

Tema: Gestão de Manutenção

## ANÁLISE DAS TROCAS PREMATURAS DE SEGMENTOS DA MÁQUINA DE LINGOTAMENTO CONTÍNUO 1 DA ARCELORMITTAL TUBARÃO\*

*Alexsander Orrico Marchesi<sup>1</sup>  
Daniel Miranda Valladares<sup>2</sup>  
Max Sander Soneghetti<sup>3</sup>*

### Resumo

Este trabalho foi realizado com o objetivo de identificar os motivos das trocas prematuras dos segmentos da máquina de lingotamento contínuo 1 da ArcelorMittal Tubarão e indicar propostas de engenharia para aumentar a sua confiabilidade e disponibilidade operacional. A metodologia utilizada foi a estratificação dos dados históricos, coletados no sistema informatizado de manutenção da empresa (SIM), para identificar, classificar e analisar as causas das trocas prematuras realizadas. A partir disso, baseado em conceitos de engenharia de manutenção, foram utilizados métodos de análises de falhas, como Diagrama de Pareto, Brainstorming, Diagrama de Ishikawa e Matriz Esforço x Impacto para elaboração de propostas de plano de ação modelo 5W1H visando à eliminação dos problemas.

**Palavras-chave:** Segmentos; Disponibilidade; Lingotamento Contínuo.

### PREMATURE REMOVAL'S ANALYSIS OF SEGMENTS OF CONTINUOUS CASTING MACHINE 1 OF ARCELORMITTAL TUBARÃO

#### Abstract

This work was performed in order to identify the reasons for premature removal of segments of the continuous casting machine 1 of ArcelorMittal Tubarão and propose engineering solutions to increase its reliability and operational availability. The methodology used was the stratification of historical data that were collected in the company computerized maintenance system (SIM), to identify, classify and analyze the premature removals's causes. From this, based on concepts of maintenance engineering, were used failures analysis methods such as Pareto's Diagram, Brainstorming, Ishikawa's Diagram and Impact Effort Matrix to design action plan's proposals 5W1H model aiming at eliminating the problems.

**Keywords:** Segments; Availability; Continuous Casting.

- <sup>1</sup> *Engenheiro Mecânico, Supervisor de Inspeção Mecânica, Manutenção de Oficina de Segmentos do Lingotamento Contínuo / Departamento de Aciaria, ArcelorMittal Tubarão, Serra, ES, Brasil.*
- <sup>2</sup> *Engenheiro Mecânico, Técnico de Manutenção de Plataforma, Coordenação de Manutenção de Plataformas, Petróleo Brasileiro S/A, Macaé, RJ, Brasil.*
- <sup>3</sup> *Engenheiro Mecânico, Engenheiro de Equipamentos Portuários, Engenharia de Equipamentos Portuários, Vale S/A, Porto de Tubarão, Serra, ES, Brasil.*

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 O Processo de Lingotamento Contínuo

De acordo com Rocha [1], a máquina de lingotamento contínuo 1 da AMT tem uma capacidade nominal de produção de 1,8 milhões de toneladas ano. As placas podem ser produzidas em três espessuras: 200 mm, 225 mm e 250 mm, com larguras entre 800 e 1650 mm e comprimento entre 5000 e 12500 mm. Como citado por Arrivabene, Machado e Sobrinho [2] o processo de lingotamento contínuo inicia-se no distribuidor, que serve para manter certo volume de aço líquido, alimentando o molde. Composto de placas de cobre, fixadas em estruturas metálicas refrigeradas internamente, permite a troca térmica, iniciando o processo de formação da pele da placa. A partir do molde a placa continua no processo de solidificação através do resfriamento de água secundário, com spray de água e ar, situados entre os vários conjuntos de segmentos, permitindo a formação da placa. A máquina de lingotamento contínuo 1 da AMT é composta por dois veios, cada um com um molde e 15 segmentos, dispostos de zero ao quatorze, sendo intercambiáveis nas seguintes condições de montagem: 1 a 3; 4 a 6; 7 a 8 e 9 a 14. A vida útil do segmento é delimitada pela quantidade de toneladas de aço produzidas, devido ao desgaste no diâmetro dos rolos. De acordo com as especificações dos padrões operacionais [3], cada posição de montagem tem uma vida estimada diferente, conforme descrito na Tabela 1 de vida útil estimada apresentada no tópico 2.1. Entre janeiro de 2010 e março de 2011 a MLC#01 apresentou um alto índice de falhas, com elevado número de trocas prematuras de segmentos, reduzindo a confiabilidade nas equipes de manutenção, aumentando o retrabalho, número de horas extras, desperdício de recursos, insatisfação do cliente e dos colaboradores, o custo de manutenção, além de maior exposição a riscos de acidentes. A condição operacional da MLC#01 no período estudado motivou a realização desse trabalho, visando o cumprimento da vida útil estimada do segmento recuperado na oficina, de forma que sejam realizadas somente trocas programadas.

### 1.2 Objetivos

#### 1.2.1 Objetivo geral

Propor soluções de engenharia para aumentar a confiabilidade e disponibilidade operacional da máquina de lingotamento contínuo 1 da ArcelorMittal Tubarão.

#### 1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar as causas fundamentais das falhas ocorridas nos equipamentos;
- Visualizar o(s) principal(s) motivo(s) de trocas prematuras de segmentos;
- Propor solução(s) de engenharia adequada ao problema apresentado.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Através de um levantamento das trocas de segmentos ocorridas no período de 01/2010 a 03/2011 (15 meses), computadas no Sistema da Inspeção Mecânica (SIM), foi ordenado um histórico dessas ocorrências, sendo qualificadas em trocas prematuras ou por fim de vida útil. As trocas prematuras foram classificadas e quantificadas, criando-se um resumo estatístico com as falhas diagnosticadas. A partir disso, foram utilizados métodos de análises de falhas de engenharia de

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

manutenção para elaboração de plano de ação, como Diagrama de Pareto, técnicas de brainstorming, Diagrama de Ishikawa e Matriz esforço x impacto [4-7], visando o aumento da confiabilidade da máquina de lingotamento contínuo 1.

## 2.1 Execução e Análise de Dados

Cada posição de montagem tem uma vida estimada diferente, conforme Tabela 1.

**Tabela 1.** Vida útil estimada por toneladas produzidas

Posição dos segmentos	Toneladas produzidas(t)
Segmentos de 01 a 03	934.000
Segmentos de 04 a 06	1.170.000
Segmentos de 07 a 08	991.000
Segmentos de 09 a 12	1.362.000
Segmentos de 13 a 14	2.080.000

Para motivo de cálculo da quantidade de trocas programadas de segmentos por ano, deve-se encontrar a vida útil média estimada (VUME) de todas as posições. Como a MLC#1 possui dois veios, dividimos o somatório da vida útil estimada pelo total de segmentos da máquina, conforme Equação (1) abaixo:

$$VUME (t) = \frac{\sum \text{Vida útil segmentos}}{\text{Quantidade de segmentos}} = \frac{(6 \times 934) + (6 \times 1170) + (4 \times 991) + (8 \times 1362) + (4 \times 2080)}{28} \times 1000 = 1.278.714 \text{ t} \quad (1)$$

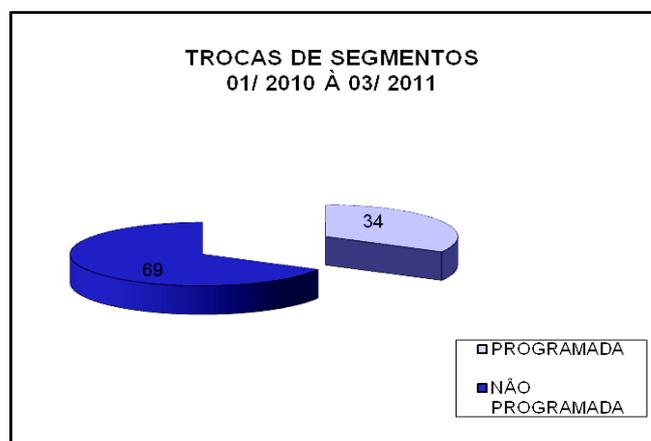
Para chegarmos ao número necessário de trocas anuais de cada posição por fim de vida útil, dividimos a capacidade nominal de produção pelo VUME, Equação 2.

$$\text{Trocas} = \frac{\text{Capacidade produção}}{VUME} = \frac{1.800.000}{1278.714} = 1,4 \quad (2)$$

Como a MLC#1 possui 14 posições, é necessário um total aproximado de 20 trocas programadas de segmentos por ano, conforme demonstrado abaixo na Equação 3:

$$N^{\circ} \text{ trocas / ano} = 1,4 \times 14 = 19,6 \quad (3)$$

No período entre janeiro de 2010 e março de 2011 (15 meses) ocorreram 103 trocas de segmentos, sendo 34 trocas programadas e 69 não programadas.



**Figura 1.** Classificação dos tipos de troca de segmentos.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

Conforme observado na Figura 1, constata-se o elevado número de trocas não programadas da máquina de lingotamento contínuo 1, em relação às programadas para o mesmo período. Para todas as atividades de trocas de segmentos, programadas ou não, há a necessidade de parada de produção para realização da atividade de manutenção. Analisando os dados acima, foi observado que das 103 trocas realizadas dentro do período de 15 meses, 69 geraram paradas de produção inesperadas da máquina e as demais foram realizadas dentro da vida útil estimada do equipamento e de forma programada.

Durante esse intervalo, pode-se obter o Tempo Médio Entre Falhas (TMEF) (Equação 4).

$$TMEF = \frac{\text{Período analisado}}{\text{Quantidade de Falhas}} = \frac{450}{69} = 6,5 \text{ dias (4)}$$

Definido o plano de produção conforme capacidade nominal da MLC#1 e com o objetivo de realizar somente trocas programadas por fim de vida útil, encontramos o Tempo Médio Entre Paradas (TMEP) ideal (equação 5):

$$TMEP \text{ ideal} = \frac{\text{Período analisado}}{\text{Necessidade de Paradas}} = \frac{365}{20} = 18,25 \text{ dias (5)}$$

Devido a fatores como necessidade de cumprimento do plano de produção, indisponibilidade de segmento reserva na ocasião da parada programada ou reutilização de segmentos a partir de reparos parciais (sem a troca completa de todos os rolos), em algumas ocasiões decide-se pela não realização de trocas programadas nos períodos estabelecidos. Com isso acumulam-se algumas dessas trocas dentro de um período menor, o que justifica o TMEP do período estudado ser diferente do ideal (equação 6).

$$TMEP_{real} = \frac{\text{Período analisado}}{\text{Quantidade de Trocas}} = \frac{450}{34} = 13,23 \quad (6)$$

Em comparação com o TMEP ideal, que é de aproximadamente 18 dias, verificou-se uma diferença significativa em relação ao TMEF do período, o que é determinante para a baixa confiabilidade da MLC#1, em função do não atendimento da vida útil estimada dos segmentos.

Outro indicador calculado foi Tempo Médio de Reparo, TMR (equação 7). Como não foi identificado todo o tempo de parada real da máquina de todas as falhas de segmentos, foi considerado o tempo padrão de realização da atividade de troca de segmento, conforme Tabela 2.

**Tabela 2.** Tempo de troca de segmentos MLC#1

TEMPO DE TROCA DE SEGMENTOS DA MLC#1		
Posição dos segmentos	Quantidade de trocas	Tempo de troca por posição na MLC#1 (min)
Segmentos de 01 a 03	23	150
Segmentos de 04 a 06	16	120
Segmentos de 07 a 08	11	120
Segmentos de 09 a 13	49	120
Segmento 14	4	180

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

$$TMR = \frac{\text{Tempo total de Trocas}}{\text{Quantidade de Falhas}} = \frac{[(23 \times 150) + (16 \times 120) + (11 \times 120) + (49 \times 120) + (4 \times 180)]}{103} = 129,03 \text{ min( 7)}$$

As 103 trocas de segmentos representaram um total de 13290min ou 221,5h de parada de manutenção da MLC#1. Cada intervenção mecânica é realizada com efetivo de 12 pessoas, sendo necessário, portanto 2658 homens-hora (h/h) para atendimento a necessidade da máquina nesse período. Como ocorreram 34 trocas programadas e 69 não programadas, constatou-se um aumento de 202,94% do previsto inicialmente, o que comprometeu a disponibilidade da máquina e a confiabilidade da equipe de segmentos.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As falhas prematuras em segmentos são detectadas por meio de alarmes, defeitos nas placas produzidas, inspeções preditivas e sensitivas ou por quebra involuntária. A partir desses dados define-se pela(s) troca(s) ou não do(s) segmento(s), exceto no último caso, em que parte-se para a manutenção corretiva. A Figura 2 estratifica as causas imediatas de ocorrências de trocas indesejadas antes do fim de vida útil previsto, onde se identifica que a maioria das ocorrências de trocas prematuras de segmentos estava relacionada a travamentos de rolos.

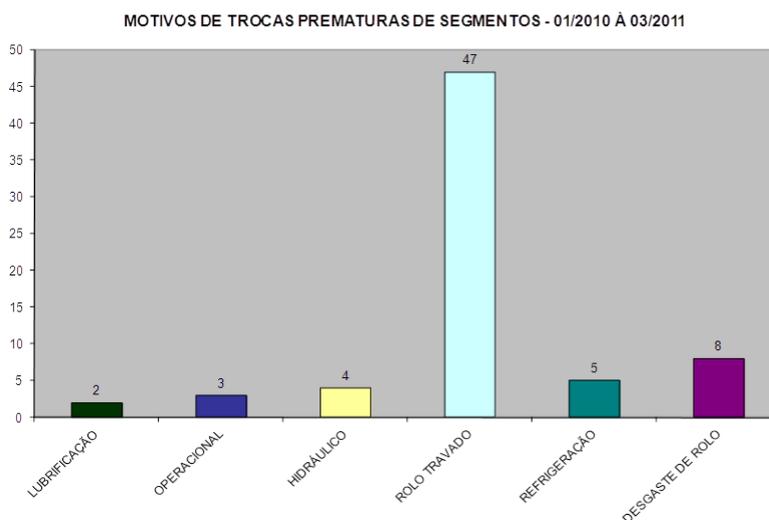
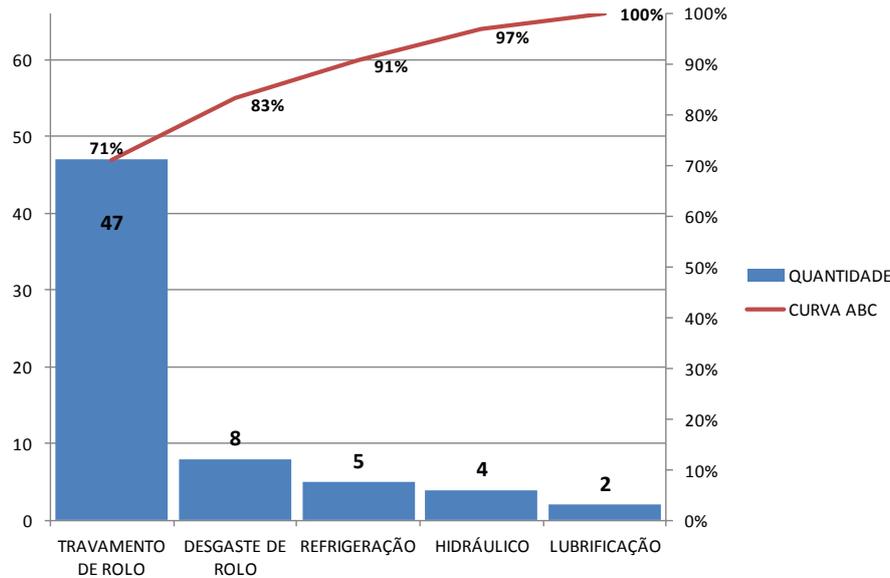


Figura 2. Quantidade de troca de segmentos.

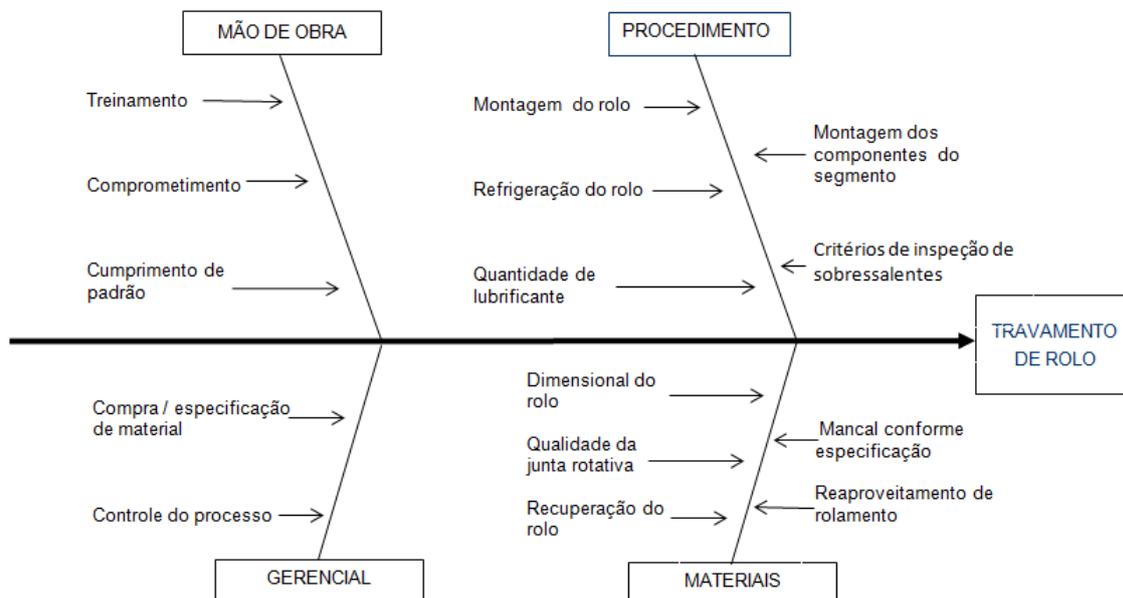
Classificamos em 6 os tipos de falhas de segmentos e as distribuimos no Diagrama de Pareto. Foram consideradas 66 ocorrências prematuras de trocas de segmentos, sendo descartadas as 3 de origem operacional. Na Figura 3, os resultados indicaram que os 47 travamentos de rolos corresponderam a 71,21% do total de falhas. Dessa forma diante do resultado expressivo concentrado em um único tipo de ocorrência, priorizamos a análise da(s) causa(s) de travamento de rolos.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



**Figura 3.** Diagrama de Pareto para ocorrências prematuras de falhas em segmentos

Para identificação dos fatores que podem contribuir com os travamentos de rolos, foi utilizada a técnica do brainstorming. Foram selecionadas as idéias relevantes e classificadas por categoria no Diagrama de Ishikawa, sendo agrupadas e organizadas conforme indicadas na Figura 4.



**Figura 4.** Diagrama de Ishikawa.

Utilizando a matriz esforço x impacto, as causas básicas foram classificadas na tabela 3, conforme os valores apurados na matriz de causa e efeito, para definição da proposta do plano de ação.

**Tabela 3.** Matriz esforço x impacto

MATRIZ ESFORÇO X IMPACTO					
	MOTIVOS DE TRAVAMENTO	COMPLEXOS	DESCARTAR	PRIORITÁRIOS	VER E AGIR?
MÃO DE OBRA	Treinamento	X			
	Comprometimento			X	
	Cumprimento de padrão			X	
GERENCIAL	Compra/especificação de material	X			
	Controle do processo			X	
PROCEDIMENTO	Montagem do rolo			X	
	Refrigeração do rolo			X	
	Quantidade de lubrificante	X			
	Montagem dos componentes do segmento			X	
	Crítérios de inspeção de sobressalentes	X			
MATERIAIS	Dimensional do rolo			X	
	Qualidade da junta rotativa	X			
	Recuperação do rolo	X			
	Mancal conforme especificação			X	
	Reaproveitamento de rolamento			X	

### 3.1 Plano de Ação

No plano de ação de ação foi utilizada a matriz 5W1H para direcionamento das medidas a serem tomadas na proposta de resolução da falha de maior incidência. Inicialmente foi realizado para as ações prioritárias (Tabela 4), por serem de alto impacto e baixo esforço e, dessa forma com maior facilidade de implementação e numa segunda etapa para as complexas (Tabela 5), ou seja, de alto impacto e alto esforço, porém mais difíceis de implementação.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



**Tabela 4.** Matriz 5w 1h - prioritárias

<b>ELIMINAR TRAVAMENTOS DE ROLOS</b>					
<b>MATRIZ 5W1H - Prioritárias</b>					
<b>What</b>	<b>Who</b>	<b>When</b>	<b>Where</b>	<b>Why</b>	<b>How</b>
Comprometer as equipes de manutenção	Supervisor de manutenção	Imediato	Setor de Inspeção e execução	Para evitar falha humana	- Estabelecendo metas. - Tomando ações administrativas em caso de acertos e erros.
Cumprir os padrões	Supervisor de manutenção	Imediato	Setor de Inspeção e execução	Para executar as atividades dentro dos parâmetros estabelecidos	- Auditando o processo de manutenção.
Controlar os processos de manutenção	Gerente	Imediato	Oficina de manutenção de segmentos	Para auxiliar nas tomadas de decisão/definição das prioridades	- Gerenciando os índices de manutenção.
Montar os rolos dentro das normas	Supervisor de manutenção	Curto prazo	Setor de execução	Para garantir a confiabilidade da montagem	- Cumprindo todos os procedimentos de montagem de rolos. - Cumprindo os critérios de teste hidrostático dos mancais centrais e rolos.
Garantir a refrigeração adequada do rolo	Supervisor de manutenção	Imediato	Setor de execução	Para evitar o superaquecimento do rolo	- Montando o tubo de refrigeração interna do rolo conforme dimensional do projeto.
Montar adequadamente os componentes do segmento	Supervisor de manutenção	Imediato	Setor de execução	Para evitar desvios de alinhamento, espaçamento, hidráulicos, refrigeração e lubrificação	- Adotando procedimentos de montagem e testes conforme padrões de manutenção.
Garantir a montagem de rolos dentro das tolerâncias dimensionais	Supervisor de manutenção	Imediato	Setor de inspeção	Para garantir ajuste de folga dos rolamentos e componentes do conjunto	- Inspeccionando as cotas e tolerâncias relevantes do rolo. - Propondo estudo de engenharia para flexibilizar cotas e tolerâncias.
Garantir a montagem de mancais dentro das tolerâncias dimensionais	Supervisor de manutenção	Imediato	Setor de inspeção	Para garantir ajuste de folga dos rolamentos	- Inspeccionando as cotas e tolerâncias relevantes dos mancais. - Criando histórico de montagem de rolamento por tonelada produzida.
Definir critérios para reaproveitamento de rolamentos	Supervisor de manutenção	Imediato	Setor de inspeção	Para garantir confiabilidade dos rolamentos reaproveitados	- Adotando critérios de inspeção conforme manual do fabricante.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

**Tabela 5.** Matriz 5w 1h - Complexas

ELIMINAR TRAVAMENTOS DE ROLOS					
MATRIZ 5W1H - Complexas					
What	Who	When	Where	Why	How
Capacitar equipe de manutenção	Especialista de manutenção	Longo prazo	Setor de Inspeção e execução	Para garantir a confiabilidade da montagem	- Realizando treinamentos prático e teórico nas equipes de manutenção.
Adquirir materiais em conformidade	Analista de compras / Especialista de manutenção	Médio prazo	Setor de compras / Engenharia	Para garantir a confiabilidade dos sobressalentes	- Adquirindo materiais de fornecedores qualificados. - Regularizando revisões de desenho conforme necessidade de utilização.
Adequar sistema de lubrificação	Especialista de manutenção / Supervisor de manutenção	Longo prazo	Setor de Engenharia / Setor de execução	Para garantir o volume de graxa ideal para cada componente	- Revisando projeto e implementando as adequações necessárias.
Adotar critérios de inspeção em sobressalentes	Supervisor de manutenção	Médio prazo	Setor de inspeção	Para garantir a confiabilidade dos sobressalentes	- Adotando parâmetros de inspeção para utilização de sobressalentes.
Utilizar junta rotativa de qualidade	Especialista de manutenção / Analista de compras	Longo prazo	Setor de compras / Engenharia	Para garantir a refrigeração do rolo	- Desenvolvendo fornecedor qualificado.
Recuperar rolo conforme especificação de projeto	Especialista de manutenção / Gerente	Longo prazo	Gestão da Oficina de segmentos	Para garantir a confiabilidade da montagem	- Desenvolvendo fornecedor qualificado. - Assumindo a gestão da célula de recuperação de rolos.

#### 4 CONCLUSÃO

Identificamos 103 trocas de segmentos ocorridas, entre jan/2010 e mar/2011, o que correspondeu a um aumento de 202% em relação as 34 trocas previstas inicialmente. Trabalhando com indicadores de desempenho de manutenção, verificamos um TMEF baixo em comparação com o TMEP ideal.

Utilizando ferramentas de análises de falhas, em especial o Diagrama de Pareto, ficou evidenciado o grande volume de travamento de rolos, responsável por 71% de todas as ocorrências de trocas prematuras. Aprofundando a análise de falha, com o Diagrama de Ishikawa, verificamos que poderíamos dividir todas as possibilidades levantadas no brainstorming em apenas 4 categorias. Na matriz esforço x impacto foi possível visualizar que todos os fatores causadores do problema estão classificados em prioritários e complexos, não existindo ações descartadas ou de baixo impacto.

Com a utilização da ferramenta 5W1H foi proposto um plano de ação para cada uma das hipóteses de causa de travamento de rolo. Constatado que os fatores de mão de obra aliados aos de procedimento e materiais tem relação direta entre si, influenciando de forma que a tomada de decisão para eliminação da causa referente a um fator contribua na eliminação de outra causa, referente a outro fator, e que algumas dessas ações devem ser tomadas de imediato. Podemos citar a busca do

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



comprometimento das equipes e o cumprimento dos padrões de manutenção, possibilitando montagens adequadas e conforme às normas. Dentre as ações gerenciais a serem tomadas, um maior controle dos processos de manutenção é necessário, principalmente por meio da implementação e gerenciamento de indicadores de desempenho.

Outra ação primordial, e que deve ser adotada de imediato, é o controle de qualidade dos sobressalentes adquiridos, principalmente no que se refere à questão dimensional de rolos, mancais e seus componentes, por meio de peritagem.

Algumas ações são complexas e demandam um tempo maior para sua aplicação, porém são também de suma importância para eliminação do problema identificado. Vale citar a necessidade de capacitação das equipes de manutenção e/ou avaliação e contratação de equipe específica de montagem de rolos. Verificamos ainda a extrema necessidade de desenvolvimento de fornecedores qualificados para aquisição de materiais em conformidade e recuperação dimensional de rolos adequada, respeitando as cotas e tolerâncias relevantes de projeto.

Identificamos que outras falhas listadas no Pareto como “causas fundamentais”, podem ser “causas básicas” de travamento de rolos (desvios de refrigeração e lubrificação). Adotando os planos de ação propostos, esses 2 desvios mais as falhas de origem hidráulica poderão ser automaticamente tratadas, pois para sua eliminação é necessário basicamente adotar critérios de inspeção, controle e manutenção adequados. Isso corresponde a aproximadamente 88% de causas prematuras de trocas. Há ainda a possibilidade de se evitar o desgaste prematuro de rolos, responsável por cerca de 12% de trocas indesejadas, pois esse tipo de ocorrência pode estar relacionado a problemas de refrigeração do rolo. Sobraria como possibilidade de troca prematura somente desvios de ordem operacional, que não estão no controle da equipe de manutenção de segmentos.

Concluímos dessa forma que a aplicação de análises de falhas, por meio de metodologias de engenharia de manutenção, se mostraram muito eficazes na resolução do estudo. É possível conseguir resultados expressivos na qualidade de manutenção de segmentos, por meio dos planos de ação propostos, evitando as trocas prematuras e, conseqüentemente, aumentando a confiabilidade e disponibilidade da máquina de lingotamento contínuo 1 da ArcelorMittal Tubarão.

## Agradecimentos

À ArcelorMittal Tubarão, pela colaboração e oportunidade de pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- 1 Rocha BB. Manual das principais características das máquinas de lingotamento contínuo 1 e 2. Serra: Companhia Siderúrgica Tubarão; 2000.
- 2 Arrivabene LF, Machado MLP, Sobrinho VPFM. Siderurgia para não siderurgistas [apostila do curso Siderurgia aplicada]. Vitória: Centro Federal de Educação Tecnológica – Cefet; 2003.
- 3 ArcelorMittal Tubarão. Padrão operacional: PO-MAN-CONT-IM-0208. Serra: ArcelorMittal Tubarão; 2010.
- 4 Slack N, Chambers S, Harland C, Harrison A, Johnston R. Administração da produção – edição compacta. São Paulo: Atlas; 2006.
- 5 Bass I, Lawton B. Lean six sigma using sigmaXL and minitab. United States: McGraw-Hill; 2009.

---

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



- 6 Slack N, Chambers S, Harland C, Harrison A, Johnston R. Administração da produção – edição compacta. São Paulo: Atlas; 2006.
- 7 Rissi LA. Aplicação de metodologia 6 Sigma para resolução do problema da falta de acurácia no estoque de uma empresa [trabalho de conclusão de curso]. São Paulo: Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo; 2007.

---

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.