, totalizando assim 60 mancais de rolamento instalados.

Figura 3 - Exemplo de um conjunto de mancais de laminação.



Fonte: Empresa estudada, (2012).

Cada mancal do lado livre ou lado oposto ao acionamento é composto de uma caixa de mancal, que contém um rolamento de quatro carreiras de rolos cilíndricos, sendo desmontável no anel interno, esse rolamento é projetado para suportar os esforços radiais que são maiores e um rolamento de contato angular de esferas, ou rolamento axial de rolos cônicos de escora dupla para os mancais maiores.

No mancal do lado acionado, utiliza-se rolamento rígido de esferas para suportar os esforços no sentido axiais, ou seja, impedir deslocamento no sentido do eixo. O mesmo ainda contém um rolamento de quatro carreiras de rolos cilíndricos. Os rolamentos estão fixados na caixa de mancal por componentes como: anéis de fixação, anéis bipartidos, alojamento de rolamento porca de fixação etc. projetados para essa finalidade.

Nos anos de 2011 e 2012, como demonstrado na Tabela 1, as falhas em mancais de rolamento das gaiolas de laminação tornam-se um problema crônico para o processo produtivo, devido seu alto número de ocorrências de falhas. Levando em consideração que o processo de produção era distribuído em 03 turnos, com paradas diárias de 04 horas em média para troca de bitolas e ajustes. As paradas por falha de mancais de rolamento afetavam diretamente nos números do tempo entre falhas - *TEF* (*TBF* - time between failures - sigla em inglês), dos equipamentos, esse alto índice também comprometia diretamente nos indicadores de manutenção. Em 2011, problemas com mancais de rolamento foram responsáveis por 5,21% das paradas da produção, um número considerado significativo pela coordenação da Manutenção.

Tabela 1 – Falhas em mancais de rolamentos– Período 2011 a 2013

2011				2012			
MÊS	QUANT.	MINUTOS	PERDA PRODUÇÃO	MÊS	QUANT.	MINUTOS	PERDA PRODUÇÃO
FEV	1	72	0,21%	JUL	1	276	0,76%
MAR	1	20	0,05%	AGO	1	171	0,47%
ABR	2	337	0,93%	OUT	2	201	0,55%
MAI	3	735	2,04%	NOV	1	105	0,28%
JUN	1	103	0,28%	<b>TOTAL</b>	<b>5</b>	<b>753</b>	<b>2,06%</b>
JUL	1	190	0,52%				
SET	1	240	0,66%				
DEX	1	188	0,52%				
<b>TOTAL</b>	<b>11</b>	<b>1885</b>	<b>5,21%</b>				

Fonte: Empresa estudada, (2013).

O elevado número de falhas nos mancais de rolamento impactava diretamente na parte financeira da empresa, que além da perda da produção identificada na Tabela 1, tem-se o custo da recuperação do mancal e de seus componentes, considerado elevado, conforme mostrado pela Tabela 2. Em 2011 e 2012 foram gastos R\$ 369.184,00 em recuperação dos mancais de rolamento e seus periféricos.

Tabela 2 – Custos de componentes de um mancal de rolamento.

CUSTO DOS COMPONENTES DE UM MANCAL DE ROLAMENTO	
<b>Rolamento de rolos</b>	R\$ 8.204,00
<b>Rolamento de esfera</b>	R\$ 2.545,00
<b>Pista de rolamento</b>	R\$ 3.461,00
<b>Retentor</b>	R\$ 880,00
<b>Recuperação</b>	R\$ 7.984,00
<b>Total</b>	<b>R\$ 23.074,00</b>

ANO	QUANT	TOTAL
2011	11	R\$253.814,00
2012	5	R\$ 115.370,00
TOTAL	16	R\$369.184,00

Fonte: Empresa estudada, (2013).

As manutenções corretivas eram realizadas em condições adversas, pois na maioria das vezes os mecânicos eram solicitados em horários fora do expediente, em algumas situações até na madrugada. Isso implicava diretamente num aumento do grau de risco em relação a acidentes devido a atuação sem planejamento e pouca avaliação prévia de risco do serviço, em práticas que nem sempre estavam atendendo as normas de segurança. Todos esses fatores colocavam a integridade física dos funcionários exposta a um nível de risco elevado.

Diante de todos os problemas relacionado as falhas nos mancais, foi criado uma estratégia pela equipe de manutenção para redução das falhas, conforme demonstrado pela Figura 4.

Logo após a primeira reunião, foi criado a equipe constituído por engenheiros, técnicos e coordenadores, também foram estabelecidas as ferramentas de qualidades que auxiliaram no projeto, sendo elas o diagrama de pareto e o FMEA.

Figura 4 – Fluxo de estratégia da manutenção para redução de falhas em mancais.



Fonte: Empresa estudada, (2013).

Foram realizados levantamento de dados para elaboração do plano de ação, como: livros com registros de ocorrências, análise de falhas e informações de paradas no sistema de produção.

Como demonstrado pela Tabela 3, as ocorrências em 2011 a 2012 somam um total de 16 falhas, e com maior frequência na gaiola 03, especificamente no mancal inferior lado acionado.

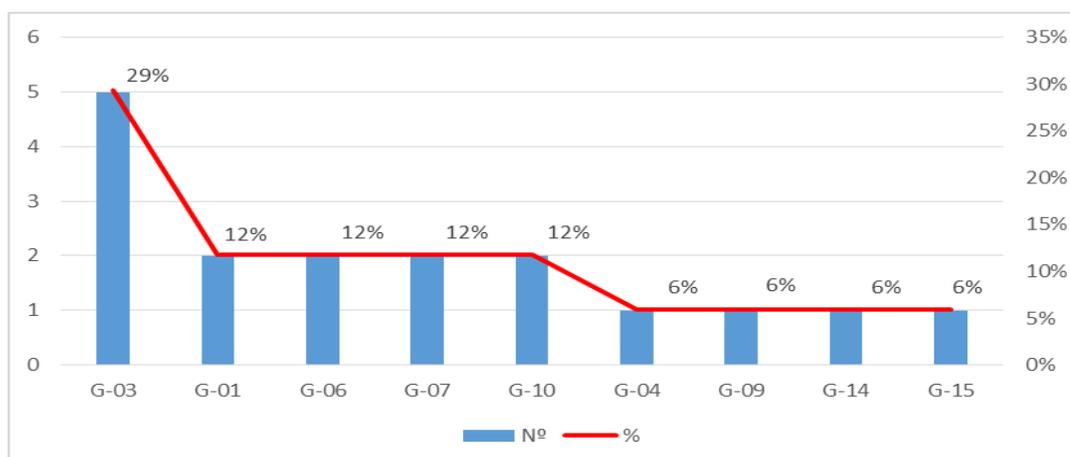
Tabela 3 – Falhas em gaiolas, posição e tipo.

ANO	GAIOLA	MNUTOS	DATA	POSIÇÃO	OCORRÊNCIA
2011	G-01	72	05/fev	Inferior Lado Acionado	Superaqueceu
	G-07	20	15/mar	Inferior Lado Acionado	Superaqueceu
	G-03	155	04/abr	Inferior Lado Acionado	Fundi
	G-15	182	08/abr	Inferior Lado Acionado	Fundi
	G-01	129	09/mai	Inferior Lado Acionado	Superaqueceu
	G-10	90	09/mai	Inferior Lado Acionado	Superaqueceu
	G-06	516	16/mai	Inferior Lado Livre	Superaqueceu
	G-14	103	04/jun	Inferior Lado Acionado	Fundi
	G-06	190	15/jul	Superior Lado Livre	Fundi
	G-03	240	09/set	Inferior Lado Acionado	Quebrou Cilindro
2012	G-03	188	27/dez	Inferior Lado Acionado	Fundi
	G-07	276	04/jul	Inferior Lado Acionado	Fundi
	G-09	171	05/ago	Inferior Lado Livre	Superaqueceu
	G-04	70	08/out	Inferior Lado Livre	Superaqueceu
	G-03	131	07/out	Inferior Lado Acionado	Superaqueceu
	G-10	105	01/nov	Inferior Lado Acionado	Fundi

Fonte: Empresa estudada, (2013).

Conforme demonstrado pela Figura 5, podemos verificar que existe uma maior incidência de falhas nas gaiolas da posição do desgaste, com destaque para a gaiola 03.

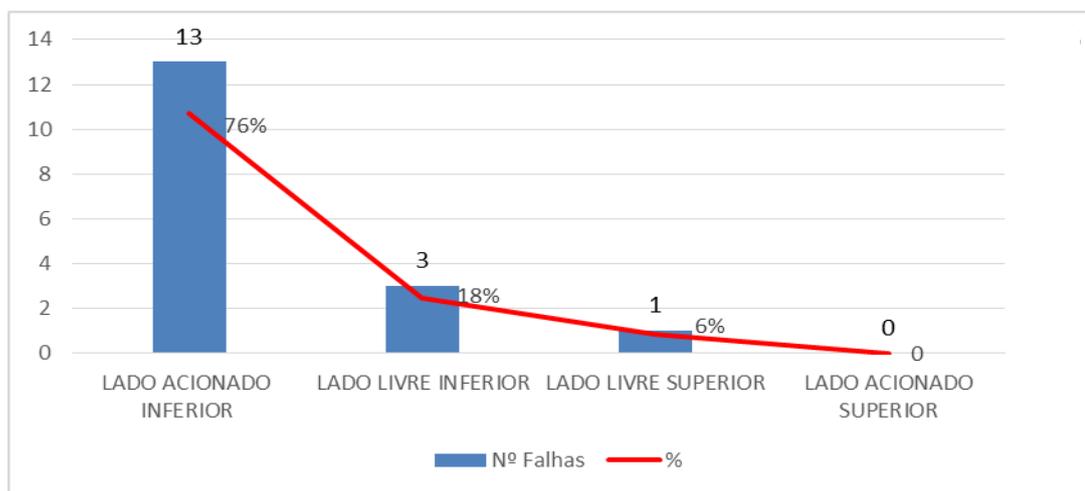
Figura 5 – Total de ocorrências de falha dos mancais entre 2011 e 2013.



Fonte: Elaborado pelo autor, (2013).

Foi identificado que o mancal inferior lado acionado (LA INF), incidiram em 76% das falhas no período avaliado, conforme mostrado pela Figura 6.

Figura 6 – Total de ocorrências de falhas por posição dos mancais nos últimos três anos



Fonte: Elaborado pelo autor, (2013).

Com os relatórios dos técnicos, medições de preditiva, análises de falhas e histórico de ocorrências extraídos do sistema em mãos, foi identificado pela equipe que os problemas mais relevantes foram: falta de conhecimento técnico na execução das tarefas de manutenção do componente mancal; Vibrações oriundas de luvas de laminador; Dificuldade de alinhamento na montagem dos conjuntos de mancais na cadeira.

Nas análises, há relatos sobre a dificuldade de lubrificar os mancais inferiores do lado acionado, bem como deficiência nas atividades do plano de lubrificação existente. Foi verificado que a lubrificação estava sendo feita a cada três dias, para aproveitar o tempo de máquina parada, ou seja por oportunidade e não seguia um plano estabelecido. Os retentores de graxa por vezes estavam sendo montados em posições diferentes da indicada no projeto. Foi identificado também folga excessiva encontrada nos alojamentos entre mancal e cadeiras de laminação. Nas falhas em que houve travamento de mancais, a investigação foi prejudicada devido ao estado de deterioração das partes, como mostrada na Figura 7, dificultando a identificação da causa raiz da falha.

Figura 7 – Mancal de rolamento colapsado por falha de aquecimento e travamento.



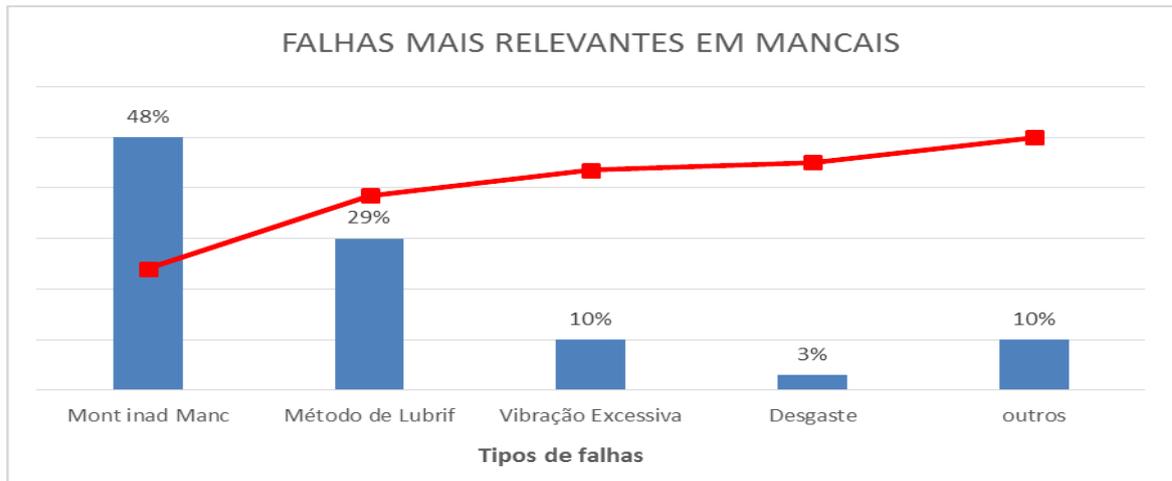
Fonte: Empresa estudada, (2012).

## **2. PLANO DE AÇÃO PARA OS MANCAIS DE ROLAMENTO:**

Partindo do que foi abordado anteriormente, as principais causas dos modos de falhas identificados através dos relatório e conhecimento do grupo foram: montagem inadequada dos mancais, método de lubrificação falho e vibração excessiva do conjunto. Foi utilizado a ferramenta PARETO, para efetuar a análise dos dados, conforme mostrado na Figura 8.

O Diagrama de Pareto é um gráfico de barras verticais que permite determinar quais problemas a resolver e quais as prioridades. Ele deve ser construído tomando como suporte uma lista de verificação (RODRIGUES, 2006).

Figura 8 – Pareto das falhas mais relevantes em mancal de acordo relatórios.



Fonte: Empresa estudada, (2013).

Após a identificação das possíveis causas e utilizando da metodologia FMEA, foram preenchidos os elementos na planilha apresentada no Anexo 1. Para as falhas com maiores relevâncias encontradas pela análise, foram estabelecidas ações preventivas no plano de manutenção.

A análise de Modos de Falhas e Efeitos (Failure Mode and Effect Analysis – FMEA) é uma técnica indutiva, estruturada e lógica para identificar e/ou antecipar a(s) causa(s) e efeitos de cada modo de falha de um sistema ou produto. A análise resulta em ações corretivas, classificadas de acordo com sua criticidade, para eliminar ou compensar os modos de falhas e seus efeitos. LAFRAIA (2014).

Conforme demonstrado pela Tabela 4, é possível verificar as ações geradas, periodicidade e o tipo de manutenção através do FMEA. As ações atendem diretamente as principais causas encontradas através do PARETO, assim como auxiliam no gerenciamento e controle da manutenção das gaiolas e seus periféricos.

Tabela 4 – Plano de manutenção Gaiola 03.

PLANO DE MANUTENÇÃO DA GAIOLA 03: COMPONENTES ROTATIVOS												
AÇÃO	DIÁRIA	SEMANAL	QUINZENAL	MENSAL	TRIMESTRAL	SEMESTRAL	ANUAL	BIANUAL	INSTRUÇÃO	PREVENTIVA	PREDITIVA	LUBRIFICAÇÃO
LUBRIFICAÇÃO NOS MANCAIS DE ROLAMENTOS RIGIDOS DE ESFERAS		X										X
SUBSTITUIÇÃO/TROCA							X			X		
REALIZAR ANÁLISE DE VIBRAÇÃO E MONITORIAMENTO POR COLETA DE TEMPERATURA		X		X							X	
LUBRIFICAÇÃO DO ROLAMENTO PELO CANAL DO LUBRIFICADOR		X										X
SUBSTITUIR LUVA INFERIOR E SUPERIOR							X			X		
REAPERTO DAS LUVAS E LUBRIFICAÇÃO DAS PLACAS				X						X		X
DESMONTAGEM, LIMPEZA, INSPEÇÃO DIMENSIONAL					X					X		
DESMONTAGEM, LIMPEZA E TESTE DE VAZÃO (MANCAL)				X						X		

Fonte: Elaborado pelo autor, (2017).

Conforme demonstrado pela Tabela 5, é possível notar os benefícios alcançados logo após a implementação do projeto. Depois de uma média de 8 falhas nos anos anteriores, em 2013 foi registrado apenas 01 ocorrência, este resultado teve impacto diretamente na redução do somatório de tempo anual de parada, assim como na média mensal, esses números foram satisfatórios para a disponibilidade do processo que passou a ter uma melhor performance operacional.

Também foi possível obter um resultado significativo na redução de custo de recuperação dos mancais, que somando 2011 e 2012 foi de R\$ 369.184,00 para R\$ 23.074,00 em 2013.

Tabela 5 – Dados de 2011 e 2012 em comparação a 2013.

ANO	QUANT.	SOMATÓRIO ANUAL DE PARADA	MEDIA DE PERDA MENSAL DE PARADA	CUSTO DE RECUPERAÇÃO
2011	11	31h25min	5,21%	R\$ 253.814,00
2012	5	12h33min	2,06%	R\$ 115.370,00
2013	1	4h05min	0,66%	R\$ 23.074,00

Fonte: Elaborado pelo autor, (2017).

### **3. CONCLUSÃO**

Conclui-se que com a identificação dos problemas através das ferramentas de qualidade cuja as quais foram: montagem inadequada dos mancais, método de lubrificação e vibração excessiva, que juntas representam 88%, e as mudanças nos procedimentos de manutenção dos mancais de laminação, oriundas da metodologia FMEA, foi possível reduzir significativamente a ocorrência de falhas. Como demonstrado pela Tabela 2, nos anos de 2011 e 2012 foi obtido uma média de 8 falhas por ano, no ano de 2013, época que foi implantada as modificações, foi obtida apenas 1 falha, assim estabelecendo uma redução de 87,5% nos números de ocorrências, além de diminuir o custo na recuperação dos componentes em até 1.150,00%, em valores R\$ 346.110,00. Logo melhorando a moral de toda a equipe que passou a ter uma condição de trabalho melhor, minimizando os riscos de acidentes devido a uma corretiva indesejada, além de tornar o laminador com um desempenho competitivo no mercado com o aumento do tempo médio entre falhas, assim gerando valor para todos.

Como sugestão à escolha de um lubrificante adequado é essencial para a vida útil dos mancais de laminação. O lubrificante deve apresentar características para trabalho com cargas pesadas, altas temperaturas e que em suas propriedades possua a presença de sabão de complexo de lítio como espessante. Este sabão tem uma característica de não permitir que a água misture se a graxa, criando uma barreira protetora no lubrificante.

A metodologia de estudo de caso ficou embutida nas observações e análises e com isso foi possível entender, que: sendo cumprindo os planos de manutenções e inspeções adequadas, lubrificação com a graxa especificada na quantidade correta e tendo os cuidados necessários durante a montagem, a incidência de falha será baixa.

Laércio Bomfim Brito de Almeida  
Emerson Carlos Assunção Sanches

## ABSTRACT

This paper presents a case study where they were applied the methods of Pareto and FMEA in roller bearings for a hot rolling system of a steel mill, with the aim of drawing up a maintenance plan to identify and reduce failures. The case study was prepared between the years 2011 to 2013, developed in a company in the steel sector. The historic survey of fault occurrences, through history and records and then used as quality tools: Pareto to aid identification and prioritization, as well as the methodology for the creation of the FMEA maintenance and inspection of the plan equipment, all this with the support of mechanics and engineers added expertise in the industry. After the implementation of the methodology, in little more than a year, it was possible to obtain a reduction in the number of failures in 87.5%, a significant result for the whole team that went on to expose less in corrective and rework; as for the process, where it was possible to reduce the unavailability of equipment, adding 2011 and 2012, reached 43 h and 58min, for 4h and 05 min in 2013, in addition to the cost reduction in the recovery of the components within 1,150.00% of R \$369,184.00 R \$23,074.00. These advances have strengthened the use of methodologies used by Reliability and were fundamental to improving the company's competitiveness on the market.

**Key words:** Roller bearings, Hot rolling, Mechanical Conformation, FMEA, Maintenance Plan.

## 4. REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 6022: informação e documentação: artigo em publicação periódica científica impressa: apresentação. Rio de Janeiro, 2003.

LAFRAIA, João Ricardo Barusso; Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade – 5 ed. – Rio de Janeiro, 2014.

NUNES, Laerce de Paula; KREISCHER, Anderson Teixeira; Introdução á metalurgia e aos materiais metálicos – 1 ed. – Rio de Janeiro, 2010.

RODRIGUES, Marcos Vinicius. Ações para a Qualidade – GEIQ: Gestão Integrada para a Qualidade – Padrão Seis Sigma – Classe Mundial. Editora Qualitymark. Edição 2ª. Rio de Janeiro. 2006.