

FACULDADE PITÁGORAS
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO

MONITORAMENTO PREDITIVO EM ROLAMENTOS DE RODAS
MOTORIZADAS DOS CAMINHÕES DIESEL-ELÉTRICOS

ROGÉRIO FONSECA DE SOUZA

BELO HORIZONTE
2011

ROGÉRIO FONSECA DE SOUZA

MONITORAMENTO PREDITIVO EM ROLAMENTOS DE RODAS MOTORIZADAS DOS CAMINHÕES DIESEL-ELÉTRICOS

Monografia apresentada ao curso MBA em Gestão Estratégica da Manutenção Produção e Negócios ministrado pela Faculdade Pitágoras em convênio com o Instituto de Capacitação e Aperfeiçoamento Profissional ICAP / Instituto de Tecnologia de São João del Rei como pré-requisito parcial para obtenção do título de Pós-graduação em Gestão Estratégica da Manutenção Produção e Negócios.

Orientador: Prof. Dr. Evaldo Khater

BELO HORIZONTE
FACULDADE PITÁGORAS - NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO
2011

Dedicatória

Dedico esta monografia aos meus pais e demais familiares, a minha esposa Vanessa, aos colegas de curso, aos professores e a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para este feito.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por me proporcionar saúde e tranquilidade para desenvolver meu trabalho. Agradeço a minha esposa pelo amor, dedicação e compreensão pelo tempo que dediquei ao estudo nos finais de semana. Aos meus pais pela confiança, incentivo e todas as possibilidades a mim oferecidas. A todos aqueles que nos proporcionaram conhecimentos e questionamentos durante o curso, e aos colegas que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

ROGÉRIO FONSECA DE SOUZA

MONITORAMENTO PREDITIVO EM ROLAMENTOS DE RODAS
MOTORIZADAS DOS CAMINHÕES DIESEL-ELÉTRICOS

Trabalho de conclusão do curso de MBA – Gestão Estratégica da Manutenção Produção e Negócios, da Faculdade Pitágoras em convênio com o Instituto de Capacitação e Aperfeiçoamento Profissional ICAP / Instituto de Tecnologia de São João Del Rei apresentado como requisito parcial à obtenção do título.

Aprovado em ___/___/2011

Composição da Banca de defesa:

Prof. Dr. Evaldo Khater
Orientador

Prof. Membro

Prof. Membro

Sumário

Lista de Figuras	7
Lista de Tabelas	8
Resumo	9
1. Introdução	10
1.1. Mineração Casa de Pedra	10
1.2. Engenharia de Manutenção	15
1.3. Manutenção Preditiva	16
1.3.1. Principais Técnicas de Manutenção Preditiva.....	17
1.3.2. Análise de Vibração.....	19
1.4. Caminhão Fora de Estrada	19
2. Objetivos	23
3. Metodologia PDCA	24
3.1. Identificação do Problema	24
3.2. Ações Realizadas	26
3.3. Análise dos Dados	28
3.3.1. Caso de Sucesso.....	29
4. Resultados	32
5. Conclusão	33
7. Referências Bibliográficas	34

Lista de Figuras

<i>Figura 1 – Vista de Mineração Casa de Pedra.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 2 – Localização da mineração tendo como referência o Brasil.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 3 – Pontos logísticos da Companhia Siderúrgica Nacional.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 4 – Complexo de distribuição da produção da Mineração Casa de Pedra.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 5 – Fluxograma simplificado do processo produtivo da Mineração Casa de Pedra.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 6 – Processos da Engenharia de Manutenção.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 7 – Caminhão fora de estrada Bucyrus MT 4400AC.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 8 – Dimensional do caminhão Bucyrus MT 4400AC.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 9 – Vista em corte da roda motorizada.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 10 – Ilustração do sistema de tração do caminhão Bucyrus MT 4400AC.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 11 – Fluxograma simplificado da metodologia aplicada.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 12 – Detalhe da roda que sofreu falha catastrófica.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 13 – Vista em 3D da roda com detalhe para o rolamento monitorado.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 14 – Vista em corte do rolamento.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 15 – Equipamento utilizado nas medições.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 16 – Procedimento de coleta de vibração no equipamento.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 17 – Espectro de vibração I.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 18 – Espectro de vibração II.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 19 – Detalhe da falha na pista interna do rolamento.....</i>	<i>31</i>

Lista de Tabelas

<i>Tabela 1 – Técnicas preditivas.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabela 2 – Comparativo dos impactos entre corretiva e preventiva.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabela 3 – Mapeamento dos rolamentos substituídos.....</i>	<i>32</i>

Resumo

A Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) é um dos maiores e mais competitivos complexos siderúrgicos integrados da América Latina. Possui o menor custo de produção e uma das maiores margens EBITDA da siderurgia mundial, singular vantagem competitiva que a torna uma das dez empresas de maior valor de mercado do setor. Auto-suficiente em minério de ferro e energia elétrica, atua de forma realmente integrada em toda cadeia produtiva do aço, composto por mina, ferrovia e porto.

A Mineração Casa de Pedra, situada na cidade mineira de Congonhas, é responsável por suprir integralmente a demanda de minério de ferro da Usina Presidente Vargas, e ainda comercializa seus produtos nos mercados interno e principalmente externo. A produção atual é de 24 milhões de toneladas por ano, devendo ser ampliada para 50 milhões de toneladas até 2013.

Para atender a crescente demanda mundial por minério de ferro, o ritmo de produção na Mineração Casa de Pedra é intenso. São utilizados equipamentos de grande porte, do tipo fora-de-estrada, como caminhões, escavadeiras e carregadeiras. Estes equipamentos devem estar cada vez mais confiáveis e disponíveis para a operação

Este trabalho propõe a utilização da técnica preditiva de análise de vibração para detecção de falhas prematuras em rolamentos de rodas motorizadas de corrente alternada utilizada nos caminhões fora-de-estrada Diesel-Elétricos Bucyrus MT4400AC com capacidade de carga de 240 toneladas.

Através da análise de vibração é possível prever defeitos no rolamento antes que este se manifeste à inspeção sensitiva, oferecendo flexibilidade para planejamento de intervenções e evitando falhas catastróficas, o que impacta diretamente no custo da manutenção e na disponibilidade física dos equipamentos, prejudicando diretamente o plano de produção da Mineração.

Palavras-chave: Caminhão fora-de-estrada, análise de vibração, manutenção preditiva, rodas motorizadas.

1. Introdução

1.1 Mineração Casa de Pedra

A Mineração Casa de Pedra teve início de suas atividades no século XX, em 1913 cujos Processos de Lavra eram Manuais e o dono era o empresário Sr. A. Thun. Após o final da “Segunda Guerra Mundial” o Governo Federal fundou a estatal, “CSN - COMPANHIA SIDERÚGICA NACIONAL em 09 de Abril de 1941” denominada UPV (USINA PRESIDENTE VARGAS).



Figura 1 – Vista da Mineração Casa de Pedra.

Passados 28 anos de atividades mineiras da Mineração Casa de Pedra a mesma foi encampada pela CSN a fim de se tornar auto-suficiente em Minério de Ferro para consumo próprio. Em consequência da encapada da Mineração Casa de Pedra o governo federal reestruturou a CSN em 1990 e em consequência da

reestruturação a estatal foi estrategicamente privatizada em consonância com a política – econômica governamental do período de 1993.

Com relação ao setor estratégico a Mineração Casa de Pedra se encaixa no Setor de infra-estrutura auto-suficiente em minério de ferro (Mineração Casa de Pedra – Congonhas – Mg), calcário e dolomito (Pedreira da Bocaina – Arcos – MG). Os insumos extraídos destas duas minas são fundamentais e necessários para o consumo no processo siderúrgico da UPV.

A mineração Casa de Pedra é responsável pelo suprimento integral de minério de ferro para a CSN; produz granulados, sinter feed, pellet feed e hematitinha, de elevado teor de ferro e ótimas propriedades físicas. As reservas minerais de Casa de Pedra são expressivas, com alto teor de pureza (de até 68%) e classificação do tipo World Class Mine, e foi uma das primeiras a receber a certificação ISO 14001 no Brasil, no final de 2001.

A mineração Casa de Pedra tem recursos auditados de mais de 4,4 bilhões de toneladas de minério de ferro de excelente qualidade. Sua capacidade atual de produção é de 24 milhões de toneladas de produto final.

O objetivo do projeto de ampliação de Casa de Pedra é melhorar o aproveitamento e alongar a vida útil da jazida. A meta da CSN é aumentar a capacidade produtiva de minério de ferro para 53 milhões de toneladas/ano.

A Mineração Casa de Pedra situa-se na região Sudeste do Brasil, no Estado de Minas Gerais. Localizada no município de Congonhas, a 80Km ao Sul de Belo Horizonte, no Quadrilátero Ferrífero. A região abriga cidades de porte médio tal como Conselheiro Lafaiete e Ouro Branco.

Na Figura 6, tem-se a localização do ponto de vista nacional, bem como a distância aos principais portos e mercados nacionais.

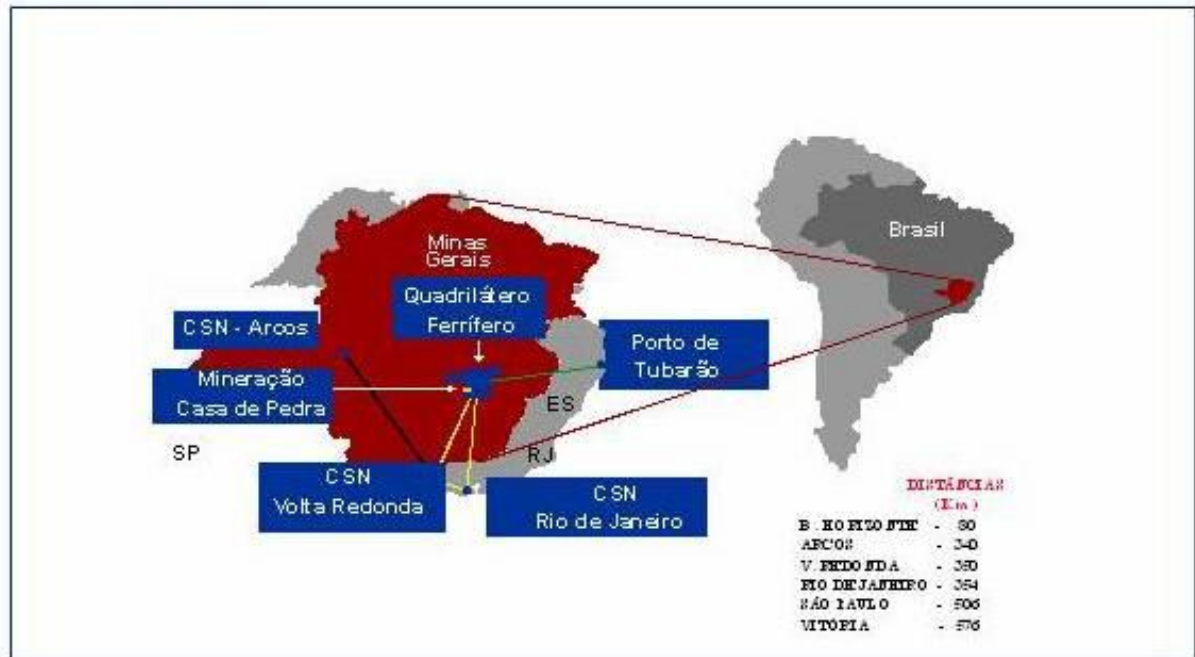


Figura 2 – Localização da mineração tendo como referência o Brasil

Nas figuras abaixo, tem-se o mapa industrial das filiais da CSN no Brasil, bem como os principais portos e pontos estratégicos por onde se dá o escoamento da produção, e o recebimento de matérias primas e equipamentos vindos de outros países.

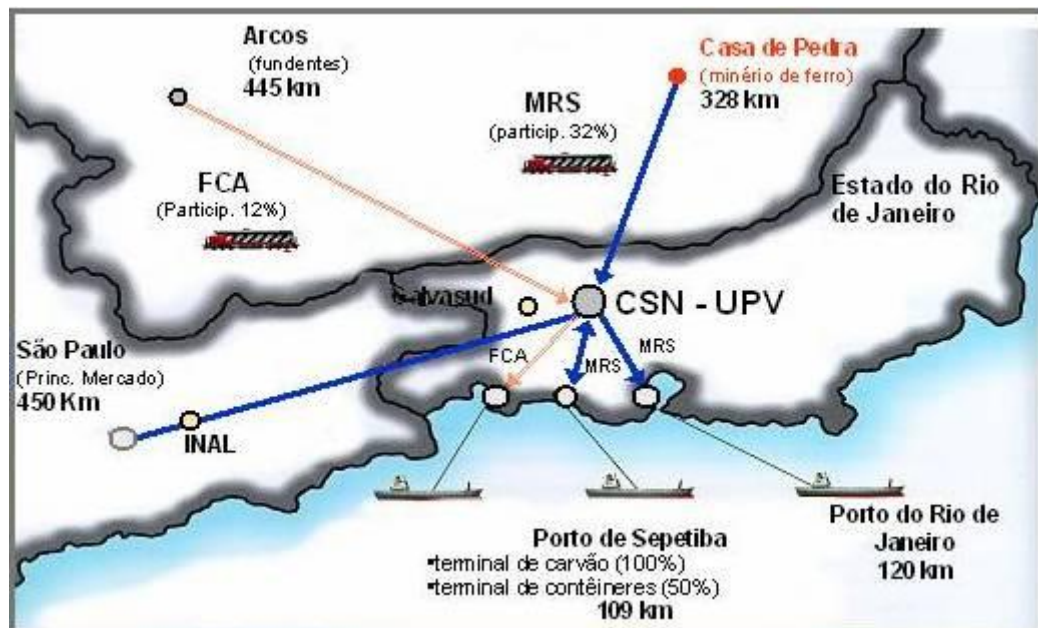


Figura 3 – Pontos logísticos da Companhia Siderúrgica Nacional.

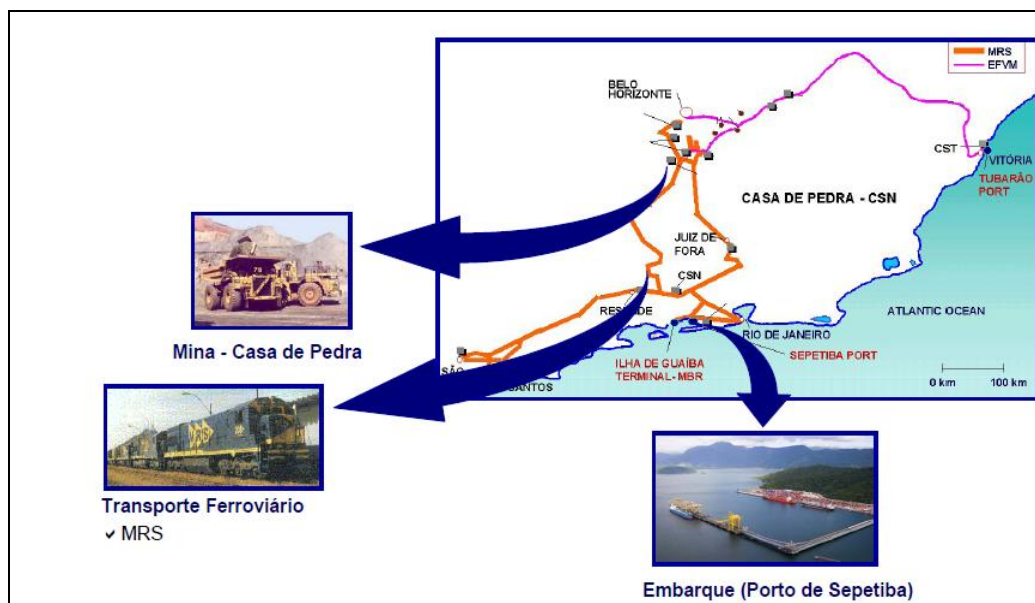


Figura 4 – Complexo de distribuição da produção da Mineração de Casa de Pedra.

Nos complexos minerários, o método de lavra é a céu aberto, com bancadas de 15 metros de altura e operações de perfuração, detonação, carregamento e transporte de minério. A operação de carregamento é efetuada com escavadeiras a cabo e hidráulicas e pás mecânicas. O transporte até as unidades de britagem é efetuado através de caminhões fora de estrada. Atualmente a planta está em processo de expansão passando sua produção de 16 para 53 milhões de toneladas até no final do ano de 2010.

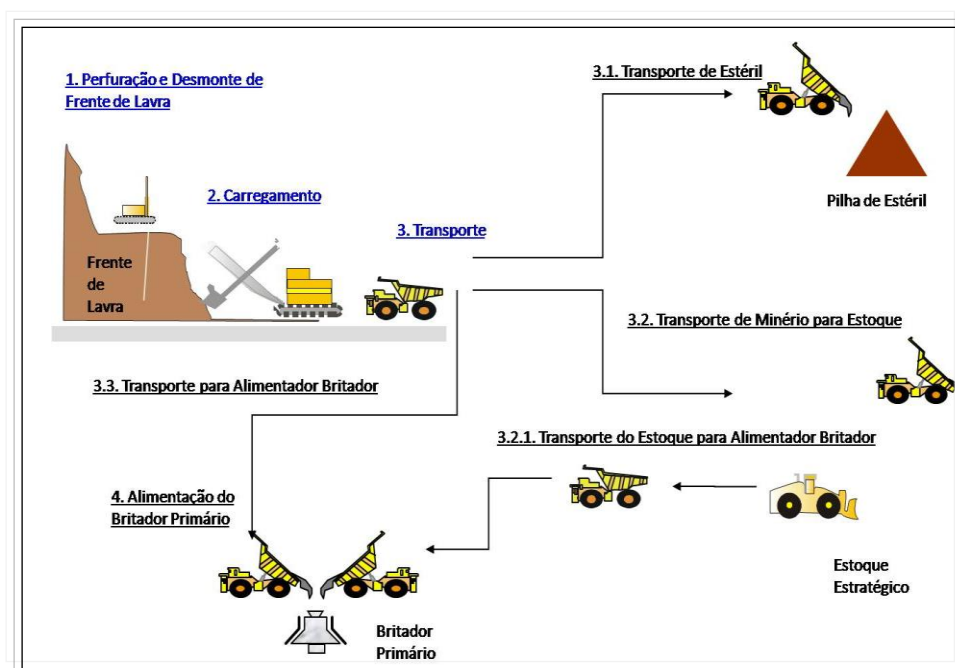


Figura 5 – Fluxograma simplificado do processo produtivo da Mineração Casa de Pedra.

A Companhia Siderúrgica Nacional produz uma variada gama de produtos de minério de ferro: pellet feed, sinter feed, granulado e hematitinhas e num futuro bem próximo pelotas. O minério de ferro se apresenta basicamente na forma bruta ou beneficiada. O minério bruto é comercializado granulado ou bitolado (acima de 6,3 mm). O beneficiado pode ser classificado conforme a granulometria: pellet feed (de 0 a 0,15 mm) e sinter feed (entre 0,15 e 6,3 mm) Na usina de Pelotização, o pellet feed é transformado em pelotas, com o tamanho médio de 11,5 mm de diâmetro.

Os produtos de minério de ferro são definidos pelos teores de ferro (Fe), de impurezas (SiO₂, Al₂O₃, P, PPC, etc.), e pelas classes de frações granulométricas. Isso requer um alto nível de controle nas etapas de peneiramento e classificação, mesmo para minérios de alto teor de Fe e baixo nível de impurezas, atendendo assim, às exigências do mercado. É fundamental que todas as etapas do processamento sejam devidamente dimensionadas e controladas em função dos volumes processados, de modo a minimizar os custos e assegurar a qualidade dos produtos.

O alto teor do minério de ferro de Casa de Pedra permite que uma parcela expressiva dos produtos seja gerada apenas por etapas de britagem e classificação, o restante, faz-se necessária a concentração de determinadas frações do minério para a geração de produtos (sinter feed e pellet feed) que atendam às especificações cada vez mais rígidas dos clientes. Os fluxogramas das instalações de beneficiamento do minério compõem-se, basicamente, de etapas de britagem, classificação e concentração (por separação magnética de alta intensidade e/ou flotação e métodos gravíticos: jigagem e espirais).

Os produtos da CSN são fabricados dentro dos mais elevados padrões de qualidade e características conforme as principais normas nacionais e internacionais de controle (ABNT, NT CSN, NBR, NM, SAE, ASTM, API, EN, DIN, BS, SEW, JIS e AS) e as certificações ISO 9000 (versão 2002) e ISO 14000. A CSN busca atender outras normas técnicas mediante consulta, quando necessário.

1.2 Engenharia de Manutenção

A manutenção deixou de ser, nas últimas décadas, uma simples atividade de reparo para se tornar um meio essencial ao alcance dos objetivos e metas da organização. Coloca-se estrategicamente como parte fundamental do processo produtivo em um ambiente onde, cada vez mais, se utilizam equipamentos de última geração, com os mais modernos sistemas mecânicos e eletro-eletrônicos, alto custo e exigências elevadas quanto ao nível da manutenção. Equipamentos parados em momentos inoportunos comprometem a produção e podem significar perdas irre recuperáveis num ambiente altamente competitivo.

Qualquer equipamento, do mais simples, ao mais sofisticado, apresenta durante seu período de vida útil, problemas inesperados causados por defeitos de fabricação, por manuseio incorreto e mesmo por manutenção deficiente. Problemas estes, às vezes pequenos, mas se não reparados no momento correto podem ter conseqüências gravíssimas causando prejuízos muito além do previsto.

Hoje, tem-se a Manutenção como função estratégica para que as organizações sejam eficazes. Antigamente, a manutenção era considerada como um mal necessário. Hoje, é considerada investimento, pois é a responsável pela operação dos equipamentos junto com a equipe de operação.

Para que a empresa caminhe rumo a excelência empresarial, a manutenção, além de não permitir que o equipamento falhe, deve ter custo ideal, para que a empresa obtenha lucro sobre o produto final.

Um dos aspectos identificados nos eventos envolvendo as áreas de manutenção da empresa foi a necessidade de padronização da atribuição das Engenharias de Manutenção da CSN.

Atendendo a essa demanda, foi estabelecido o papel da Engenharia de Manutenção, em um trabalho conjunto com o comitê de Engenharia de Manutenção, com representantes de todas as áreas.

A abrangência da Engenharia de Manutenção objetiva nortear a estruturação das Engenharias de Manutenção na empresa, pilar fundamental para atingir a excelência, conforme mostrado na Figura 2.



Figura 6 – Processos da Engenharia de Manutenção

1.3 Manutenção Preditiva

Manutenção preditiva é a atuação realizada com base na modificação de parâmetro de condição ou desempenho do equipamento, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática. A manutenção preditiva pode ser comparada a uma inspeção sistemática para o acompanhamento das condições dos equipamentos.

É conhecida também como manutenção sob condição ou Manutenção com base no estado do equipamento (Condition Based Maintenance).

O termo associado á Manutenção preditiva é o de PREDIZER. Esse é o grande objetivo da Manutenção preditiva: Predizer (ou prevenir) as falhas nos equipamentos ou sistemas através de acompanhamento dos diversos parâmetros, permitindo a operação contínua pelo maior tempo possível. Ou seja, a Manutenção preditiva privilegia a DISPONIBILIDADE á medida que não promove intervenções nos equipamentos em operação.

Além disso, a intervenção só é decidida quando os parâmetros acompanhados indicam sua real necessidade, ao contrário da Manutenção Preventiva que pressupõe a retirada do equipamento de operação baseada no tempo de operação.

Quando o grau de degradação se aproxima ou atinge o limite previamente estabelecido, é tomada a decisão de intervenção. Isto permite uma preparação prévia do serviço, além de outras decisões alternativas relacionadas com a produção.

A monitoração objetiva é o acompanhamento feito através de equipamentos ou instrumentos específicos. É objetiva, pois:

- Fornece um valor de medição do parâmetro que está sendo acompanhado;
- O valor medido independe do operador do instrumento, desde que utilizado o mesmo procedimento.

Em situações onde o tempo de desenvolvimento do defeito é muito curto e/ou em equipamentos de alta responsabilidade, adota-se o monitoramento contínuo. Nos demais equipamentos ou onde o defeito pode ser acompanhado ou ainda onde a falha não impacta a continuidade operacional, adota-se um plano de medições periódicas, sendo a frequência, função da importância do equipamento ou do histórico do equipamento.

1.3.1 Principais técnicas de manutenção preditiva

Em termos práticos, uma técnica de Manutenção preditiva deve atender aos seguintes requisitos:

- Permitir a coleta de dados com o equipamento em funcionamento, ou com o mínimo de interferência possível no processo de produção.
- Permitir a coleta dos dados que possibilitem a análise de tendência.

Algumas técnicas de Ensaio Não Destrutivo (END), listadas na tabela, só podem ser aplicadas com o equipamento fora de operação, o que invalidaria a condição de que as técnicas preditivas são aplicáveis com o equipamento em funcionamento. Para melhor visualização considerar que as técnicas listadas nos quadros em laranja são aplicáveis com o equipamento em operação enquanto as

contidas nos quadros verdes dependem (em geral) da retirada do equipamento de operação para sua realização. Neste artigo serão abordadas apenas as técnicas preditivas que podem ser aplicadas com os equipamentos em operação.

Radiações ionizantes Raios X Gamagrafia	Energia Acústica Ultra-som, Emissão Acústica
Energia eletromagnética Partículas magnéticas Correntes parasíticas	Fenômenos de viscosidade (Líquidos penetrantes)
Inspeção visual Endoscopia ou Boroscopia	Análise de Vibrações Nível global, Espectro de vibrações
Detecção de vazamentos	Pulso de choque
Análise de Óleos lubrificantes ou isolantes Viscosidade, Número de Neutralização Acidez ou Basicidade, Teor de água Insolúveis, Contagem de partículas Metais por Espectrometria por Infravermelho Cromatografia gasosa, Tensão Interfacial, Rigidez Dielétrica, Ponto de Fulgor	Análise de temperatura – Termometria Termometria convencional Indicadores de temperatura Pirometria de radiação Termografia
Ferrografia Ferrografia quantitativa Ferrografia analítica	Verificações de geometria Metrologia convencional Alinhamento de máquinas rotativas
Ensaio Elétricos Corrente, Tensão, Isolação Perdas Dielétricas, Rigidez Dielétrica, Espectro de corrente ou tensão	Forças Células de carga, Teste de pressão Teste hidrostático, Teste de vácuo, Detecção de trincas

Tabela 1 – Técnicas preditivas

1.3.2 Análise de vibração

O acompanhamento e a análise de vibração tornaram-se um dos mais importantes métodos de predição na indústria tendo a sua maior aplicação em equipamentos rotativos (bombas, turbinas, redutores, ventiladores, compressores).

O estágio atual de desenvolvimento dos instrumentos, sistemas de monitoração e softwares especialistas é muito avançado, o que vem permitindo, por exemplo, que outras variáveis, além da vibração, sejam acompanhadas simultaneamente pelos mesmos instrumentos. Alguns dos principais instrumentos para medição e monitoração de vibração estão mostrados a seguir:

- **Analisador de vibração:** São os aparelhos para medição de vibração mais simples existentes no mercado. São capazes de medir deslocamento e velocidade de vibração. Alguns modelos possuem filtros que permitem ajustar a medição da característica de vibração para uma determinada frequência.
- **Coletor/analizador de dados:** São instrumentos que oferecem uma variedade muito grande de recursos incluindo interface com softwares especialistas. Além de medir variáveis relacionadas à vibração, aceitam diversos outros parâmetros como temperatura, corrente elétrica e variáveis de processo.

Estes instrumentos são a base de trabalho de um programa de monitoramento de máquinas rotativas em indústrias cuja quantidade de equipamentos justifique sua aquisição. São capazes de fornecer as seguintes informações: espectro de vibração, espectro de corrente (motores elétricos), forma de onda, nível global de vibração e temperatura, dentre outros.

1.4 Caminhão fora de estrada

A frota de caminhões fora-de-estrada Bucyrus MT4400 é composta hoje por 13 caminhões com capacidade de carga de 240 (duzentas e quarenta) toneladas, e eles são utilizados em Casa de Pedra para o transporte do minério no interior da mina.



Figura 7 – Caminhão fora de estrada Bucyrus MT 4400AC

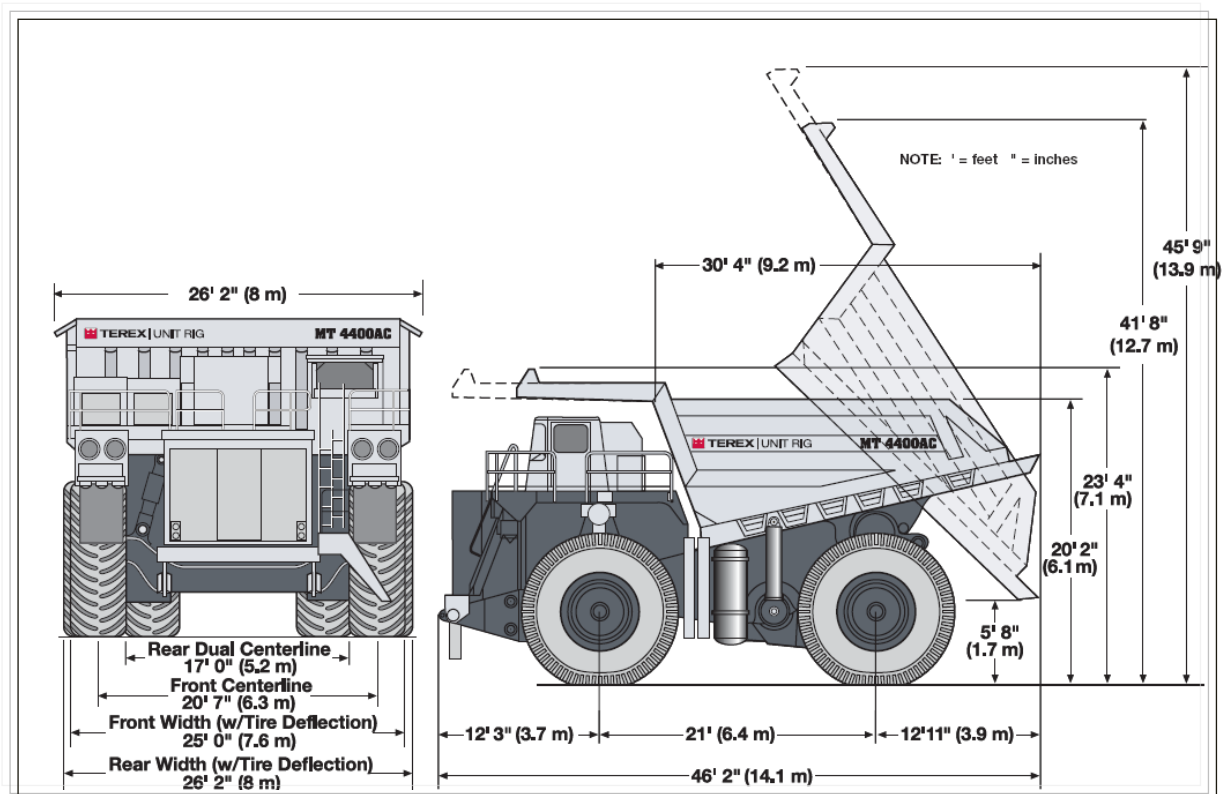


Figura 8 – Dimensional do caminhão Bucyrus MT 4400AC.

O sistema de propulsão do caminhão diesel elétrico é composto basicamente de um motor diesel, um gerador, um painel de controle e duas rodas motorizadas de fabricação. Todo o sistema elétrico de tração é de fabricação da *General Electric*

O motor diesel fornece potência para o gerador, que por sua vez transforma a energia mecânica em energia elétrica, alimentando os motores (rodas motorizadas), que convertem a energia elétrica novamente em energia mecânica, fornecendo torque e velocidade para que o caminhão possa locomover.

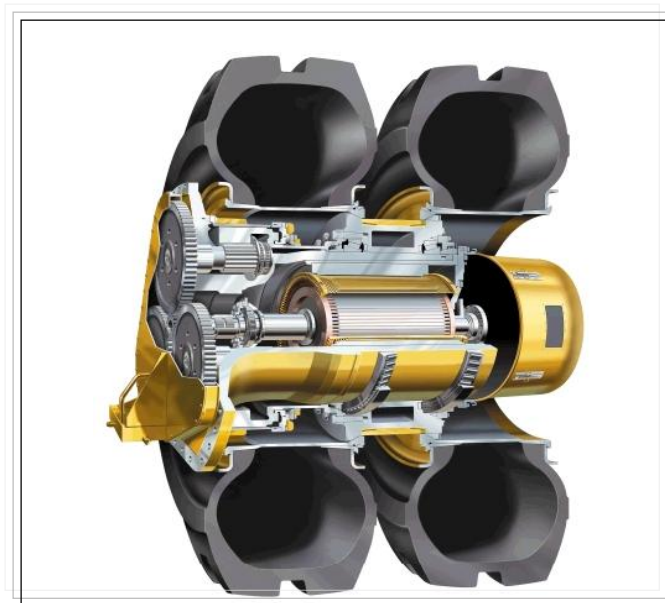


Figura 9 – Vista em corte da roda motorizada.

A função da roda motorizada é converter a energia elétrica gerada pelo gerador ou alternador de tração em energia mecânica, movimentando, assim, o caminhão. A rotação e o torque do motor elétrico são transmitidos até os pneus através de um conjunto mecânico de dupla redução. Este conjunto mecânico é composto de um pinhão-sol solidário ao eixo da armadura do motor, três engrenagens e pinhões planetários e um tubo de torque com engrenagem interna.

A variação de potência do caminhão é obtida variando-se o fluxo de corrente nos motores. A inversão de rotação é obtida através da inversão do fluxo de corrente nos campos.

Cada equipamento possui 02 (duas) rodas motorizadas, que são as traseiras, logo o universo de rodas da frota MT 4400AC são de 26 (vinte e seis) rodas.

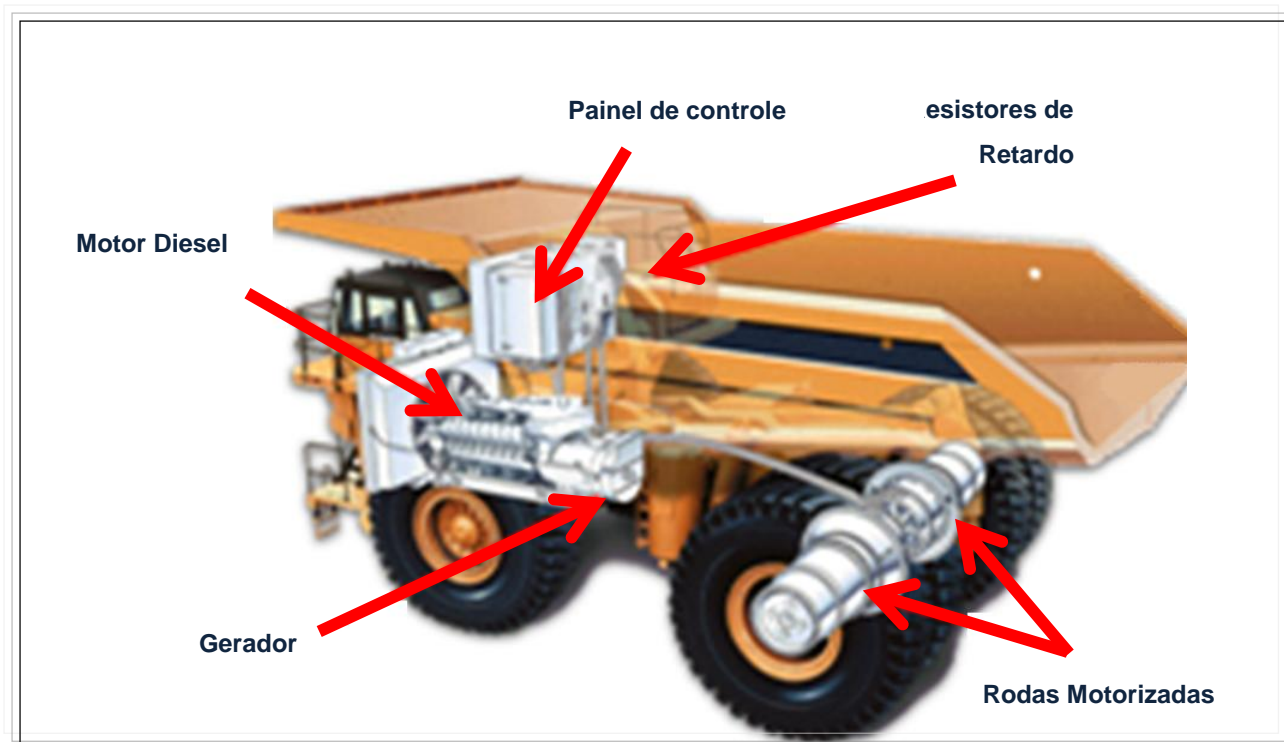


Figura 10 – Ilustração do sistema de tração do caminhão Bucyrus MT 4400AC

2. Objetivos

O objetivo do trabalho é a utilização da técnica preditiva de análise de vibração para detecção de falhas potenciais nas rodas motorizadas dos caminhões a fim de se evitar corretivas e danos que oneram bastante no custo de reforma do componente.

Com a detecção preditiva da falha é possível atuar no equipamento em um momento apropriado, disponibilizar todos os recursos como, mão de obra, suprimentos e infra-estrutura necessários para a execução da manutenção antes da parada do equipamento e ainda reduzir consideravelmente o custo do reparo.

3. Metodologia PDCA

3.1 Identificação do problema

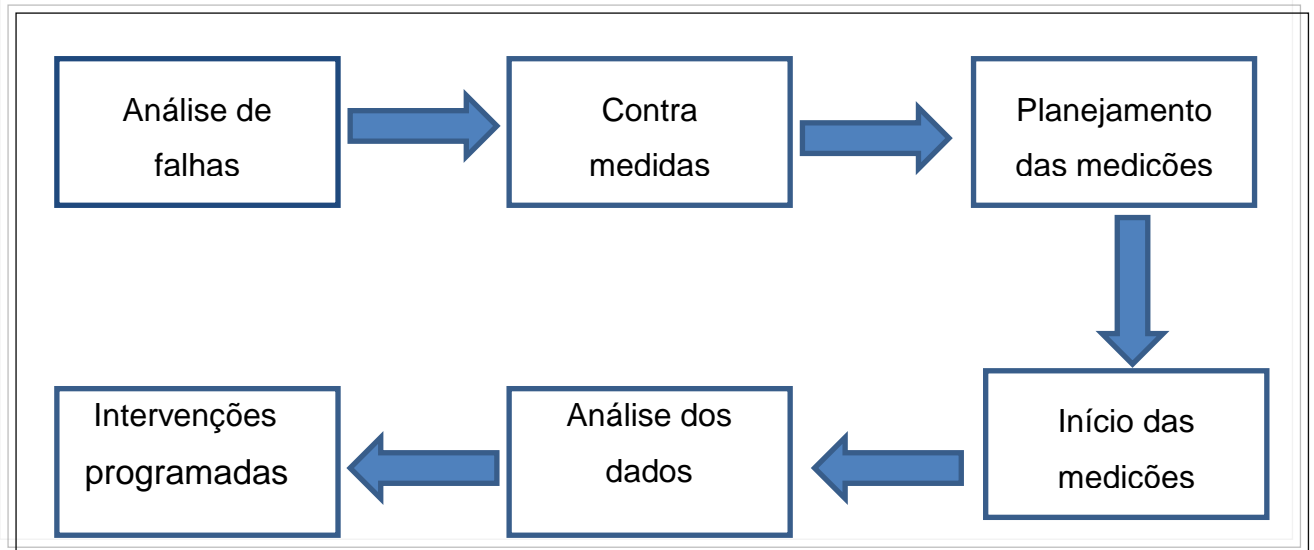


Figura 11 – Fluxograma simplificado da metodologia aplicada

Após alguns meses do início de operação do equipamento em questão, aconteceram duas falhas catastróficas nas rodas motorizadas, causando com isso um grande impacto na disponibilidade física dos equipamentos de transporte.

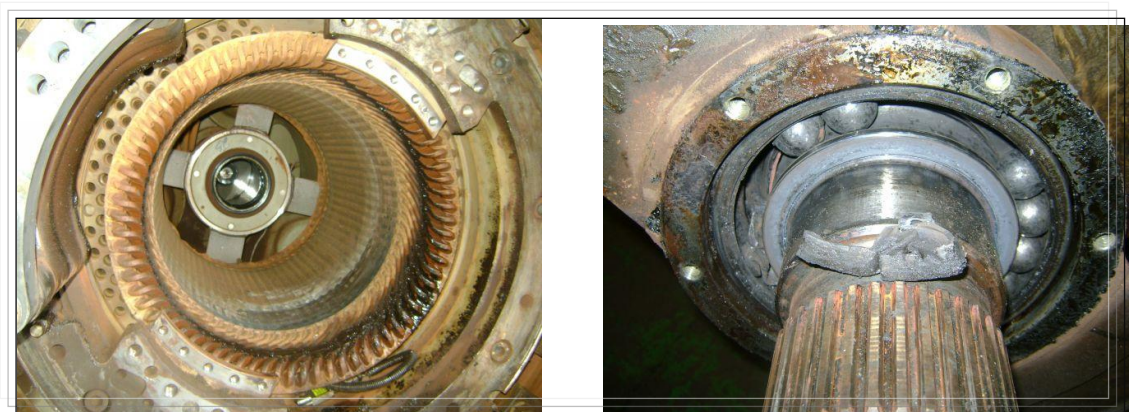


Figura 12 – Detalhe da roda que sofreu falha catastrófica

Para a detecção da principal causa de falhas nos rolamentos dos caminhões, foi realizada a pesquisa, coleta de dados e consolidação de informações referentes a ocorrências de manutenção corretiva. A partir destas informações foi realizada uma análise de falha para identificação da causa fundamental.

Como conclusão da análise de falha do componente que falhou, foi identificado que a causa da falha foi a quebra do rolamento da armadura (rotor) da roda motorizada.

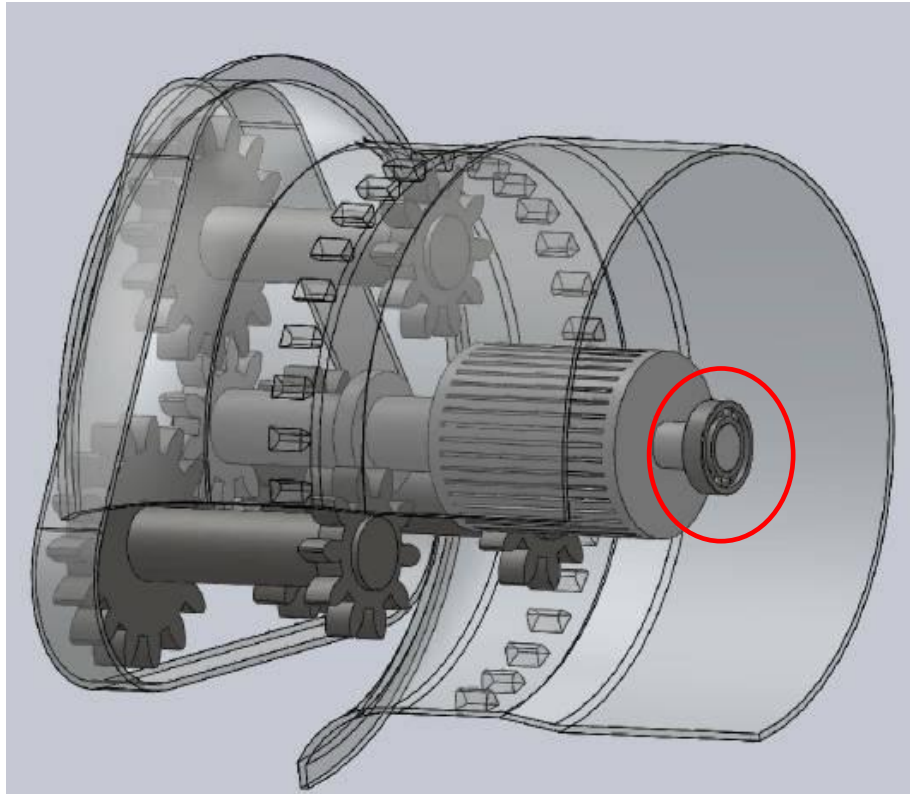


Figura 13 – Vista em 3D da roda com detalhe para o rolamento monitorado

Um rolamento é um dispositivo que permite o movimento relativo controlado entre duas ou mais partes. Serve para substituir a fricção de deslizamento entre as superfícies do eixo e do mancal por uma fricção de elementos rolantes. Compreendem os chamados corpos rolantes, como bolas, rodízios, etc., os anéis que separam os elementos rolantes (gaiola) e a caixa interposta entre os anéis. Todos estes elementos são de aço combinado com cromo e as suas dimensões estão submetidas a um sistema de normalização.

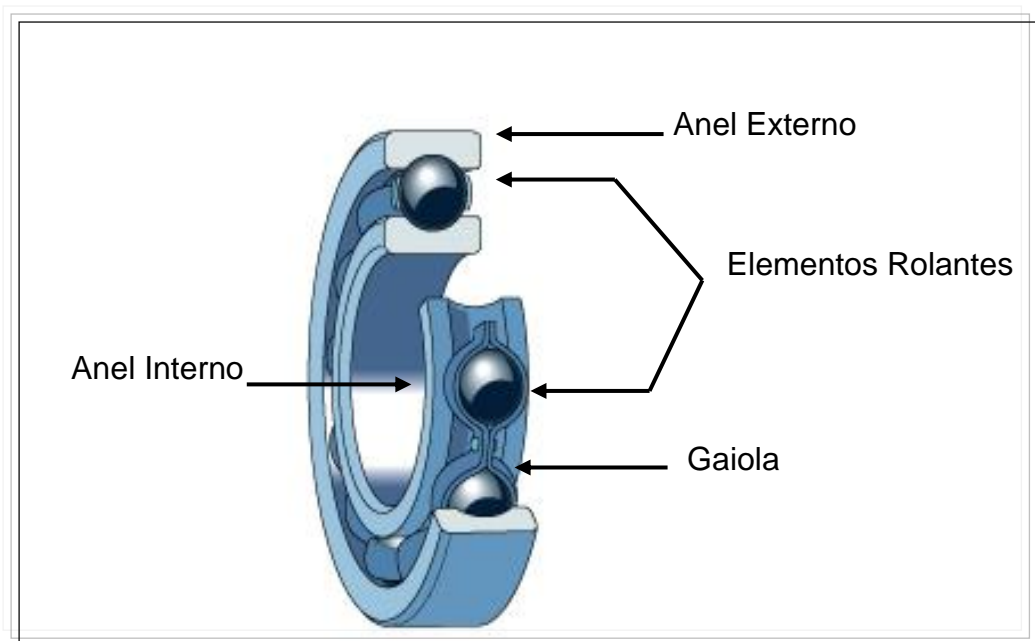


Figura 14 – Vista em corte do um rolamento

3.2 Ações realizadas

Foi decido então, monitorar estes rolamentos das rodas motorizadas através de análise de vibração, que é uma técnica bastante assertiva para análise de vibração em rolamentos. As medições tiveram o início em agosto do ano de 2010.

Para o desenvolvimento da atividade foi criado o procedimento para execução das medições, respeitando todos os quesitos de segurança.

Para execução da coleta e análise dos dados vibracionais nas rodas motorizadas foi necessária a utilização de um aparelho para coleta de dados (FAG Detector III) e um software para análise computacional dos dados (Software Livre FAG Trendline 3.4.2).



Figura 15 – Equipamento utilizado nas medições

O procedimento se resume em desacoplar o sistema de redução do motor elétrico da roda, acoplar o acelerômetro do aparelho de coleta de dados no mancal do rolamento da armadura e configurar o caminhão para que o motor elétrico gire livre (desacoplado do sistema de redução) a 1000 rpm. Nestas condições, a coleta pode ser iniciada.



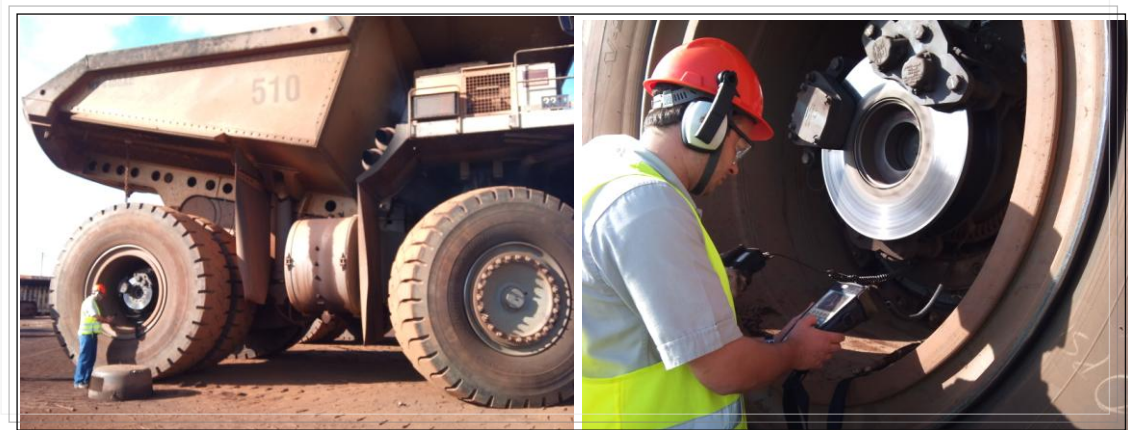


Figura 16 – Procedimento de coleta de vibração no equipamento

Após a criação do procedimento, deu-se início à coleta de dados em todos os caminhões da frota MT4400 AC com periodicidade de 500 horas.

3.3 Análise dos dados

Nesta parte do trabalho, os dados coletados são analisados pela Engenharia de Manutenção. Os valores medidos são comparados com o histórico anterior do equipamento ou até mesmo com os outros equipamentos da frota, obtendo uma tendência dos resultados.

Cada tipo de rolamento possui uma frequência característica das falhas de seus componentes (gaiola, pista externa, pista interna e elementos rolantes), e é através da análise de espectro de frequência, obtido pela transformada de Fourier do sinal de vibração no domínio do tempo, que podemos identificar possíveis danos no rolamento e a origem da avaria.

Os rolamentos analisados neste trabalho são do tipo esférico e modelo 6226. Suas frequências de falha, fornecidas pelo fabricante, são:

Anel externo: $4,12 \times$ frequência de rotação em Hz = 68,68 Hz

Anel interno: $5,88 \times$ frequência de rotação em Hz = 97,96 Hz

Rolamento: $2,75 \times$ frequência de rotação em Hz = 45,84 Hz

Gaiola: $0,41 \times$ frequência de rotação em Hz = 6,83 Hz

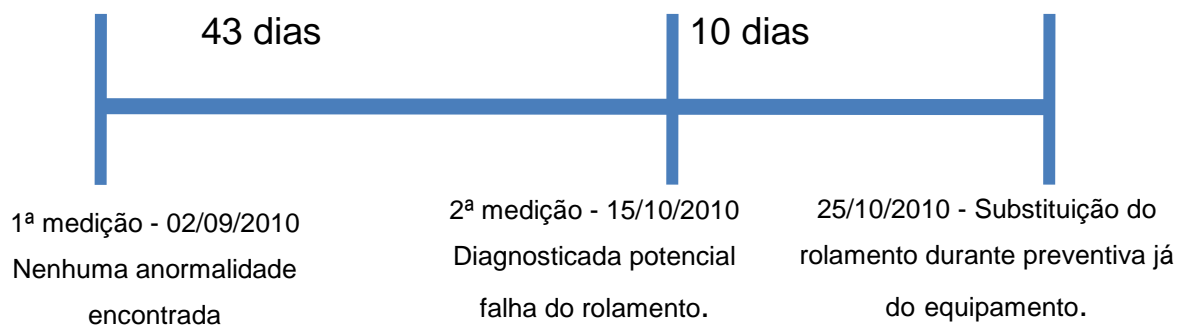
Após análise criteriosa dos dados coletados através de análise de vibração, decide-se continuar o monitoramento ou planejar a substituição do rolamento

monitorado, a fim de evitar falhas prematuras do rolamento, ocasionando perda de disponibilidade do equipamento e falha catastrófica da roda motorizada.

3.3.1 Caso de sucesso

Seguem abaixo algumas evidências da identificação preditiva do problema, ação tomada (substituição do rolamento) e confirmação da falha após desmontagem do rolamento.

Caminhão TB-510 – Substituição do rolamento da roda motorizada esquerda no dia 25/10/2010.



02/09/2010 – Primeira medição, nenhuma anormalidade encontrada.

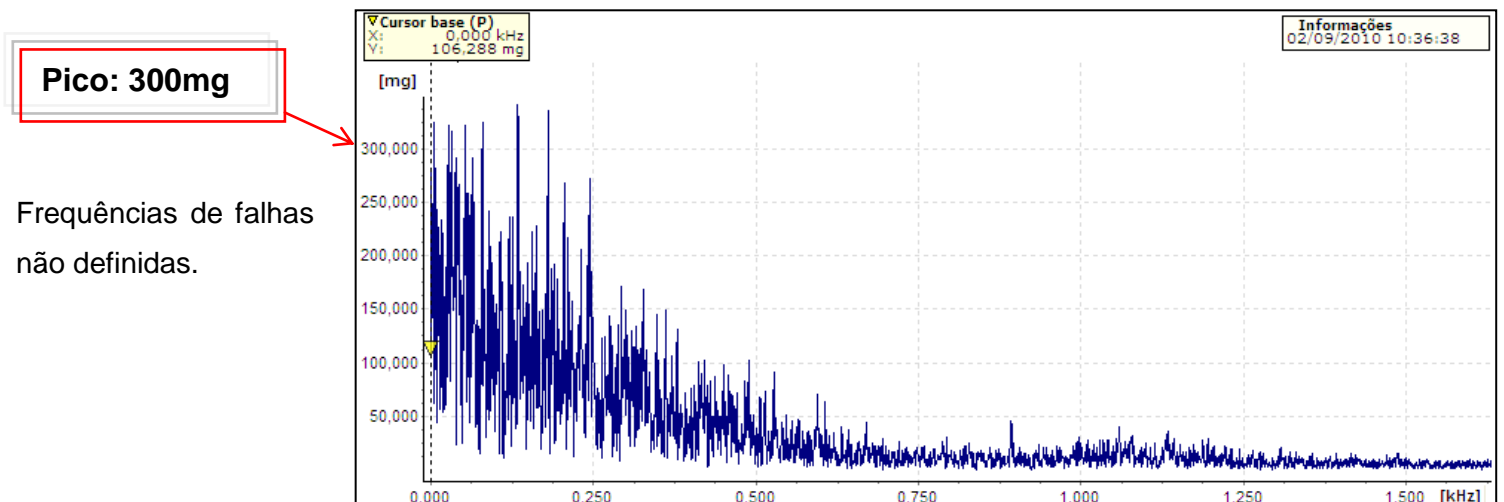


Figura 17 – Espectro de vibração I

15/10/2010 – Segunda medição, encontrado início de falha na pista externa do rolamento.

Foi observado alta amplitude da frequência de 68Hz e suas harmônicas bem definidas, caracterizando falha no anel externo do rolamento.

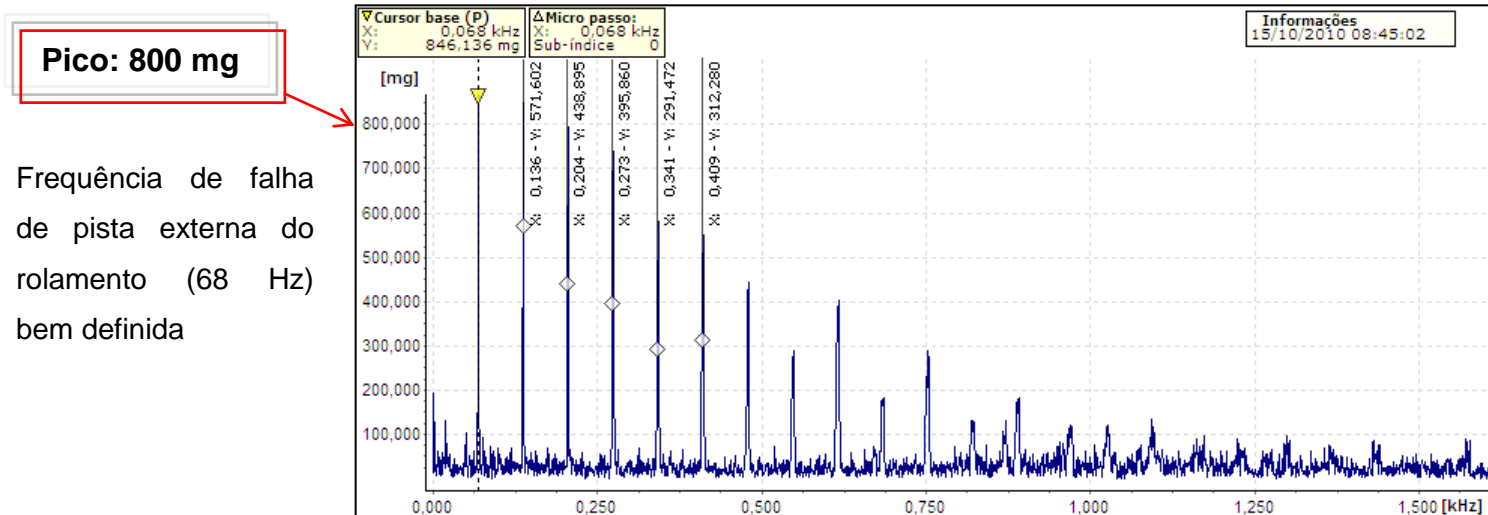


Figura 18 – Espectro de vibração II

Após esta medição foi solicitada pela Engenharia de Manutenção a substituição do rolamento na próxima manutenção preventiva que o equipamento viesse a fazer, visto que a falha estava no início e ainda não existia risco de quebra.

No dia 25/10/2010, 10 dias após a identificação da potencial falha, o equipamento parou para realização de uma manutenção preventiva programada, onde foi utilizada a oportunidade para realizar a substituição do rolamento sem impactar na disponibilidade física do mesmo.

Após a remoção do rolamento, foi constatado o real defeito na pista externa. Seguem fotos do rolamento em questão, mostrando o defeito, que poderia ter causado quebra do rolamento e danos ao restante do conjunto da roda motorizada (motor elétrico e conjunto de redução).



Figura 19 – Detalhe da falha na pista interna do rolamento

Seguem abaixo os desvios encontrados devido à falha catastrófica ocorrida, comparados a atuação segundo análise de vibração.

Corretiva Roda Motorizada TB-511	Substituição dos rolamentos de acordo com recomendação da preditiva
Danos a armadura e estator do motor elétrico.	Danos somente ao rolamento e substituição em regime de garantia.
Mão de obra não programada para execução da atividade.	Mão de obra programada para execução da atividade.
Desvio de mão de obra CSN para substituição da roda motorizada.	Substituição do rolamento é realizada pelo fornecedor do caminhão.
Falta de espaço na oficina para realização da manutenção.	Espaço já reservado para a manutenção preventiva programada.
Falta de rolamento em estoque para substituição imediata.	Rolamento providenciado em regime de garantia junto ao fornecedor do caminhão.
123,28 horas de equipamento parado para substituição da roda motorizada.	Rolamento substituído em conjunto com preventiva programa do equipamento, não impactando em tempo de máquina parada.

Tabela 2 – Comparativo dos impactos entre corretiva x preventiva

4. Resultados

Foram realizadas medições com periodicidade de 500 horas para toda a frota de caminhões Bucyrus MT4400AC, e após o início dos trabalhos as primeiras falhas começaram a ser identificadas de forma preditiva, e conseqüentemente sendo possível a intervenção de forma programada.

Os trabalhos de medições tiveram início no mês de agosto, e até o momento já foram evitadas 09 (nove) falhas catastróficas, falhas estas que causariam sérios danos no conjunto da roda motorizada (motor elétrico e redução planetária).

Segue relação de rolamentos substituídos após início dos trabalhos:

Equipamento	Data	Horometro na data da substituição	Roda
TB-510	25/10/2010	7898	Motorizada Esquerda
TB-508	28/10/2010	7783	Motorizada Direita
TB-509	04/11/2010	7754	Motorizada Esquerda
TB-504	03/12/2010	8799	Motorizada Esquerda
TB-502	07/12/2010	9265	Motorizada Direita
TB-506	11/01/2011	9086	Motorizada Esquerda
TB-513	13/01/2011	8207	Motorizada Direita
TB-503	19/01/2011	9366	Motorizada Esquerda
TB-503	30/03/2011	10529	Motorizada Direita

Tabela 3 – Mapeamento dos rolamentos substituídos

Até o momento não houve nenhuma reincidência nos rolamentos substituídos. Esta substituição não gerou impacto nos custos da manutenção, uma vez que esta atividade é de responsabilidade do fabricante, atendimento em regime de garantia, pois trata-se de falha de projeto.

Como todas as intervenções foram programadas e realizadas durante as manutenções preventivas, não houve impacto adicional na disponibilidade física dos equipamentos.

5. Conclusão

A demanda cada vez maior por confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, faz da Engenharia de Manutenção das empresas uma área totalmente estratégica para o negócio. Cada vez mais os impactos de uma parada não programada de um equipamento são maiores, causando perdas de produção e de receita que podem ser irrecuperáveis para a companhia. Desta forma é de suma importância acompanhar as condições dos equipamentos e componentes visando sempre o momento ótimo da intervenção. Com isso as técnicas preditivas são ferramentas fundamentais para que alcancemos estes objetivos.

Com a realização deste trabalho, podemos concluir que a análise de vibração nas rodas motorizadas destes caminhões é realmente eficaz e de extrema importância, pois pode-se evitar falhas catastróficas que causam sérios desvios ao processo da manutenção e nos resultados da empresa, como baixa disponibilidade e aumento do custo, uma vez que o valor de mercado de uma roda motorizada é algo em torno de R\$ 2.400.000,00.

O acompanhamento das condições dos rolamentos das rodas continua em intervalos regulares de 500 horas de operação, com atenção especial para os equipamentos que ainda não passaram pela intervenção para substituição dos rolamentos.

6. Referências Bibliográficas

1. PINTO, Alan Kardec, XAVIER, Júlio Aquino Nascif. Manutenção: função estratégica. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2001
2. PINTO, Alan Kardec, DORIGO, Luiz Carlos. Manutenção Orientada para Resultados. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2010
3. XAVIER, J. N. Indicadores de Manutenção. (2007) MANTER. Disponível em < <http://www.dee.ufrn.br/~joao/manut/15%20-%20Cap%EDtulo%2013.pdf> > acesso em 20 de Maio de 2011.
4. BARONI, Tarcísio, Júlio Aquino Nascif. Coleção Manutenção - Gestão Estratégica e Técnicas Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2001