

IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE GESTÃO NA MANUTENÇÃO DE PONTES ROLANTES DA BRASMETAL WAEZHZOLZ¹

*Celso Tadeu Bielskis²
Márcio Aparecido Martins Barbosa³
Cristiano Deco Moreira⁴*

Resumo

Neste trabalho são apresentados os resultados obtidos com a implantação de técnicas de Manutenção Centrada em Confiabilidade e Metodologia para Solução de Problemas na rotina de manutenção de pontes rolantes da Brasmetal Waelzholz. Com a adoção da nova sistemática conseguiu-se resultados como: redução na quantidade de atendimentos corretivos, aumento do tempo médio entre falhas, aumento na disponibilidade de máquina e redução nos custos de manutenção

Palavras-chave: Manutenção; Confiabilidade; Ponte rolante.

IMPLEMENTATION OF A MANAGEMENT SYSTEM IN THE MAINTENANCE OF THE BRASMETAL WAEZHZOLZ CRANES

Abstract

This paper shows the results achieved with the implementation of the following techniques: Reliability Centered Maintenance and Troubleshooting Methodology in the maintenance routine of the Brasmetal Waelzholz cranes. With the introduction of the new system it was possible to get results such as: reduction in the amount of corrective maintenance, increasing the Mean Time Between Failures - MTBF, increase in machine availability and reduction in the maintenance expense.

Key words: Maintenance; Reliability; Crane.

¹ *Contribuição técnica ao 46º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 27 a 30 de outubro de 2009, Santos, SP.*

² *Tecnólogo Eletrônico, Engenheiro de Produção, MSc. Gerente de Manutenção da Brasmetal Waelzholz*

³ *Engenheiro Eletricista da Brasmetal Waelzholz*

⁴ *Tecnólogo Mecânico da Brasmetal Waelzholz*

1 INTRODUÇÃO

No processo de relaminação a frio da Brasmatal Waelzholz, grande parte da movimentação de carga é feita através de pontes rolantes. Esta movimentação se dá desde o descarregamento das carretas, durante o recebimento da matéria-prima vinda das usinas, até o carregamento dos caminhões na expedição, passando por etapas intermediárias como, por exemplo, o abastecimento das máquinas, auxílio à manutenção e movimentações de materiais auxiliares.

Diante da importância destes equipamentos, sempre foi adotado pela Brasmatal Waelzholz uma sistemática de manutenção preventiva. Porém, com política de investimentos da empresa, têm-se como resultado positivo aumentos expressivos na produção de relaminados a frio, mas, em contra partida, as pontes rolantes passaram a ser mais solicitadas e conseqüentemente o número de falhas apresentadas pelos equipamentos passaram a aumentar (Figura 1).

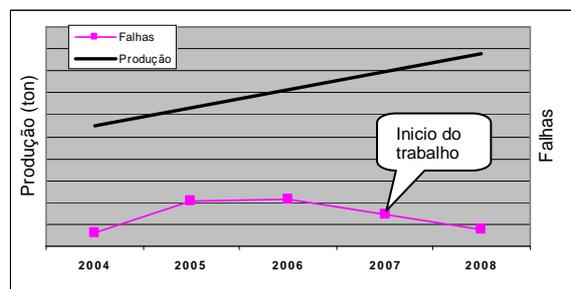


Figura 1 – Relação de Falhas x Produção.

Com o aumento das falhas, verificou-se a necessidade de uma reavaliação da política de manutenção adotada e a implementação de um sistema mais eficaz, e para isso, foram implantadas ações a partir de técnicas como Manutenção Centrada em Confiabilidade⁽¹⁾ e Metodologia para Análise e Solução de Problemas.⁽²⁾

O conceito de manutenção centrada em confiabilidade (RCM) é definido por Moubray⁽¹⁾ como: “Um processo usado para determinar o que deve ser feito para assegurar que um ativo físico (equipamento) continue fazendo o que os seus usuários desejam dentro de um contexto operacional”. Esta definição pode ser complementada com o objetivo de se manter e garantir a disponibilidade dos equipamentos e instalações, incluindo aspectos referentes a segurança e meio ambiente.⁽³⁾ Para se obter o melhor resultado do sistema de confiabilidade, deve-se fazer parte da gestão da manutenção,⁽⁴⁾ itens como: planejamento, programação e controle de alterações dos planos de manutenção, análise de causa raiz das falhas, manutenção preditiva, monitoramento de condição, histórico informatizado, entre outros. Moubray,⁽¹⁾ ainda sugere que sete questões básicas devem ser levadas em consideração: Quais as funções e padrões de desempenho de um equipamento em seu contexto operacional, qual a causa e o efeito da ocorrência de uma falha e como impacta, quais ações preventivas e preditivas podem ser tomadas, que ação deve ser tomada quando não são encontradas tarefas pró-ativas.

A Metodologia de Análise e Solução de Problemas – MASP é composta de etapas que seguem uma seqüência a fim de se melhorar a qualidade de um produto ou serviço. Basicamente as etapas são: Definição do problema e sua causa raiz, definição da sua criticidade, definição e implantação de ações, verificação dos resultados e tomada de novas ações corretivas se necessário. E dentro da

metodologia alguns métodos se destacam como por exemplo, Método 8 disciplinas da Ford, método Kepner & Tregoe e *Quality Control Story* – QC Story.⁽²⁾

2 OBJETIVOS

Implantar um sistema de gestão de manutenção em pontes rolantes visando:

- reduzir o número de atendimentos corretivos;
- reduzir o tempo parado para a manutenção;
- reduzir os custos de manutenção; e
- aumentar o Tempo Médio entre Falhas – MTBF.

3. METODOLOGIA

3.1 Identificação do Problema⁽²⁾

Nesta etapa, foi feita uma análise das perdas associadas com base no histórico de manutenção dos equipamentos. A partir dos dados levantados foi feita uma análise de Pareto, com isso avaliou-se a incidência de falhas por equipamentos (Figura 1), e de forma global, a distribuição das falhas nos conjuntos e o tipo de falha apresentada (Figura 2).

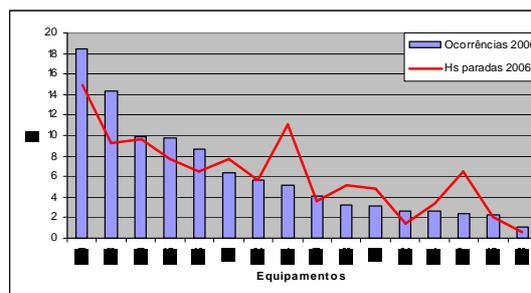


Figura 1 – Incidência de falhas por equipamento.

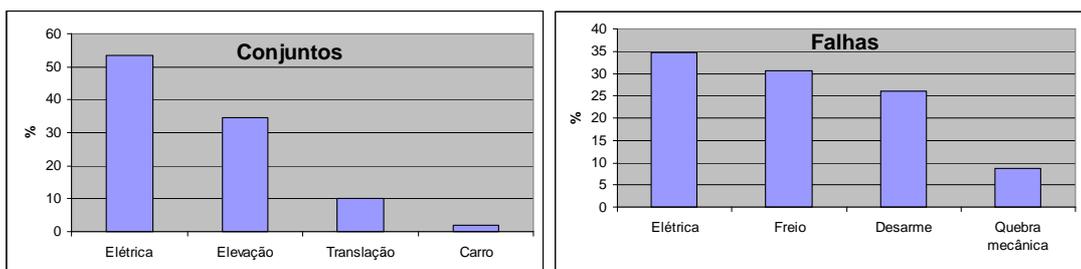


Figura 2 – Incidência e tipo das falhas por conjunto.

3.1 Análise do Problema

Com base nas informações levantadas, se fez uma análise global das possíveis causas que levavam às falhas, como mostra o diagrama de causa e efeito⁽²⁾ (Figura 3). As causas prováveis foram analisadas dentro da metodologia “Por que - Por que”⁽³⁾ (Figura 3).

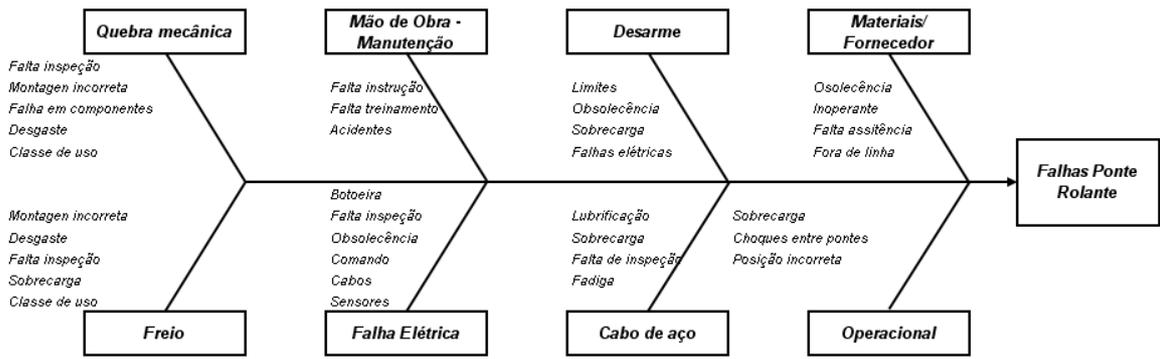


Figura 3 – Diagrama Causa x Efeito.

3.2 Plano de Ação

Feita a análise das falhas foi elaborado um plano de ação utilizando-se a metodologia “5W1H”, que se traduzindo do inglês significa: O quê? Quem? Quando? Onde? Por quê? Como?⁽³⁾ Com isto foram definidos os responsáveis e prazos para a implantação das ações descritas na Figura 4. No item seguinte será feito um detalhamento das principais ações tomadas.

	Porque?	Porque?	Porque?	Porque?	Porque?	Ação
Falha no freio	Desgaste	Falta de inspeção. Falha na regulagem. Sobrecarga	Plano desatualizado Falta padronização Falta de adequação ao uso	Maior solicitação. Falta instrução e treinamento. Acionamento obsoleto	Aumento produção Vida útil	Adequação dos planos, Criar instrução, Fazer estudo de classificação das pontes, Fazer estudo para modernização do sistema de acionamento
Quebra Mecânica	Desgaste Falha de componentes	Falta de inspeção, preventiva, preditiva, uso inadequado, falhas de montagem, Desgaste natural, quebra prematura	Plano desatualizado, Equipamento declassificado, Falta padronização Falhas fabricação	Maior solicitação. Falta instrução e treinamento. Risco de materias serem comprados de fornecedores paralelos	Aumento produção, Falta instrução e treinamento. Fornecedor não está no mercado, peças fora de linha, custo	Criar instruções Avaliar a possibilidade de compra de peças originais. Para os equipamentos onde o fornecedor está inoperante, estudar modernização. Fazer estudo de classificação dos equipamentos. Adequação dos planos de manutenção
	Uso inadequado	Risco do equipamento estar operando acima dos ciclos de trabalho	Maior solicitação.	Aumento produção		
Falha elétrica	Falta de inspeção, preventiva, preditiva. Componentes obsoletos	Plano desatualizado Vida útil dos equipamentos	Maior solicitação	Aumento produção		Adequação dos planos, Fazer estudo de modernização dos equipamentos
Desarmes	Falta de inspeção e preventiva dos sensores Atuação limites fim de curso, sobrecarga, falhas elétricas	Plano desatualizado	Maior solicitação	Aumento produção		Adequação dos planos, Divulgar ocorrências e treinar pessoal no Gasprol.
		Falha operacional	Falta de conscientização	Falta de divulgação das ocorrências.		
Cabo de aço	Falta de inspeção e preventiva, sobrecarga, fadiga	Plano desatualizado	Maior solicitação	Aumento produção		Adequação dos planos, Divulgar ocorrências no Gasprol. Efetuar estudo para instalação de célula de carga. Fazer estudo da vida útil dos cabos com foco na fadiga (consultar
		Ciclo de trabalho				
Manutenção	Risco de acidente	Falta treinamento, atenção. Equipamento permite a operação	Falta de conscientização. Falta de dispositivo de controle	Falta de divulgação das ocorrências. Originalmente não faz parte do projeto		
		Não existe sistemática para acessar as pontes e profissional pode ser atingido por pontes adjacentes	Falta comunicação com operação	Não existe sistemática para acessar as pontes Falta de sinalização visual indicando que o equipamento está em	Falta procedimento acesso as pontes	Criar procedimento de acesso a ponte Estudar formas de sinalização
			Falta local específico p/ manutenção			
Operacional	Sobrecarga	Falta treinamento, atenção. Equipamento permite a operação	Falta de conscientização. Falta de dispositivo de controle	Falta de divulgação das ocorrências. Originalmente não faz parte do projeto		Divulgar ocorrências e treinar pessoal no Gasprol. Efetuar estudo para instalação de célula de carga e sensores anti colisão
	Choque entre pontes					
	Posição incorreta ao levantar a carga					

Figura 4 – Análise “Por que – Por que”.

3.3 Implantação das Ações

3.3.1 - Reclassificação de pontes rolantes

O projeto de pontes rolantes segue diretrizes determinadas por normas, como, NBR8400, CMAA70, FEM9511 e DIN15020.^(5,6) Por se tratar de equipamentos de alto custo, na fase do projeto ou na aquisição de uma ponte rolante, deve-se considerar como será a sua solicitação durante a operação, ou seja, qual a frequência de utilização e o percentual de aplicação de carga, relacionando-se aos períodos em que irá operar com carga máxima. Com isso tanto os mecanismos como a estrutura poderão ser classificados, e então, obter-se um equipamento que não se tornará obsoleto em curto período, com o custo adequado.⁽⁶⁾

Em função do tempo de operação das pontes e do nível de produção atual da empresa suspeitou-se que alguns equipamentos poderiam estar desclassificados, ou seja, a frequência de utilização e carga transportada estaria acima da especificação original do equipamento. Para ser verificada a adequação da classe dos equipamentos ao trabalho executado, contratou-se um fabricante tradicional de pontes rolantes que, a partir de critérios próprios, fez uma avaliação da classe de funcionamento. Com isso verificou-se que 4 pontes rolantes estavam desclassificadas e que estes equipamentos representavam cerca de 25% das paradas de emergência. A partir deste dado, as pontes que tinham seus mecanismos classificados de acordo com a norma NBR 8400:1984⁽⁷⁾ como 1AM, passaram a ser classificadas como 3M, além de terem a capacidade aumentada em 10%. Durante o projeto de reclassificação das pontes, foi exigido pela a Brasmetal Waelzholz que os elementos de máquina fossem de mercado, não foram aceitos itens como redutores e motores fabricados especialmente para um equipamento específico.

Além das pontes que foram reclassificadas, duas outras pontes foram reformadas. Estas pontes foram umas das primeiras a serem instaladas na Brasmetal Waelzholz, com isto existia uma dificuldade muito grande de se obter peças de reposição, visto que, o seu fabricante estava inoperante nesta área. A reforma foi realizada por um grande fabricante de ponte rolante, que na medida do possível, procurou-se utilizar elementos de máquina disponível no mercado, minimizando assim a dependência de um fornecedor exclusivo.

3.3.2 Modernização das instalações elétricas e eletrônicas

Por se tratar de pontes rolantes que já estão em operação por longo tempo, o controle de velocidade e torque dos motores de elevação e translação (carro e ponte) eram feitos através comandos que utilizavam contatores (contato seco), bancos de resistências e dispositivo eletromecânico denominado magnetorque. Na época da concepção este sistema era o mais adequado (relação custo x benefício) aos equipamentos adquiridos pela Brasmetal Waelzholz. Com o avanço tecnológico os dispositivos de controle de velocidade e torque foram barateados e passaram a ser frequentemente utilizados. Entre estes dispositivos destacam-se os Inversores ou Conversores de frequência. Os inversores de frequência são dispositivos eletrônicos que podem ser utilizados no controle de velocidade e torque de motores elétricos assíncronos, onde, um fluxo de energia em corrente contínua é convertido em um fluxo de energia com a sua amplitude e frequência controlada de acordo com a operação a se realizada.⁽⁸⁾

Como apresentado anteriormente na análise da incidência de falhas nas pontes, verificou-se que tanto falhas elétricas como falhas em freios (principalmente elevação) eram as mais frequentes. No caso das falhas elétricas verificou-se que a

incidência se dava em função da obsolescência dos sistemas devido ao longo período de utilização. Quanto ao freio, verificou-se que parte dos problemas eram decorrentes da sua super-utilização. Com isto optou-se pela a modernização das pontes com a implantação dos inversores de frequência para o controle de velocidade e torque. O uso dos inversores foi motivado pelas vantagens que apresenta em relação ao sistema original da ponte, por exemplo, relação custo x benefício, possibilidade de controle de rampa de partida e frenagem preservando os componentes mecânicos(principalmente os freios), supervisão e controle de falhas, tamanho reduzido, equipamentos relativamente novos com perspectiva de vida longa, etc. Como se trata de investimentos, a implantação dos inversores de frequência foi feita de forma gradativa como mostra o gráfico da Figura 4.

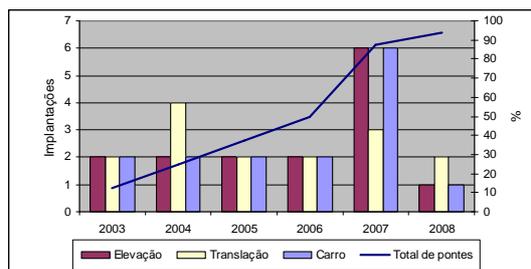


Figura 4 – Cronologia de implantação dos inversores.

3.3.3 Adequação dos planos de manutenção

As pontes rolantes da Brasmetal Waelzholz já eram submetidas a rotinas de inspeção e manutenção preventiva e preditiva. Com o aumento do uso das pontes, resultando em um aumento nas falhas dos equipamentos, verificou-se a necessidade de adequações no plano. O plano foi adequado com base no Tempo Médio entre Falhas (*MTBF-Mean Time Between Failures*), equação 1,⁽⁹⁾ ajustando-se a frequência a disponibilidade de mão de obra do departamento de manutenção. Desta forma definiram-se paradas quinzenais de 2 horas e paradas trimestrais de 8 horas para cada equipamento. As paradas quinzenais têm a finalidade de realização de atividades como, lubrificação, inspeção e pequenos reparos. Já as paradas trimestrais são destinadas a atividades que demandam maior tempo, como por exemplo, correções detectadas através das inspeções.

$$MTBF = \frac{\text{Tempo}_\text{Operação}}{\text{Numero}_\text{Ocorrencias}} \quad (1)$$

Além das ações citadas acima, foram implantadas outras ações rotineiras como:

- rotina de inspeção anual executada por um fabricante de ponte rolante; e
- *check-list* efetuado pelos operados em todos os turnos.

3.3.4 Ações visando segurança

As ações que foram tomadas visando os aspectos de segurança foram divididas em duas etapas: ações direcionadas a manutenção e ações direcionadas a operação.

As ações direcionadas a manutenção foram às seguintes:

- implantação de procedimento para acesso a ponte rolante e trabalho em altura;

- implantação de Permissão de Trabalho para atividades em pontes ou altura. Neste caso o mantenedor só irá acessar a ponte se existir anuência do departamento de segurança ou responsável da área;
- implantação de Ordem de Serviço exclusiva para manutenção em ponte rolante;
- implantação da análise prévia de risco. *Check-list* em que o mantenedor verifica as condições de trabalho antes de sua execução;
- implantação de Giroflex (Figura 5). O Giroflex corresponde a sinalizadores luminosos que estão distribuídos ao longo das alas e que devem se ligados pelo mantenedor quando for acessar a ponte rolante, com isso, os ponteiros identificam facilmente a existência de pessoas nos caminhos de rolamento da respectiva ala;



Figura 5 – Giroflex e botões de emergência.

- criação da Área Exclusiva para Manutenção – AEM (Figura 6). A AEM corresponde a regiões pré-determinadas onde as pontes são alocadas para execução da manutenção. Para preservar a segurança do pessoal da manutenção, nas AEM foram instalados dispositivos elétricos que impedem o acesso de outra ponte rolante na AEM durante a execução de manutenção. Este dispositivo corresponde a um comando que efetua o seccionamento do barramento de alimentação da ponte em uma distância pré-definida com base nas inércias de frenagem dos equipamentos. Este dispositivo também possibilita que a ponte seja energizada para a realização de testes dentro da AEM;



Figura 6 – Área Exclusiva para Manutenção – AEM.

As ações direcionadas a operação foram às seguintes:

- instalação de células de carga a fim de se evitar sobrecarga nos equipamentos;
- instalação de sensores anti-colisão;
- instalação de botões de emergência nas alas (Figura 5);
- realização, por um período pré-determinado, de entrevistas diárias com os ponteiros pelo pessoal de manutenção. Estas entrevistas visavam uma análise conjunta sobre as condições de operação das pontes. Após o período determinado, as entrevistas foram substituídas por um *check-list*;
- participação efetiva do pessoal de manutenção no Grupo de Ação e Segurança para Ponte Rolante – GASPROL. Este grupo foi criado pela produção e SESMT com o objetivo de se discutir questões operacionais e de segurança no manuseio de pontes rolantes. A participação da manutenção teve como objetivo o trabalho de conscientização referente às boas práticas de operação e também se conscientizar das necessidades operacionais.



Figura 7 – Sensores instalados na ponte.

3.3.5 Programa para troca de cabo de aços

O uso freqüente de cabos de aço em equipamentos de elevação se dá pelas vantagens que apresenta, como por exemplo: leveza, absorção de solavancos e operação silenciosa mesmo em alta velocidade.⁽¹⁰⁾ Porém, como todo elemento de máquina, os cabos de aço possuem uma vida limitada, ou seja, sofrerão um processo de deterioração até um ponto onde deverá ser inutilizado. Existem três causas básicas para isto: Abrasão ou desgaste, Corrosão e Fadiga.⁽¹¹⁾ Como estas causas são inerentes do processo e não podem ser eliminadas,⁽¹¹⁾ torna a inspeção dos cabos de aço uma ferramenta de vital importância para uma vida útil adequada e segura.⁽¹²⁾

Tanto os fornecedores de cabo de aços,^(12,13) como a norma ISO 4309⁽¹⁴⁾ dividem as inspeções em duas fases: Inspeções freqüentes, realizadas diariamente pelo operador, e inspeção periódica, realizada com periodicidade pré-definida por profissional qualificado. Na inspeção freqüente o operador procura detectar os danos mais comuns, como por exemplo, dobras, amassamentos, pernas e arames rompidos, perna fora de posição etc,⁽¹³⁾ enquanto que na inspeção periódica o profissional qualificado avalia os seguintes aspectos:^(13,14)

- arames rompidos: a norma ISO 4309 apresenta uma tabela onde é definida a quantidade máxima de fios rompidos em um determinado comprimento;

- corrosão: pode ocorrer na parte externa ou interna do cabo, tendo como consequência a diminuição do desempenho e aceleração do processo de fadiga; e
- distorção: dobras, amassamentos, esmagamentos, pernas rompidas etc.

O critério de substituição do cabo irá depender da avaliação do profissional qualificado, não há uma regra precisa que determine o momento exato da troca. Este profissional deverá comparar as condições do cabo inspecionado com critérios determinados por normas ou fabricantes.⁽¹²⁾

Segundo Rudenko⁽¹⁰⁾ a fadiga é um fator importante na vida do cabo e dependendo do número de flexões a que o cabo é submetido o processo de fadiga pode ser acelerado. Esta influência pode ser demonstrada pela equação 2:

$$A = \frac{D}{d} = m\sigma.CC_1C_2 \quad (2)$$

Portanto, se todas as condições de operação do mecanismo de elevação forem conhecidas, pode-se determinar a vida útil do cabo a partir da equação:

$$N = \frac{z_1}{az_2\beta} \quad (3)$$

Sendo:

A= D/d – Relação entre o diâmetro do tambor e o do cabo

m – Fator do número de flexões*

σ - Tensão de tração no cabo*

C – Fator de construção do cabo*

C₁ – Fator do diâmetro do cabo*

C₂–Fator de condições operacionais*

N – Vida do cabo

β – Fator de elevação da carga*

z₁ – Número de flexões permitidas*

z₂ –Flexões repetidas por ciclo*

a –Média de ciclos de trabalho**

* Valor obtido na literatura⁽¹⁰⁾

** Obtido durante o estudo de classificação das pontes

Na Brasmetal Waelzholz o programa de troca de cabo de aço foi definido a partir de três variáveis:

- resultado das inspeções;
- análise do histórico de troca de cada equipamento; e
- troca com base na estimativa da fadiga conforme o método de Rudenko.⁽¹⁰⁾

A análise da fadiga teve início com os dados obtidos durante o estudo de classificação das pontes, durante este estudo foi levantada a curva que relacionava o Número de acionamentos x Carga x Altura de elevação x Tempo de funcionamento. A partir destes dados foi possível a realização dos cálculos e adotado o critério de troca do cabo de aço em função do período de trabalho ou da carga transportada como mostra o gráfico da Figura 8.

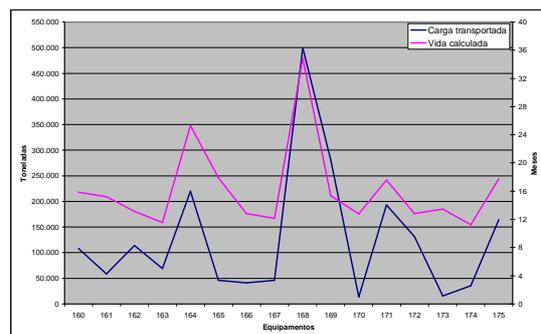


Figura 8 – Vida útil calculada dos cabos de aço.

4 RESULTADOS OBTIDOS

Com a implantação do trabalho obteve-se uma redução de 64% nas horas parada para manutenção não programada, como mostra o gráfico da Figura 9. No gráfico também pode ser observado que a somatória dos tempos parados para preventiva e corretiva em 2008 são menores do que o tempo observado em 2006.

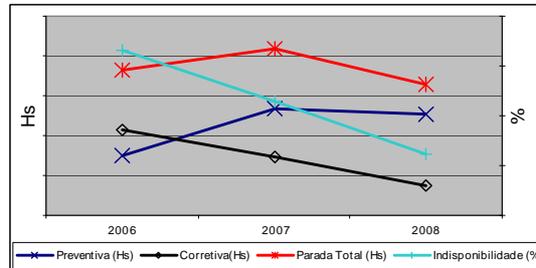


Figura 9 – Evolução das paradas de máquina.

No gráfico da Figura 9, observa-se uma redução de 61% no número de atendimentos não programados (Figura 10), como consequência obtém-se um aumento no MTBF de 237% em relação a 2006 (Figura 11).

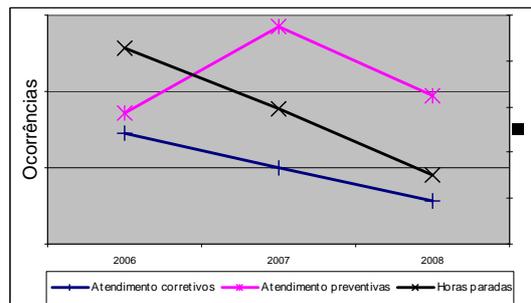


Figura 10 – Número de atendimentos.

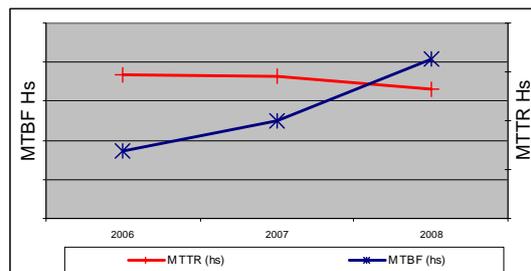


Figura 11 – Evolução do MTBF e MTTR.

Como consequência dos investimentos e da implantação do trabalho, também obteve-se uma redução nos custos de manutenção em relação a 2006, sendo a redução de 74,75% na manutenção não programada e de 31% do custo total somando-se a manutenção preventiva com a não programada (Figura 12).

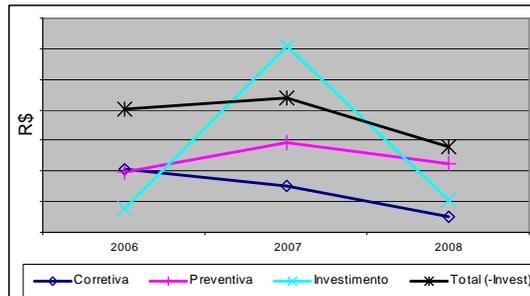


Figura 12 – Evolução dos custos de manutenção.

No gráfico da Figura 13 é apresentado o resultado obtido com a instalação dos inversores de frequência. Os resultados mostram uma redução de 85% nos atendimentos não programados em 2008 se comparado com 2006.

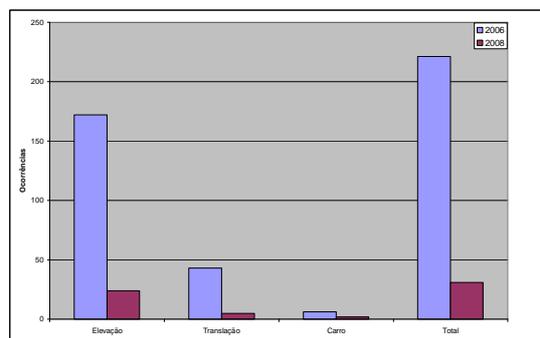


Figura 14 – Evolução das falhas em freios.

No gráfico da figura 15 observam-se os resultados obtidos com a reclassificação de quatro pontes rolantes. Com a reclassificação obteve-se, em 2008, uma redução de 66% nas horas paradas de emergência e um aumento de 170% no MTBF em relação ao ano de 2006.

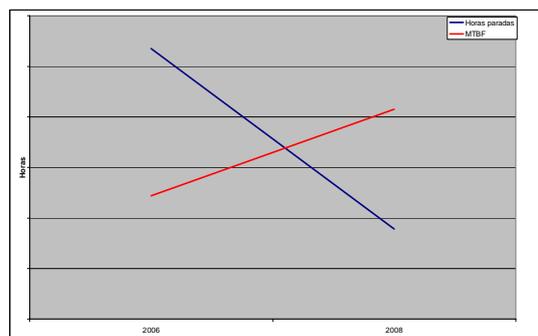


Figura 15 – Evolução da falhas em pontes reclassificadas.

4 CONCLUSÃO

- As técnicas utilizadas, Manutenção Centrada em Confiabilidade e Metodologia para Análise de Problemas, os investimentos realizados e as adequações aos planos de manutenção mostraram-se eficazes. Como mostra a comparação dos resultados obtidos em 2008 com o realizado em 2006:
 - redução de 64% nas horas parada para manutenção não programada;
 - redução de 61% no número de atendimentos não programados;

- aumento de 237% no tempo médio entre falhas; e
- redução de 31% no custo total de manutenção.
- A metodologia utilizada para o controle dos cabos de aço tem se mostrado eficiente, visto que:
 - no ano de 2008 não ocorreram quebras de cabos de aço;
 - todas as trocas realizadas ou foram feitas dentro da programação ou foram feitas com base nos resultados obtidos na inspeção; e
 - para todos os casos em que a troca foi feita com base na inspeção foi identificada a causa que levou ao desgaste prematuro.
- Foi observada a eficiência do uso dos inversores de frequência, no que se diz respeito à vida útil dos freios, principalmente no sistema de elevação. Os resultados obtidos em 2008 mostram uma redução de 86% nas ocorrências com os freios de elevação se comparados a 2006. A eficiência dos inversores pode ser comprovada pelo seguinte fato: 70% das ocorrências em 2008 se deram em uma ponte que não possui inversores no sistema de elevação.
- A adequação da ponte rolante a atividade executada é importante para o seu desempenho, isto pode ser concluído com base no trabalho de reclassificação das pontes, onde se observou uma redução de 66% nas paradas e um aumento de 170% no tempo médio entre falhas dos quatro equipamentos reclassificados.

REFERÊNCIAS

- 1 MOUBRAY, J. **Reliability-centred Maintenance**. 2.ed London: Butterworth & Heinemann, 1997
- 2 LEÃO, D. **Apostila: Metodologia para análise e solução de problemas**. Material didático de apoio ao curso ministrado na Brasmetal Waelzholz, Diadema, 2006
- 3 NAGAO, S.K. **Workshop: Pro Active RCM³/MCC³**, Material didático de apoio ao curso, São Paulo, 2007
- 4 ROCHA, L.F.R.; Veloso, M.A. **Revisão Estratégica de Manutenção Utilizando a Ferramenta SRCM[®]**. In: 8º Seminário Brasileiro de Confiabilidade na Manutenção, São Paulo, Out. 2006.
- 5 SILVA, A.B. **Programa de inspeção para ponte rolante baseado em risco**. 2004. 203 f. Dissertação (mestrado em engenharia mecânica) PUC, Rio de Janeiro, 2004
- 6 TAMASAUSKAS, A. **Metodologia do projeto básico de equipamento de manuseio e transporte de cargas- ponte rolante- Aplicação não siderúrgica**. 2000. Dissertação (mestrado em engenharia mecânica) USP, São Paulo, 2000
- 7 NBR 8400. **Cálculo de Equipamentos para levantamento e movimentação de cargas**, ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, São Paulo, 1984
- 8 AHMED, A. **Eletrônica de potência**. 1. ed. São Paulo: Editora Pearson Brasil, 2000.
- 9 BRANCO FILHO, G. **Indicadores e Índices de Manutenção**. Editora Ciência Moderna Ltda, Rio de Janeiro, 2006
- 10 RUDENKO, N. **Máquinas de elevação e transporte**. Tradução de João Plaza. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1976.
- 11 GEVISA. **Manual de operação e manutenção de ponte rolante**. 2005
- 12 CIMAF. **Catálogo**. São Paulo, 2004.
- 13 NEADE. **Guia do Usuário Neade**. São Paulo
- 14 NBR ISO 4309. **Equipamento de Movimentação de carga – Cabos de aço – Cuidados, manutenção, instalação, inspeção e descarte**. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, São Paulo, 2007