



**FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO E NEGÓCIOS
DE SERGIPE – FANESÉ
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

CARLOS MAGNO M. SANTOS

**ANÁLISE DE FALHA NOS ROLAMENTOS DOS ROLOS
COMPACTADORES: um estudo de caso em uma
mineradora**

**Aracaju - Sergipe
2013.1**

CARLOS MAGNO M. SANTOS

**ANÁLISE DE FALHA NOS ROLAMENTOS DOS ROLOS
COMPACTADORES: um estudo de caso em uma
mineradora**

**Aracaju –SE
2013.1**

FICHA CATALOGRÁFICA

SANTOS, Carlos Magno Martins

Análise de falha nos rolamentos dos rolos compactadores: um estudo de caso em uma mineradora/ Carlos Magno Martins Santos. Aracaju, 2013. 54 f.

Monografia (Graduação) – Faculdade de Administração e Negócios De Sergipe/ Departamento de Engenharia de Produção, 2013.

Orientador: Profa. Dra. Maria Andréa da Silva

1. Rolo Compactador 2. Rolamentos 3. Falha I. TÍTULO.
CDU 658.5; 658.581: 658.588.4(813.7)

CARLOS MAGNO M. SANTOS

**ANÁLISE DE FALHA NOS ROLAMENTOS DOS ROLOS
COMPACTADORES: um estudo de caso em uma
mineradora**

**Monografia apresentada à banca examinadora da Faculdade de Administração
e Negócio de Sergipe - FANESE, como requisito parcial e elemento obrigatório
para obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Produção, no período de
2013.1**

**Prof. DSc. Maria Andréa da Silva
1º. Examinador (Orientador)**

**Prof. DSc. Fábio de Melo Resende
2º. Examinador**

**Prof. Msc. Herbet Alves Oliveira
3º. Examinador**

Aprovado com nota: 9,0

Aracaju (SE), 11 de Junho de 2013.

DEDICATÓRIA

A DEUS onipotente, pelo dom da vida a mim concedida.

A minha família que me ensinaram os valores da fraternidade, humildade, dignidade, respeito, honradez e honestidade.

AGRADECIMENTOS

Á Deus, criador de tudo e de todos.

À minha família, esteio dos momentos difíceis.

Aos amigos e colegas de profissão, pelos caminhos que ainda serão percorridos.

"A contribuição da Manutenção para a disponibilidade é no mínimo, 10 vezes o seu potencial para redução de custos."

Ron Moore

RESUMO

A manutenção de equipamentos industriais tem papel estratégico para redução de custos e alcance de metas nas companhias. Substituir componentes danificados, aplicar a manutenção conforme descrito nos planos pré estabelecidos, isso apenas não basta, é preciso ir além buscando melhorar os processos de manutenção e aplicação dos mesmos. Neste contexto, essa pesquisa procura identificar ações que possam melhorar a questão das falhas nos rolamentos dos rolos compactadores. Historicamente estas quebras vêm causando manutenções corretivas não programadas, que por consequência geram despesas elevadas de manutenção e indisponibilidade do ativo para produção, principalmente em momentos críticos de alta demanda de potássio pelo mercado consumidor. Através das metodologias descritiva e explanatória, foi observada a má aplicação da manutenção preventiva, e a manutenção preditiva que não consegue identificar antecipadamente os defeitos destes rolamentos. O meio para realização desta pesquisa foi do tipo bibliográfico e tem por finalidade além de identificar os fatores que causam a quebra de rolamentos nos rolos compactadores, melhorar a técnica de manutenção preditiva para a detecção antecipada destes defeitos, antes que a falha ocorra.

Palavras-chave: Rolo Compactador. Rolamento. Falha.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Evolução da manutenção	18
Figura 02 – Esquema básico dos sistemas de monitoração.....	22
Figura 03 – Classificação das falhas.....	23
Figura 04 – Diagrama de Ishikawa.....	26
Figura 05 – Gráfico de Pareto.....	27
Figura 06 – Fluxograma.....	28
Figura 07 – Processo de acabamento de KCl.....	29
Figura 08 – Rolo Compactador (RC).....	30
Figura 09 – Detalhamento de um rolo compactador.....	31
Figura 10 – Mancais com deficiência de refrigeração.....	39
Figura 11 – Mancais de rolos compactadores.....	39
Figura 12 – Tendência de coleta de vibração no rolamento.....	40
Figura 13 – Espectro de rolamento sem defeito.....	41
Figura 14 – Espectro de rolamento com defeito.....	41
Figura 15 – Rolamento quebrado.....	44
Figura 16 – Diagrama de Ishikawa referente às quebras nos rolamento dos RC.....	45
Figura 17 – Procedimento de coleta manual de vibração.....	47
Figura 18 – Procedimento de monitoramento <i>on line</i> de vibração.....	48
Figura 19 – Rolamento com desgaste por desalinhamento entre mancais.....	49
Figura 20 – Rolamento quebrado com características de fadiga por sobrecargas	50

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Tempo de operação até a quebra de rolamento nos rolos compactadores.....	36
Gráfico 02 – Aderência à manutenção preventiva programada.....	38

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Itens de verificação na manutenção preventiva dos rolos compactadores.....	37
Quadro 02 – Custos de substituição de rolamentos: MP x MC.....	43
Quadro 03 – Impactos na produção: MP x MC.....	43
Quadro 04 – Causas de Falhas da quebra de rolamentos dos rolos compactadores.....	45
Quadro 05 – Propostas de melhorias para evitar a quebra de rolamentos nos rolos compactadores.....	51

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 01 – Fórmula da Disponibilidade.....	20
--	----

SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE GRÁFICOS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE EQUAÇÕES.....	xi
1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Situação problema.....	15
1.2 Objetivos	15
1.2.1 Objetivo Geral	15
1.2.2 Objetivos Específicos	15
1.3 Justificativa.....	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1 Histórico da manutenção	17
2.2 Manutenção.....	18
2.3 Indicadores de Manutenção.....	19
2.3.1 Confiabilidade.....	19
2.3.2 Disponibilidade.....	19
2.4 Métodos de Manutenção.....	20
2.4.1 Manutenção Corretiva.....	20
2.4.2 Manutenção Preventiva.....	21
2.4.3 Manutenção Preditiva.....	21
2.4.3.1 Técnicas de Manutenção Preditiva.....	22
2.5 Conceito de Defeito.....	23
2.6 Conceito de Falha.....	23
2.7 Ferramentas da Qualidade.....	25
2.7.1 Ishikawa.....	25
2.7.2 Pareto.....	26
2.7.3 Fluxograma.....	27
2.8 Processo de acabamento de minério.....	28
2.8.1 Rolos Compactadores.....	29
3 METODOLOGIA	32
3.1 Método.....	32
3.2 Universo e Amostra.....	33
3.3 Coleta e Tratamento de Dados.....	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4.1 Apresentação do Caso.....	35
4.2 Análise dos processos de manutenção aplicados aos Rolos Compactadores....	36
4.2.1 Avaliação da Manutenção Preventiva.....	36
4.2.2 Avaliação da Manutenção Preditiva.....	40
4.3 Custos Envolvidos na Quebra dos Rolamentos: Manutenção Preditiva vs Manutenção Corretiva	42

4.4 Análise dos rolamentos quebrados.....	44
4.5 Análise das Causas de Falha da quebra de rolamentos do RC.....	45
4.6 Proposta de melhoria.....	51
5 CONCLUSÃO.....	53
REFERÊNCIAS.....	54

1 INTRODUÇÃO

A manutenção nasceu junto com a necessidade do homem em manter ou consertar os instrumentos de trabalho e foi evoluindo com a humanidade e o desenvolvimento industrial. Desde o final do século XIX até 1914 a manutenção era relegada ao segundo plano e baseava-se em pequenos reparos realizados pelos próprios operadores das máquinas.

As primeiras equipes de manutenção foram surgindo com a implantação da produção em série, e seus programas básicos de manutenção que se baseavam em atividades de limpeza, lubrificação e pequenos reparos. A idéia principal era a correção de defeitos no menor tempo possível, pois as atividades eram basicamente corretivas.

Foi a partir da Segunda Guerra Mundial que a manutenção tomou forma, as intervenções apenas corretivas não atendiam mais as necessidades da indústria. Como a produção em massa, a disponibilidade e a confiabilidade eram cada vez mais essenciais para o processo produtivo, foi aí que surgiu a manutenção preventiva.

Os processos de manutenção continuaram a desenvolver-se ao longo dos anos, assim surgiram programas de melhoria contínua, com foco na redução de custos, manutenção centrada em confiabilidade e a engenharia de manutenção assumiram papéis cada vez mais importantes, no final do último século o PCM (Planejamento e Controle da Manutenção), consolidou-se como função estratégica dentro na manutenção.

Na atualidade a manutenção busca operacionalizar suas atividades com foco no cliente. Qualidade, disponibilidade e confiabilidade são palavras de ordem. Manter-se no mercado atendendo normas, legislação, concorrência acirrada esse é o novo desafio e para isso é necessária a aplicação de forma consistente a melhor combinação de técnicas, aliadas a profissionais capacitados e motivados.

1.1 Situação Problema

Os rolos compactadores(RC) são equipamentos utilizados para compactar o minério de potássio (KCl), estes equipamentos são dotados de dois eixos que comprimem o minério entre si, formando placas que serão britadas e transformadas em grãos que serão adequados ao mercado consumidor.

Ocorre que cada um dos eixos que compactam o minério são suportados por um par de rolamentos, e ao longo dos anos tem ocorrido falhas nestes componentes. Como consequência da quebra dos rolamentos, eixos e outros componentes acabam por serem danificados. Além destes fatores, perdas de produção, baixa confiabilidade e sentimento de incapacidade da equipe de manutenção aumentam ainda mais a gravidade do problema.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

- Analisar as falhas de rolamentos nos rolos compactadores, bem como os impactos gerados no processo produtivo.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar as causas das falhas nos rolamentos dos rolos compactadores;

- Avaliar a técnica de análise de vibração para detecção de defeitos nestes rolamentos;

- Analisar os impactos financeiros causados pelas quebras dos rolamentos dos rolos compactadores;

- Propor ações para minimizar os impactos financeiros decorrentes destas falhas.

1.3 Justificativa

A realização deste estudo de caso nasce da necessidade de se levantar os eventos que causam as falhas nos rolos compactadores no tocante às quebras de rolamentos e melhorar a previsibilidade das futuras e possíveis falhas, através do aperfeiçoamento na forma de aplicação da manutenção preditiva.

Através do aumento da vida útil e previsibilidade das falhas nos rolamentos será possível aumentar a confiabilidade do equipamento e reduzir de custos com a substituição de componentes e evitando a manutenção corretiva.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, serão elucidados os conceitos e termos que serão abordados na formação deste estudo de caso.

2.1 Histórico e Evolução da Manutenção

A manutenção é uma palavra derivada do latim *manus tenere*, que significa manter o que tem, ela existe desde os primórdios da humanidade quando o homem começou a manusear instrumentos de produção. (VIANA, 2002, pg. 1).

Foi durante a revolução industrial que a manutenção começou a tomar forma e a partir da segunda guerra mundial as empresas começaram a considerá-la peça fundamental no desenvolvimento e conservação dos meios de produção, (MOTTER, 1992, pg. 29).

De acordo com Siqueira (2005, pg. 4), a manutenção divide-se em três gerações: Primeira Geração – Mecanizada; Segunda Geração – Industrialização; Terceira Geração – Automação.

A Primeira Geração tem início juntamente com o período da Segunda Guerra Mundial, onde a indústria era pouco mecanizada, os equipamentos eram simples e, na sua grande maioria superdimensionados. Este período compreende-se aproximadamente de 1940 a 1950. Nesta fase, praticamente não existia planejamento e programação, e a manutenção era responsável por atividades básicas como, limpeza, lubrificação e as intervenções corretivas que baseiam-se em concertar o equipamento após a quebra ou diminuição de sua capacidade produtiva.

Na primeira geração, os equipamentos operavam até quebrar. A visão era que os equipamentos se degradavam com o tempo e a quebra era vista com naturalidade, sendo um evento inerente ao seu ciclo de vida (NASCIF et al, 2009).

A Segunda Geração ocorre entre os anos 50 e 70, após a Segunda Guerra Mundial. Neste período surgiu grande necessidade de produzir para uma demanda cada vez mais crescente, por este motivo houve uma grande mecanização da indústria e as instalações tornaram-se cada vez mais complexas (NASCIF et al, 2009).

Para Siqueira (2005, pg. 5), é na segunda geração que os conceitos de disponibilidade, vida útil e custo baixo, tornam-se objetos de estudo das empresas. Houve um grande esforço científico para tornar as empresas cada vez mais produtivas, dando origem a várias ferramentas como as técnicas de manutenção preditiva, Manutenção Produtiva Total e início das técnicas de Qualidade Total que seriam mais estudadas na terceira geração.

Na terceira geração que começou a partir de 1975 houve um grande avanço da automação, concorrência em escala mundial e elevação de custos de mão de obra, fizeram as empresas produzir com instalações e equipamento cada vez mais no limite, com a manutenção ganhando cada vez mais status de ferramenta estratégica para obtenção de resultados. A sociedade tornou-se mais exigente, serviços e produtos só tinham mercado se obedecessem a premissas de preço x qualidade. Foi neste período que surgiu a metodologia da Manutenção Centrada em Confiabilidade, MCC, (SIQUEIRA, 2005, pg. 6). A figura 01 mostra a cronologia das três gerações da manutenção após a Segunda Guerra Mundial.

Figura 01 – Evolução da manutenção



Fonte: Siqueira (2005)

2.2 Manutenção

A manutenção pode ser definida como um conjunto de ações técnicas e administrativas, destinadas a manter ou recolocar um item em condições normais de funcionamento ou desempenho. Significa fazer as ações necessárias para manter

um equipamento desempenhando suas funções da mesma forma para que foi projetado, (ABNT-1994).

De acordo com Xenos (1998, pg. 18) a manutenção existe para evitar a degradação de máquinas e instalações, causada pelo desgaste natural ou por problemas como operação incorreta, falhas de dimensionamento de equipamentos, fim de vida de componentes, desgaste por contaminação, etc.

A manutenção pode ainda compreender atividades de tratamento de falhas para prevenção e evitar reincidência de defeitos. Estas atividades devem ser esporádicas e não devem transformar-se numa rotina para as equipes de manutenção (XENOS, 1998, pg. 19).

2.3 Indicadores da Manutenção

De acordo com Branco, os indicadores de manutenção podem ser interpretados como:

Relações entre duas ou mais grandezas provenientes de dados levantados sobre diversas variáveis das equipes de manutenção, das máquinas, das importâncias envolvidas, dos materiais e de sobressalentes, entre outros. Servem para medir a capacitação técnica das máquinas e dos que ali trabalham, bem como suas consequências financeiras, administrativas e reflexos sobre os processos produtivos (BRANCO, 2000, pg. 72).

São vários indicadores de manutenção, e dentre eles: Confiabilidade e Disponibilidade.

2.3.1 Confiabilidade

De acordo com Nascif e Dorigo (2009, pg. 32), é o tempo em que um equipamento permanece disponível para operação. Por ser uma probabilidade este tempo é medido em percentual variando de 0 a 100%.

2.3.2 Disponibilidade

É o tempo que um item está disponível para operação. Este item pode ser um equipamento, uma instalação, ou uma área a fim. A disponibilidade representa que os equipamentos estão disponíveis para produzir e dar lucro a empresa, sempre aliado a segurança e conservação do meio ambiente. A equação 01 representa a fórmula da disponibilidade Nascif e Dorigo (2009, pg. 32).

$$\text{DISPONIBILIDADE} = \frac{\text{TMEF}}{\text{TMEF} + \text{TMPR}}$$

Onde:

TMEF = Tempo médio entre falhas.
TMPR = Tempo médio para reparos.

Eq. 01

2.4 Métodos de Manutenção

Os métodos de manutenção servem para definir as várias modalidades de manutenção e sua aplicabilidade no ambiente industrial. Quanto a sua aplicabilidade, segundo Branco:

“O melhor rendimento é a aplicação de todas elas, devidamente balanceadas para cada caso, para cada empresa, onde a sensibilidade do administrador é que deverá dosar adequadamente (BRANCO, 2008, pg. 6)”.

2.4.1 Manutenção Corretiva

De acordo com Xenos (2004, pg. 23), a manutenção corretiva aplica-se em casos em que a falha já ocorreu. Esta modalidade de manutenção acaba sendo mais econômica em detrimento da aplicação de uma sistemática de manutenção preventiva, porém quando são atribuídas as perdas relacionadas a produção, a manutenção corretiva pode sair muito mais cara que o previsto.

Esta modalidade divide-se em duas, que podem ser Planejada ou Não Planejada. A Manutenção Corretiva Planejada ou Programada ocorre quando o equipamento está com uma falha, mas que ainda consegue desempenhar as suas funções esperadas, portanto a falha pode ser corrigida numa data posterior àquela que a falha foi identificada, A Manutenção Corretiva Não programada ou Emergencial, caracteriza-se em uma falha que já ocorreu, não sobrando tempo para preparar os recursos necessários para intervenção (BRANCO, 2008, pg. 6).

2.4.2 Manutenção Preventiva

É a manutenção feita de forma planejada, com previsão e controle dos itens a serem verificados ou substituídos. Esta modalidade de manutenção obedece a um plano pré estabelecido com base em manuais, histórico do equipamento e normas técnicas (VIANA, 2002, pg. 10).

A manutenção preventiva deve ser realizada periodicamente, sendo esta a principal atividade de manutenção. Ela envolve atividades como, simples reparos, substituição de componentes de forma condicional ou por horímetro e atividades como reformas e recuperações de máquinas, componentes e instalações. (XENOS, 2004, p. 24).

Ainda de acordo com Xenos (2004, pg. 24), se comparada a manutenção corretiva, a manutenção preventiva é mais cara, por substituir componentes que ainda não atingiram o final de sua vida útil, porém a longo prazo ela é mais vantajosa por evitar interrupções na produção e degradação dos equipamentos e instalações.

2.4.3 Manutenção Preditiva

A Manutenção Preditiva pode ser chamada de Manutenção sob Condição ou Manutenção Científica. Esta modalidade manutenção é baseada no acompanhamento e monitoração das condições das máquinas, com o auxílio de equipamentos e técnicas que podem prever o momento mais indicado para substituição de componentes (BRANCO, 2008, pg. 8).

De acordo com Kardec, a manutenção preditiva pode ser definida como:

“Qualquer atividade de monitoramento que seja capaz de fornecer dados suficientes para uma análise de tendências, emissão de diagnóstico e tomada de decisão (KARDEC et al, 2002)”.

Para Xenos (2004, pg. 25), a Manutenção Preditiva é uma técnica de manutenção mais cara, por substituir componentes que teoricamente não estariam no final de sua vida útil. Mas é uma técnica que identifica defeitos ocultos nos equipamentos, que dificilmente seriam encontrados em manutenções preventivas.

2.4.3.1 Técnicas de Manutenção Preditiva

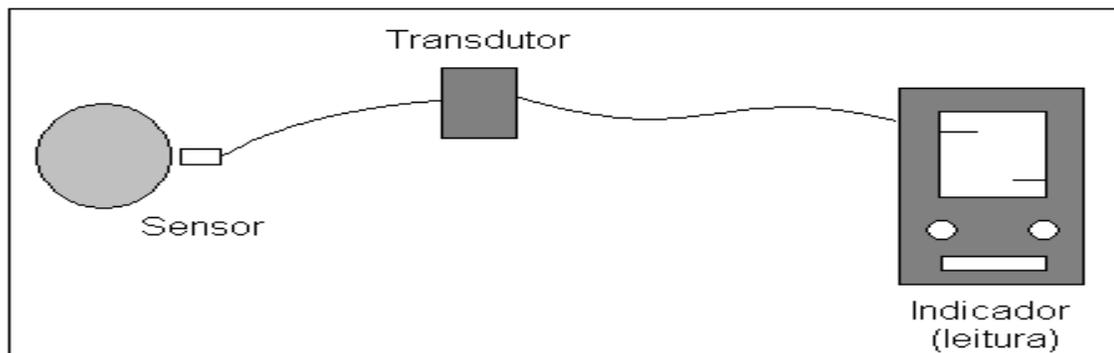
De acordo com Kardec et al (2002, pg. 52), a manutenção preditiva representa uma grande quebra de paradigma nos tipos de manutenção e sua participação no Brasil ainda é tímida representando apenas uma pequena parcela dos recursos aplicados na manutenção. A avaliação do estado do equipamento se dá através de medição, e este acompanhamento pode ser de três formas:

- Acompanhamento ou monitoramento subjetivo: temperatura, ruído, folgas, podem ser acompanhadas pela sensibilidade e observação.

- Acompanhamento ou monitoramento objetivo: utiliza equipamentos de monitoramento, que indica valores como temperatura e ruído, formando assim uma tendência para análise.

- Monitoração contínua: é realizada em tempo integral por equipamentos de medição, que mandam os valores para um software, que possui sistema de alarmes e desarme das máquinas quando os valores ultrapassam o limite estabelecido. A figura 02 mostra um esquema básico de monitoramento.

Figura 02 - Esquema básico dos sistemas de monitoração



Fonte: Kardec et al, (2002)

A tecnologia atual gerou dezenas de técnicas de Manutenção Preditiva, sendo algumas mais caras e sofisticadas com o uso mais restrito e pouco aplicadas, mas também técnicas simples, de custo baixo, porém muito poderosas para a detecção de defeitos em máquinas, (XENOS, 2004, pg. 25).

Para Kardec et al (2002, pg. 57), são estas as principais técnicas de Manutenção Preditiva:

-Análise de vibrações, sendo esta a mais utilizada na indústria, portanto, a principal;

- Ferrografia;
- Análise de óleos lubrificantes
- Ultra-som;
- Líquidos penetrantes;
- Termografia
- Ensaio elétrico;
- Endoscopia ou boroscopia;

As técnicas de manutenção preditiva citadas são importantes para detecção de defeitos, que quando não corrigidos podem torna-se falhas. A gerencia de manutenção deve identificar a causa raiz dos defeitos e não apenas monitorá-los para que possa agir antecipadamente.

2.5 Conceito de Defeito

O defeito pode ser visto como um desvio de característica inerente a um componente. Um defeito geralmente tem natureza danosa e pode ou não interferir no desempenho imediato do equipamento, podendo o mesmo operar sem reduzir sua capacidade plena de produção e qualidade. Porém o defeito é um desvio que deve ser corrigido e não pode servir de padrão para a operacionalidade de equipamentos, (NBR, 1994).

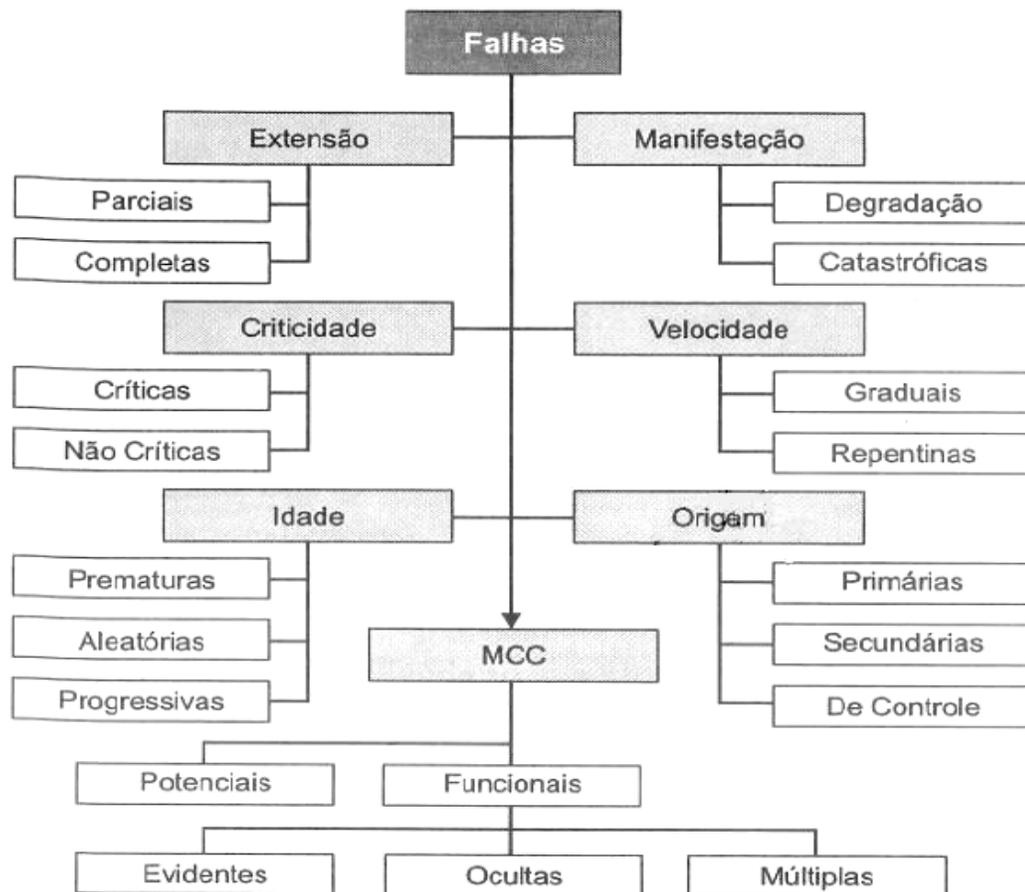
2.6 Conceito de Falha

Falha é um evento que acaba com a capacidade do equipamento de cumprir as funções para o qual foi requerido, (NBR, 1994).

Uma falha pode interromper ou diminuir a capacidade de operação de um equipamento. É um evento indesejado que tende a levar o equipamento a uma parada permanente, devido ao colapso de um ou mais componentes (SIQUEIRA, 2005, pg. 51).

As falhas podem ter origem em três grandes categorias: falta de resistência do equipamento por problemas de projeto, erros de especificação de materiais e componentes e deficiências de projeto e fabricação de componentes. Mas as falhas têm origens mais complexas, podendo resultar de um fator ou a combinação de vários deles (XENOS, 2004, pg. 68). A figura 03 mostra a classificação dos mais variados tipos de falhas.

Figura 03 – Classificação das falhas



Fonte: Siqueira (2005)

Para identificar a origem das falhas várias técnicas podem ser utilizadas. É importante conhecer o histórico do equipamento, bem como envolver a participação dos profissionais que trabalham direta e indiretamente com o objeto em estudo. O ideal é a escolha e combinação das técnicas mais adequadas aos tipos de

falhas analisadas. As ferramentas da qualidade são técnicas muito utilizadas e quando bem empregadas trazem resultados bastante satisfatórios.

2.7 Ferramentas da Qualidade

Qualidade trata-se de um conceito usado em qualquer elemento tangível, seja ele na prestação de serviços, fabricação de bens ou produtos de natureza intelectual (MARSHALL, et al, 2010, pg. 20).

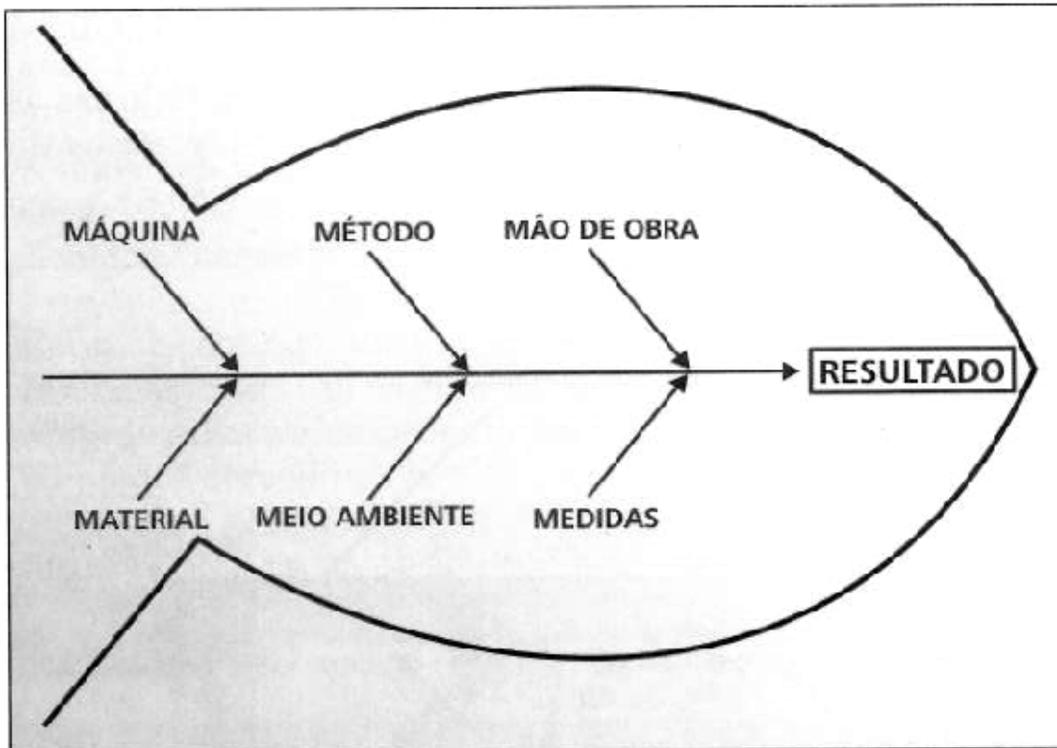
Para Falconi (1999, pg. 15), a sobrevivência das empresas atualmente passa pela utilização de métodos que possam garantir a qualidade total dos seus produtos, surge então a necessidade de aplicação das ferramentas da qualidade para auxiliar no alcance destes objetivos.

Para tanto, Werkema (2002, pg. 183), nomeia as ferramentas da qualidade que são aplicadas em empresas do mundo todo, dentre elas destacamos: o gráfico de Pareto, Diagrama de Ishikawa e o Fluxograma, que serão detalhadas a seguir.

2.7.1 Diagrama de Ishikawa

O diagrama de causa e efeito ou diagrama de Ishikawa é um gráfico em forma de espinha de peixe, que contém um problema em estudo e identifica suas causas principais e secundárias. Um cuidado que deve ser tomado durante a construção do gráfico é de observar as causas do problema e não os sintomas (LAS CASAS, 2006, pg. 92). A Figura 04 representa um esquema do diagrama de Ishikawa.

Figura 04 – Diagrama de Ishikawa



Fonte: Nascif e Dorigo (2009)

2.7.2 Gráfico de Pareto

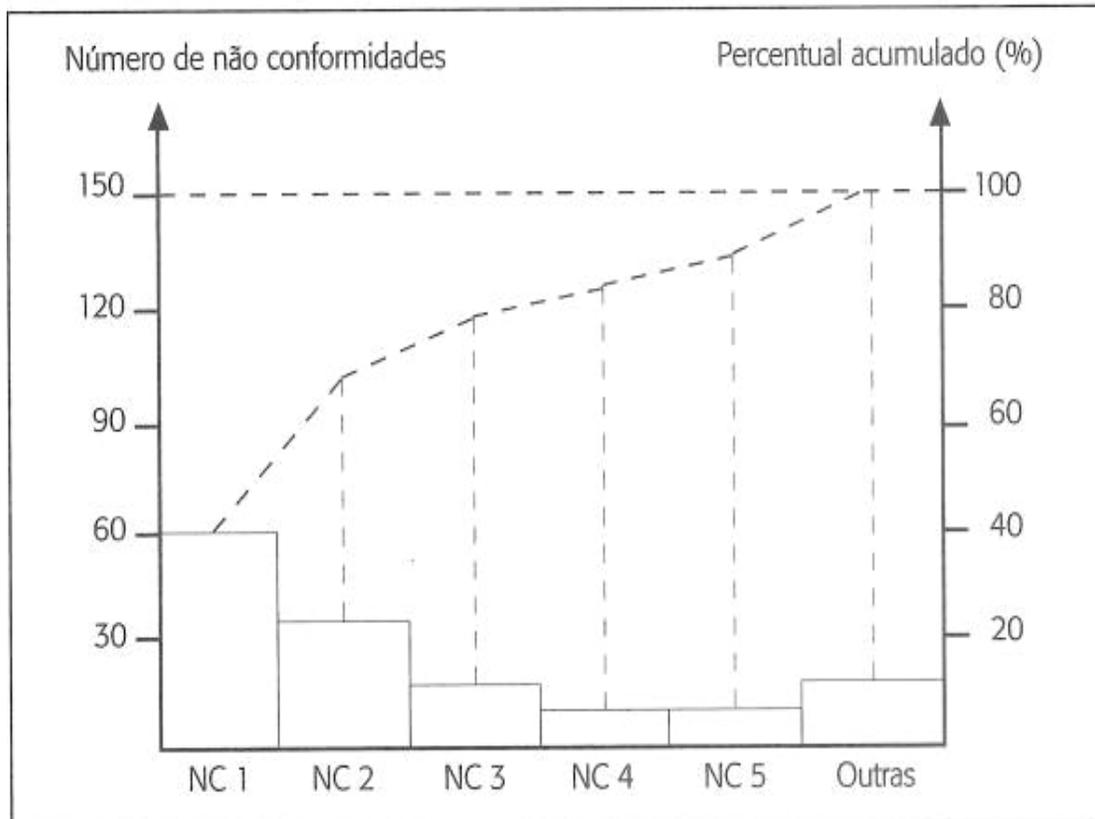
Para verificar a frequência e tipos de ocorrências de problemas, utiliza-se a ferramenta chamada de gráfico de Pareto, este recurso é um dos mais utilizados nas organizações atuais. Esta ferramenta foi desenvolvida pelo economista Vilfredo Pareto, a partir de um estudo sobre a desigualdade na distribuição das riquezas do país. No seu estudo ele concluiu que 20% da população detinha 80% da riqueza e o restante da população detinha os 20% restante, esta relação também é conhecida como regra 80/20 (MARSHALL, et al, 2010, pg.111).

Ainda de acordo com Marshall (2010, pg. 111), o gráfico de Pareto é formado a partir de um processo de coleta de dados e pode ser utilizado quando se deseja priorizar problemas ou causas de um determinado assunto.

Nascif e Dorigo (2009, pg. 76), ainda citam o gráfico de Pareto como uma ferramenta eficaz e simples para a análise de falhas.

Na Figura 05 pode ser observado um exemplo do gráfico de Pareto.

Figura 05 – Gráfico de Pareto



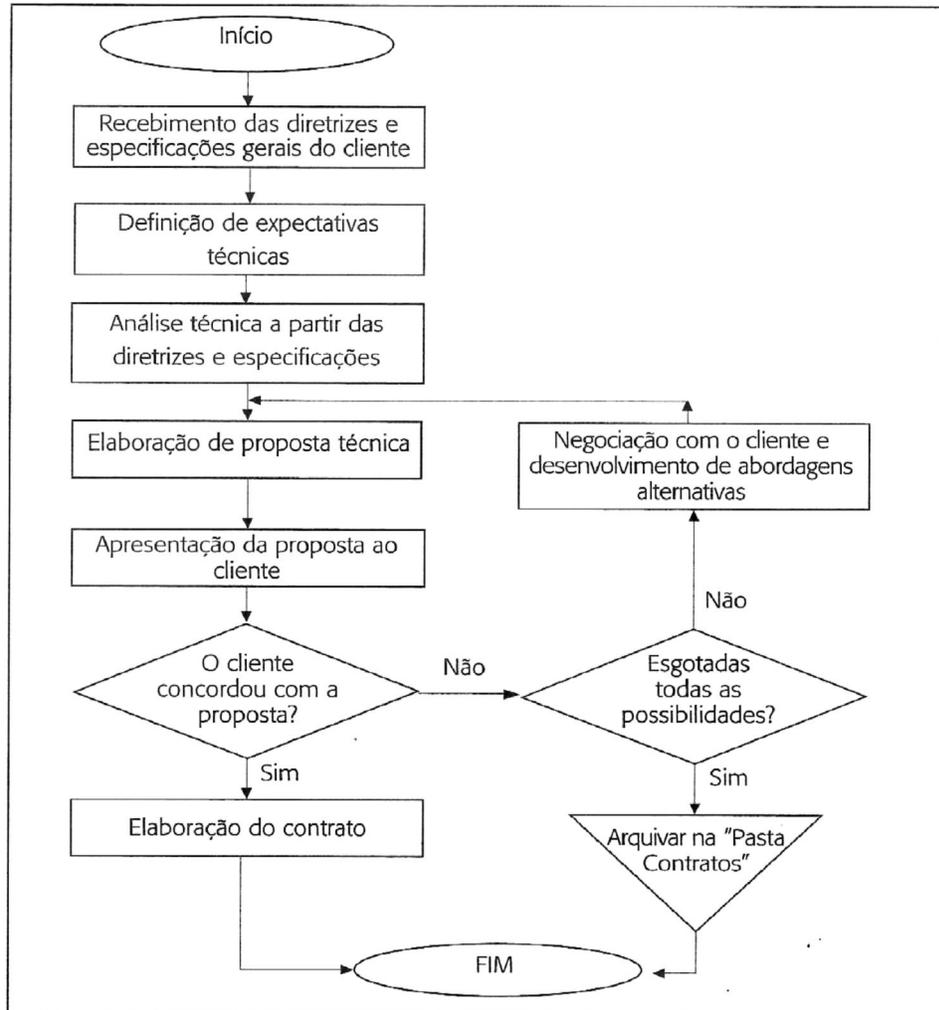
Fonte: Marshall, et al (2010)

2.7.3 Fluxograma

O fluxograma é uma ferramenta que representa graficamente através da fácil visualização, os passos de um processo. Esta ferramenta utiliza símbolos padronizados de modo a formar um fluxo lógico dentro de um processo decisório, (MARSHALL, et al, 2010, pg. 110).

A Figura 06 ilustra um exemplo de fluxograma:

Figura 06 - Fluxograma

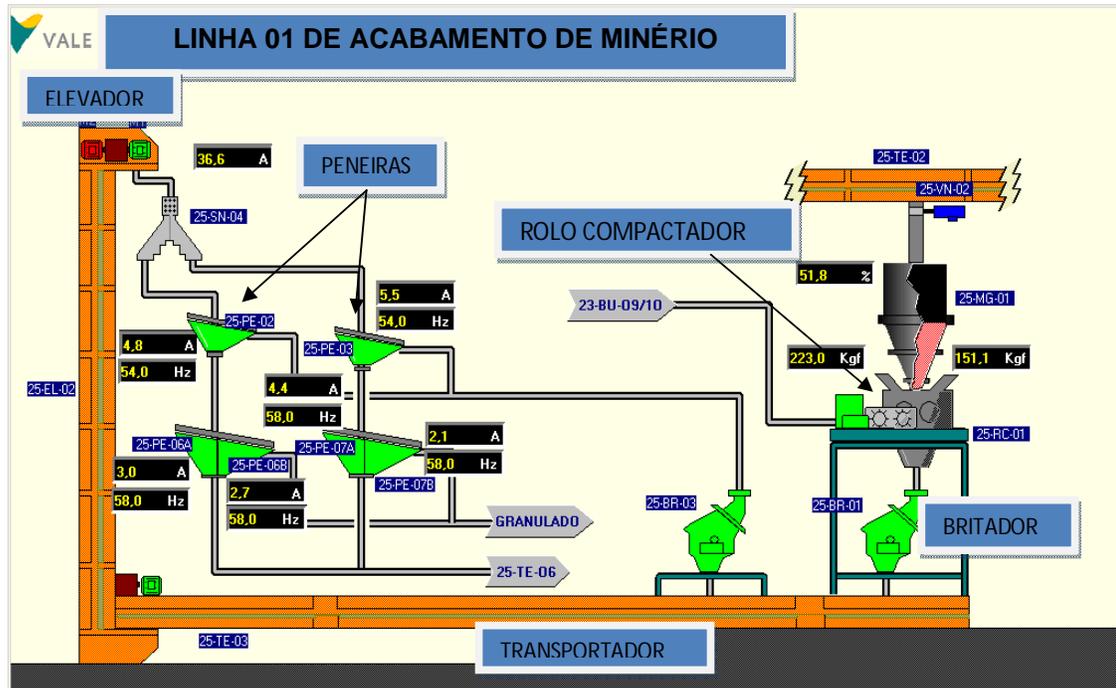


Fonte: Marshall, et al (2010)

2.8 Processo de Acabamento de Minério

No processo de acabamento de minério, o rolo compactador, comprime o minério de KCl, depois o mesmo é britado e tem sua granulometria selecionada através das peneiras vibratórias. A Figura 07 mostra o fluxo do processo da compactação, britagem e peneiramento para seleção do produto final:

Figura 07 - Processo de acabamento de KCl



Fonte: Manual de beneficiamento, Vale (2013).

2.8.1 Os rolos compactadores

São equipamentos utilizados para compactar minério, tendo várias configurações quanto a produtividade e características construtivas. Basicamente ele é formado de dois cilindros de aço de alta resistência onde o potássio (KCl) seco é transportado e comprimido através de roscas montadas na parte superior do equipamento, forçando sua passagem entre os rolos. O minério (KCl) é compactado por uma pressão lateral de 220 Bar para que sejam formadas as placas de minérios que serão britadas e classificadas. Na Unidade Operacional Taquari Vassouras – UOTV, conforme o Manual Técnico-operacional (Koopern, 1983), os rolos utilizados são do tipo:

Marca: Koopern (Alemanha).

Acionamento: 1 motor de 1.000cv ou 2 motores de 500cv;

Taxa de compactação máxima: 68,00t/h;

Pressão de trabalho do sistema de pressurização: 230bar;

Espessura da placa de minério compactada: 9,70mm;

Temperatura do minério compactado: 130°C;

Rotação de trabalho: 14,0 rpm.

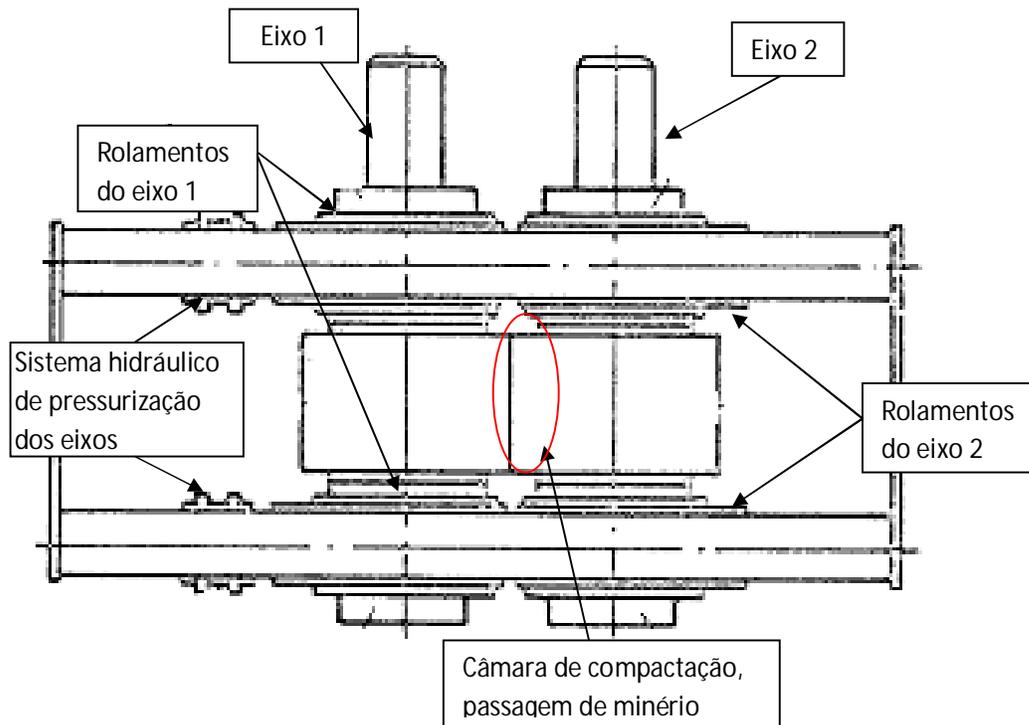
Na Figura 08 pode ser observado o rolo compactador nº 1 da área de acabamento de minério e na Figura 09 o detalhamento da localização dos rolamentos. Vale ressaltar que quando há a quebra de um rolamento, é substituído o eixo completo, com o rolamento quebra e outro íntegro. O rolamento íntegro é enviado para recuperação em uma empresa credenciada, para que não haja a instalação de um rolamento usado com um novo.

Figura 08 - Rolo compactador



Fonte: o autor da pesquisa (2013).

Figura 09 – Detalhamento de um rolo compactador



Fonte: adaptado de Vale (2013)

3. METODOLOGIA

Nesta seção será explicada a metodologia utilizada neste estudo de caso, bem como a caracterização do estudo quanto aos objetivos, meios empregados e abordagem. Ainda será tratado sobre o universo e amostra do estudo e a forma de coleta e tratamento de dados.

3.1 Método

Para Oliveira (2002, pg. 57), o método é derivado da metodologia, trata-se de um conjunto de meios pelos quais é possível saber de uma determinada realidade.

De acordo com Batista (2011, p.22), a pesquisa é caracterizada através do método, sendo assim a pesquisa pode ser observada quanto aos objetivos, sendo elas, descritiva, explicativa ou explanatória. Em relação aos meios, a pesquisa pode ser bibliográfica, documental, de campo e estudo de caso. Quanto a abordagem adotada pode ser qualitativa, quantitativa ou qualiquantitativa.

Esta pesquisa é caracterizada quanto aos objetivos como explicativa e explanatória. Explicativa por descrever sobre o problema de quebra de rolamentos e interligar os fatores que estão gerando o problema, é explanatória porque visa tornar o problema mais familiar e construir hipóteses sobre a geração dos problemas e suas correções.

Em relação aos meios, a pesquisa é considerada bibliográfica, documental e estudo de caso. Bibliográfica, porque seus conceitos e fundamentos foram pesquisados em livros, artigos e documentos normativos, que embasaram o conhecimento científico desta pesquisa. Documental, porque foram coletadas informações em documentos oficiais da empresa em estudo. Estudo de caso, por tratar de um evento que é a quebra de rolamentos em rolos compactadores.

No que se refere a abordagem, esta pesquisa é qualiquantitativa, por se basear na análise de dados estatísticos para formular decisões, que visam mitigar os impactos das quebras de rolamentos nos rolos compactadores.

3.2 Universo e Amostra

De acordo com Oliveira (1999, pg. 160), universo é a população a ser estudada e amostra é uma porção ou parcela do universo. O universo da pesquisa compreende a área de compactação do minério concentrado de potássio, sendo a amostra os ativos (equipamentos) os rolos compactadores e sua interface com o processo produtivo.

3.3 Coleta e Tratamento de Dados

Os dados para esta pesquisa foram levantados entre Fevereiro de 2013 e Abril do mesmo ano. O processo deu-se em 4 etapas.

Na primeira etapa foram identificadas as sazonalidades de quebras dos rolamentos dos mancais dos rolos, onde pode ser observado que não há uma tendência clara para estas quebras, da mesma forma que a manutenção preditiva não consegue se anteceder às falhas ocorridas.

Na segunda etapa, foi verificado junto ao sistema informatizado de manutenção “Máximo”, os planos de manutenção preventiva e preditiva, onde pode ser observada a falta de cumprimento do primeiro e ineficácia do segundo. Foi nesta etapa que pode ser observada falta de consistência de alguns itens do plano e sua baixa aderência à programação. Foi observado no Máximo, relatórios dos inspetores de manutenção e executantes sobre as condições de funcionamento do equipamento quanto à contaminação e problemas com a refrigeração do equipamento.

Na terceira etapa, foram levantados os dados relativos aos custos de montagem dos rolamentos nos compactadores, os referidos valores foram comparados quando há uma substituição programada e quando há uma quebra dos rolamentos. Esta etapa foi muito importante para definir se os valores envolvidos nas quebras justificariam um estudo de caso.

Na quarta etapa foram levantados os modos de falhas dos rolamentos, em conjunto com técnicos, mecânicos e operadores do equipamento estudado. Foi realizado, a observação em campo dos procedimentos de desmontagem dos rolamentos avariados e/ou quebrados e montagem dos novos rolamentos no

equipamento, onde foi verificada fadiga nos componentes internos e externos e o desvio das características físicas do componente lubrificante (graxa).

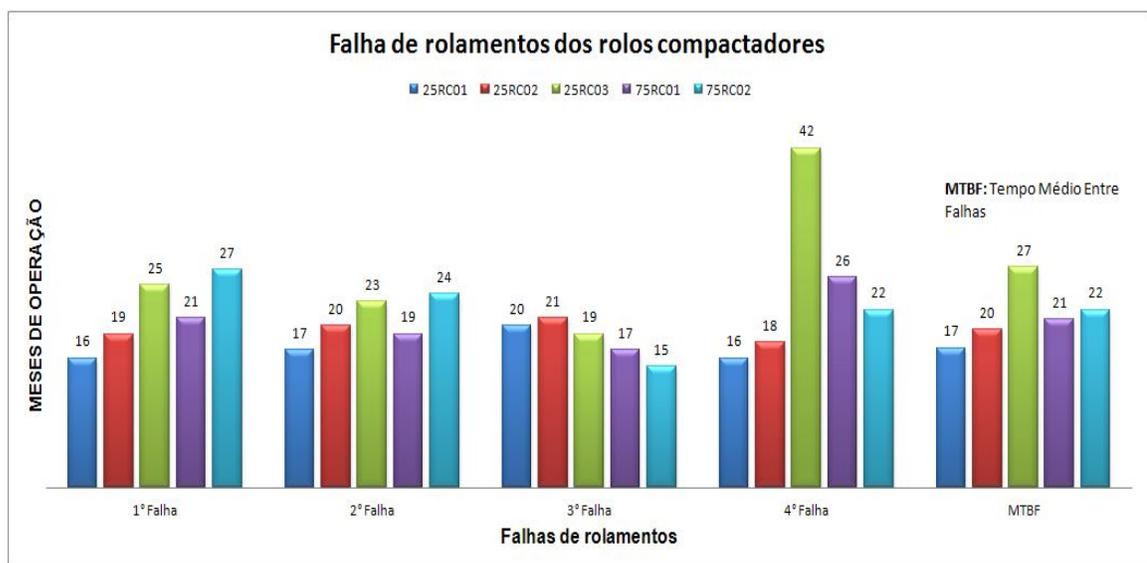
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Apresentação do Caso

Ao longo dos anos a empresa em estudo não dedicava a devida atenção às quebras de rolamentos nos rolos compactadores. Isso acontecia em parte por estas falhas ocorrerem em intervalos de tempo relativamente espaçados variando de um até três anos em cada um dos cinco equipamentos em estudo, ou por conta das metas de produção serem menos elevadas. Porém nos últimos anos estas quebras têm impactado substancialmente na disponibilidade operacional e nos referidos custos envolvidos, causando paradas indesejadas por manutenção corretiva, que elevam os custos de manutenção e impacta diretamente nas metas de produção da empresa.

Os Rolos Compactadores (RC) são equipamentos robustos e seus rolamentos, da marca SKF, modelo 24192 EAK, são dimensionados conforme informação do fabricante para operarem por até 24 meses, contudo na prática estes rolamentos oscilam muito quanto ao tempo de operação. Ao observar o gráfico 01, relacionamos os cinco compactadores e observamos casos em que houve quebra de rolamentos com 16 meses de operação ou até 42 meses de operação.

Gráfico 01 – Tempo de operação até a quebra de rolamento nos rolos compactadores



Fonte: Autor da pesquisa (2013)

A forma de cálculo da vida útil de rolamentos é complexa e possui muitas variáveis, sendo que nem sempre o rolamento em operação obedece às variáveis pré-estabelecidas nestes cálculos, isso explica a disparidade entre a vida útil estimada e a vida útil real dos rolamentos em estudo. Ainda analisando os gráficos podemos chegar à seguinte questão: porque existem rolamentos quebrando prematuramente? Por que todos os rolamentos não operam por 42 meses ou mais, contribuindo assim para a redução nos custos de manutenção e paradas corretivas do equipamento?

4.2 Análise dos processos de manutenção aplicados aos Rolos Compactadores.

Neste item serão avaliados os processos de manutenção preventiva e corretiva versus preditiva, aplicados nos rolos compactadores. Serão verificados se os itens de verificação cadastrados no Máximo estão sendo executados dentro da periodicidade estabelecida, dificuldades nas substituições dos rolamentos e a efetividade da aplicação das técnicas preditivas. Serão verificados também, os custos envolvidos nas quebras dos rolamentos e os modos de falhas do mesmo.

4.2.1 Análise da Manutenção Preventiva

Como todo equipamento os rolos compactadores possuem planos de manutenção preventiva. Estes planos são cadastrados no sistema informatizado Máximo, levando em consideração as ponderações citadas nos manuais dos fabricantes, *bechmarking* de outras unidades e outras indústrias para a geração das demandas que serão seguidas nos referidos planos, e identificados os itens de verificação. A partir daí é criado o plano de 52 semanas (anual), onde são detalhadas as atividades a serem executadas durante o ano.

No Quadro 01, podem ser observados os itens de verificação de cada rolo compactador e sua periodicidade.

Quadro 01 – Itens de verificação na manutenção preventiva dos rolos compactadores

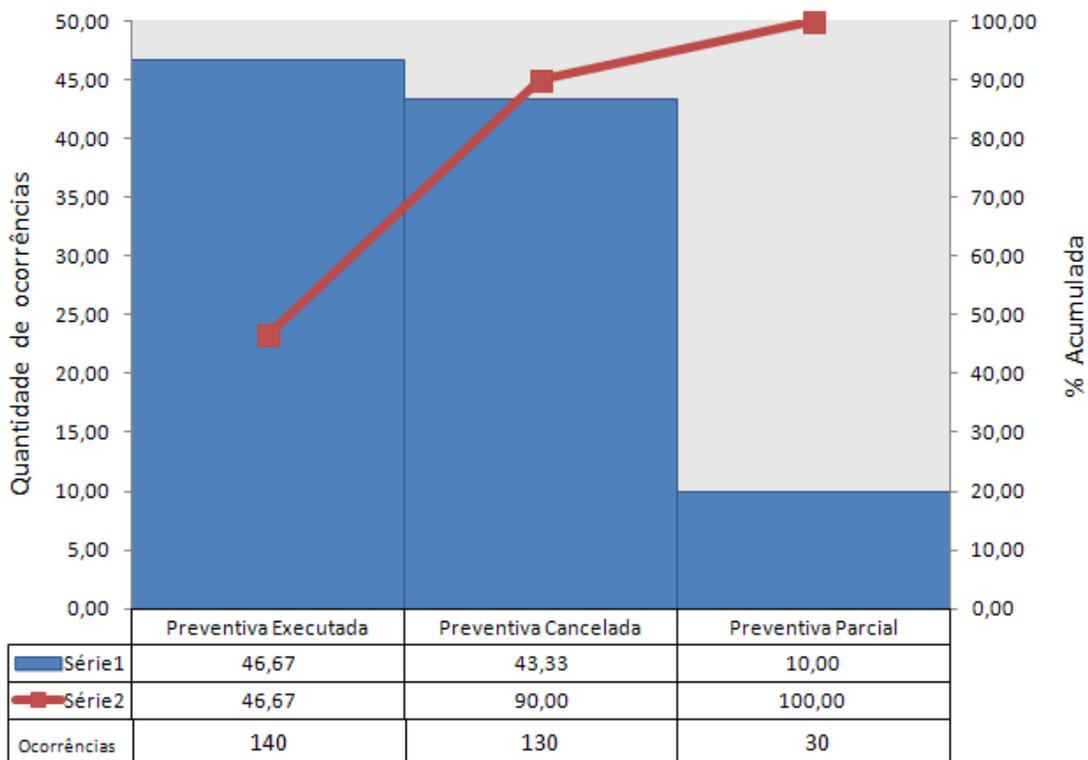
PREVENTIVA MECÂNICA ROLO COMPACTADOR (MENSAL)	
PASSO	DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE (SEMPRE QUE POSSÍVEL FAÇA CROQUI)
01	Verificar junto a operação a liberação do equipamento para manutenção
02	Solicitar o bloqueio do equipamento e todos os seus dispositivos elétricos.
03	Verificar alinhamento do acoplamento voith - 25RC01,02,03
04	Verificar condições das mangueiras de refrigeração dutos de lubrificação e instrumentos
05	Verificar engrenagem do redutor principal.
06	Verificar condições dos cabos da caixa de ligação dos motores
07	Verificar desgastes nas roscas helicoidais (Janela de visita)25RC01,02,03
08	Verificar desgaste do elastômero do acoplamento voith
09	Verificar pinos fusíveis do voith; (Parte interna deve está paralela com parafuso).
10	Verificar correias quanto a folgas, ressecamentos, dentada.
11	Verificar desgaste da polia motriz e movida.(aferr gornes com gabanto)
12	Verificar eixo cardan fixo ou móvel.(Área - 75)
13	Verificar chapas defletoras. Limite máx. de abertura de 03 a 05 mm de abertura
14	Testar e liberar o equipamento para operação.
01	Verificar chapas laterais.(funil de enchimento) Chapas L A e L O A;
02	Verificar chapas de proteção contra pó (superiores) Rolo Móvel e Rolo Fixo;
03	Verificar canais de refrigeração. Rolo Móvel e Rolo Fixo;
04	Verificar Sincronismo entre os rolos;
05	Verificar desgastes nas camisas; (profundidade dos alvéolos);
06	Verificar abertura entre rolos: (sistema pressurizado)
07	Verificar dimensionamento dos calços;

Fonte: empresa em estudo (2013).

Ao analisar os dados obtidos no sistema informatizado Máximo, foram levantadas 300 preventivas programadas para serem realizadas nos últimos cinco anos, deste total 140 (46,76%) foram executadas, 30 (10%) executadas

parcialmente e 130 (43,33%) canceladas, número este considerado muito alto, se comparado a uma meta de 90% de preventivas programadas e executadas.

Gráfico 02: Aderência à manutenção preventiva programada



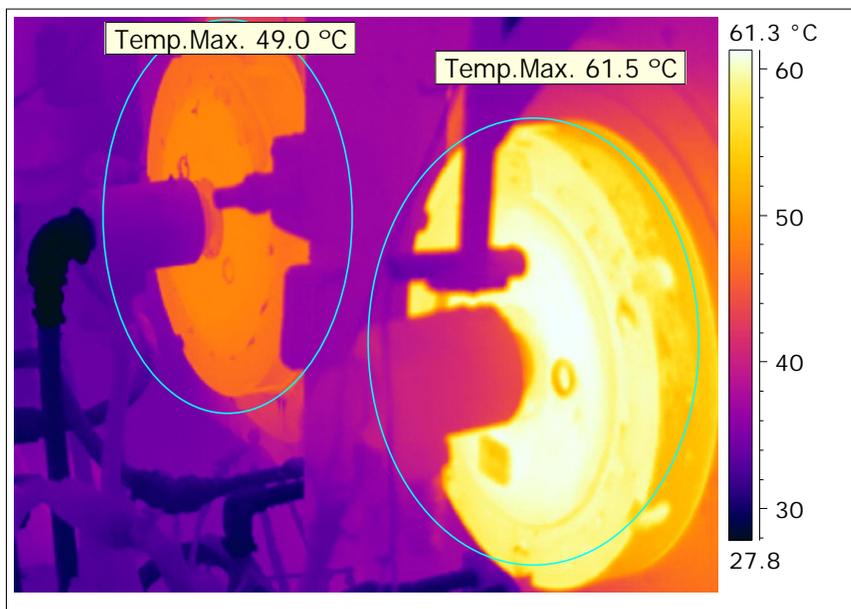
Fonte: sistema Máximo (Vale 2013)

Foi ponderado também que alguns itens de extrema relevância para a vida útil dos rolamentos não estão sendo executados, como exemplo a medição da vazão da graxa (lubrificante) e manutenção (limpeza, desobstrução e ajuste) dos labirintos que fixam e protegem os rolamentos, que executam o papel de impedir a penetração de agentes contaminantes. No passo 04 da folha de verificação da tabela 01, não há uma orientação clara sobre a forma que devem ser verificados e mantidos os dutos de óleo para pressurização dos macacos hidráulicos do rolo, já que estes costumam apresentar vazamentos durante a operação do equipamento.

Outro item importante que não esta sendo executado é o procedimento de limpeza química, que é necessário para a desobstrução dos canais de refrigeração nos eixos dos rolamentos dos RC`s, em detrimento da falta do cumprimento deste item os rolamentos operam com uma temperatura mais elevada que o normal,

reduzindo assim sua vida útil. A Figura 10 mostra uma imagem térmica de um rolamento com obstrução nos canais de refrigeração, que deveria operar com uma temperatura de 45°C, mas em consequência da obstrução, está operando com 61,5°C, próximo ao limite máximo de 65°C. A imagem real do mancal está representada na figura 11.

Figura 10 – Mancal com deficiência de refrigeração



Fonte: o autor (2013)

Figura 11 – Mancais de rolos compactadores



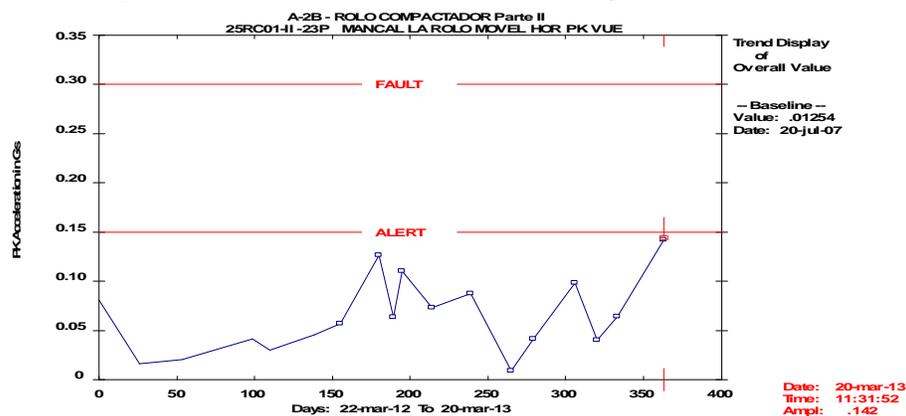
Fonte: o autor (2013)

4.2.2 Análise da Manutenção Preditiva

Os planos de manutenção preditiva aplicados nos rolos compactadores compreendem duas técnicas, sendo elas termovisão e análise de vibração. No primeiro plano com periodicidade mensal é executada a termovisão nos rolamentos dos rolos compactadores, geralmente esta técnica detecta um problema quando o mesmo já está instalado, dificultando a previsibilidade e preparação de recursos para intervenção, na realidade a técnica remete a manutenção corretiva. O software de termovisão também é muito básico, dificultando a formação de tendência de defeito, o que auxiliaria na tomada de decisão do analista. Porém esta técnica é uma ferramenta poderosa, por abranger uma extensa faixa de cobertura de forma rápida e permitir a visualização de pequenos pontos de aquecimento e seu ponto de origem.

A análise de vibração é a técnica de manutenção preditiva mais importante e difundida nas indústrias atualmente, como todas as ferramentas de monitoração ela tem por finalidade indicar a necessidade de intervenção com base na condição do equipamento. Conforme mencionado anteriormente um rolo compactador possui quatro rolamentos, que são monitorados por análise de vibração. O plano de manutenção preditiva contempla uma coleta de vibração quinzenalmente, esses dados são analisados e emitido relatório técnico, apontando os desvios da condição de funcionamento. Ao analisar a Figura 12, observamos que as coletas de vibração não formam tendência, para que um desvio de condição seja acompanhado e diagnosticado a contento.

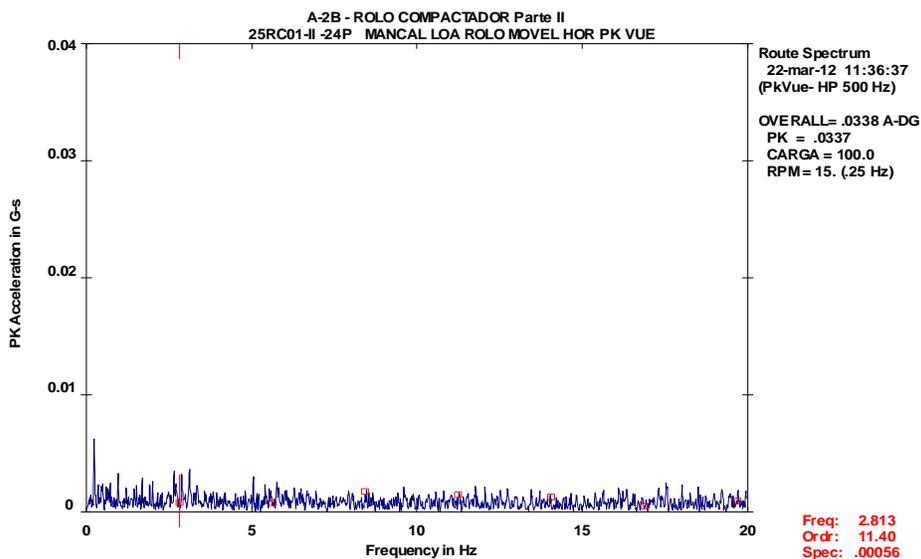
Figura 12: Tendência de coleta de vibração no rolamento



Fonte: autor da pesquisa (2013)

As Figuras 13 e 14, mostram um comparativo entre dois gráficos de rolamento sem defeito, ou seja, em condição normal de funcionamento, e o outro apresentando defeito em operação, respectivamente.

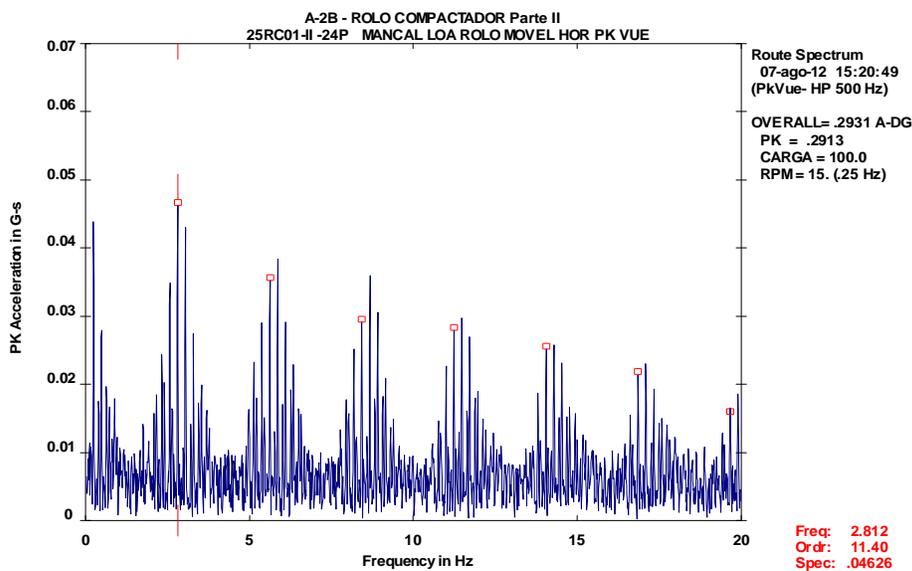
Figura 13: Espectro de rolamento sem defeito



F

Fonte: autor da pesquisa (2013)

Figura 14: Espectro de rolamento com defeito



Fonte: autor da pesquisa (2013)

Outro elemento importante, é que existem rolamentos em que os gráficos apontam defeito, mas os mesmos operam por mais de 15 meses, sem que ocorra falha. Este tipo de situação força o planejamento de manutenção a tomar uma decisão infundada, gerando despesas desnecessárias por substituição antecipada do componente (rolamento) ou aguardando o equipamento operar até que a falha ocorra, comprometendo metas de produção, custos e a credibilidade do analista de vibração e da equipe de manutenção.

4.3 Custos Envolvidos na Quebra dos Rolamentos: Manutenção Preditiva (MP) e Manutenção Corretiva (MC)

A falha de um equipamento é sempre um evento indesejável, para evitar que isso ocorra são empregados os métodos de manutenção preventiva, como o nome diz, prevenir os sinistros com técnicas que buscam a antecipação e mitigação programada do mesmo, que consistem em monitorar a condição dos componentes, evitando a troca prematura ou a própria falha. Nos rolos compactadores não é diferente, a condição ideal é que independente do tempo de operação desses rolamentos a manutenção preditiva através da análise de vibração possa dar subsídio técnico para substituí-los o mais próximo possível do final de sua vida útil levando em consideração a análise de risco com margem de segurança operacional. O Quadro 02 faz um comparativo entre o custo de substituição de um rolamento de rolo compactador por tempo de operação, sem que ocorra a quebra e a substituição por falha com a substituição do rolamento por quebra/falha.

Quadro 02 – Custos de substituição de rolamentos: MP x MC

	Manutenção Corretiva (R\$)	Manutenção Preditiva (R\$)
	Rolamento Quebrado	Rolamento Íntegro
Custos de Recuperação	0,00	17.300,00
Recuperação do eixo danificado	55.580,00	0,00
Rolamento novo	43.000,00	0,00
Custos com materiais de montagem	3.522,00	0,00
Mão de obra total	2.060,00	2.060,00
TOTAL	104.162,00	19.360,00

Fonte: Autor da pesquisa (2013)

Quando aplicada corretamente, a manutenção preditiva torna-se uma ferramenta essencial para diminuição de custos na manutenção. No caso dos rolamentos dos RC's, o custo de substituição condicional (sem quebra) representa 18,58% da substituição corretiva, ou seja, após a quebra. Existem outros custos envolvidos nas quebras por corretivas, entre eles o principal é o custo operacional gerado pela perda de produção conforme visualizado no Quadro 03.

Tabela 03 – Impactos na produção: MP x MC

	Manutenção Corretiva (R\$)	Manutenção Preditiva (R\$)
Tempo de parada	72 h	48 h
Preço do KCI (média)	800,00	800,00
TOTAL	57.600,00	38.400,00

Fonte: Autor da pesquisa (2013).

A quantificação monetária mensurada com a perda operacional na MP é de R\$ 19.200,00 (33,33%) a menos que na MC. Outro fator impactante é a falta de confiabilidade do equipamento, porque a parada pode ocorrer num momento crítico onde a demanda de produto pode estar elevada, podendo gerar falta de credibilidade com o cliente, além de uma imagem negativa das pessoas da

manutenção e baixa estima dos colaboradores. Somando os custos totais de manutenção e produção, a diferença de custo cessante chega a R\$ 104.002,00 a mais quando há uma quebra nos rolamentos. Estas perdas justificam dessa forma, uma estratégia de manutenção voltada para manutenção condicional dos rolamentos dos rolos compactadores.

4.4 Análise dos rolamentos quebrados

Ao verificar um dos rolamentos onde ocorreu a quebra (falha), conforme a Figura 15 pode ser observado o rompimento dos elementos rolantes e gaiola, assim como a quebra das pistas externa e interna. Foi observado que a graxa de lubrificação apresenta característica de viscosidade maior do que o normal, com indícios de que não houve circulação inadequada do lubrificante em questão. Um item importante e que não consta no plano de manutenção preventiva, é a verificação da vazão da graxa de lubrificação dos rolamentos, que conforme manual do equipamento deve ser 19,80 g/h. O rolamento também apresenta características de elevado esforço, que poderá ocorrer devido as sobrecargas no rolo compactador.

Figura 15 – Rolamento quebrado



Fonte: autor da pesquisa (2013)

4.5 Análise das Causas de Falha da quebra de rolamento do RC

Após avaliar os desvios citados anteriormente, foram reunidos técnicos, mecânicos e operadores, onde foi realizado um *brainstorm* que apontou para seis itens considerados preponderantes e classificados como prováveis para as falhas dos rolamentos. Estes itens foram devidamente organizados no Quadro 04.

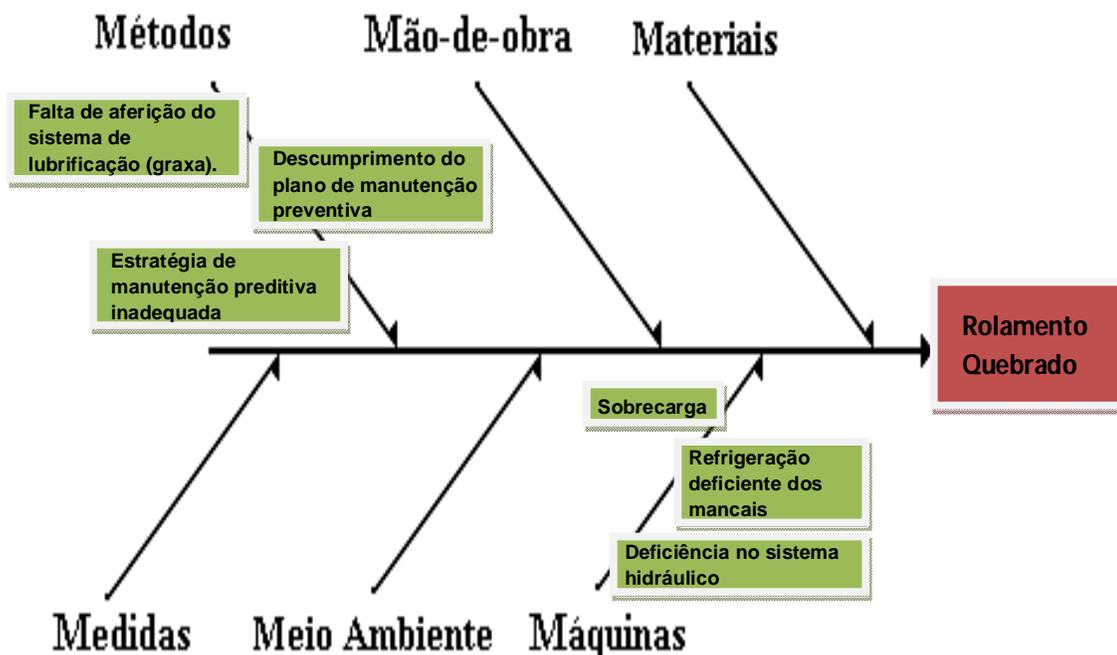
Quadro 04 – Causas de Falhas da quebra de rolamentos dos rolos compactadores

MODO DE FALHA	CAUSAS	CLASSIFICAÇÃO
ROLAMENTO QUEBRADO	01 - Descumprimento do plano de manutenção preventiva	Provável
	02 – Sobrecargas	Provável
	03 - Refrigeração deficiente dos mancais	Provável
	04 - Deficiência do sistema hidráulico (pressurização)	Provável
	05 - Estratégia de manutenção preditiva inadequada	Provável
	06 – Falta de aferição do sistema de lubrificação (graxa).	Provável

Fonte: autor da pesquisa 2013

As causas de falhas nos rolamentos foram devidamente dispostas no diagrama de Ishikawa, conforme a Figura 16.

Figura 16 - Diagrama de Ishikawa referente as quebras nos rolamentos dos RC



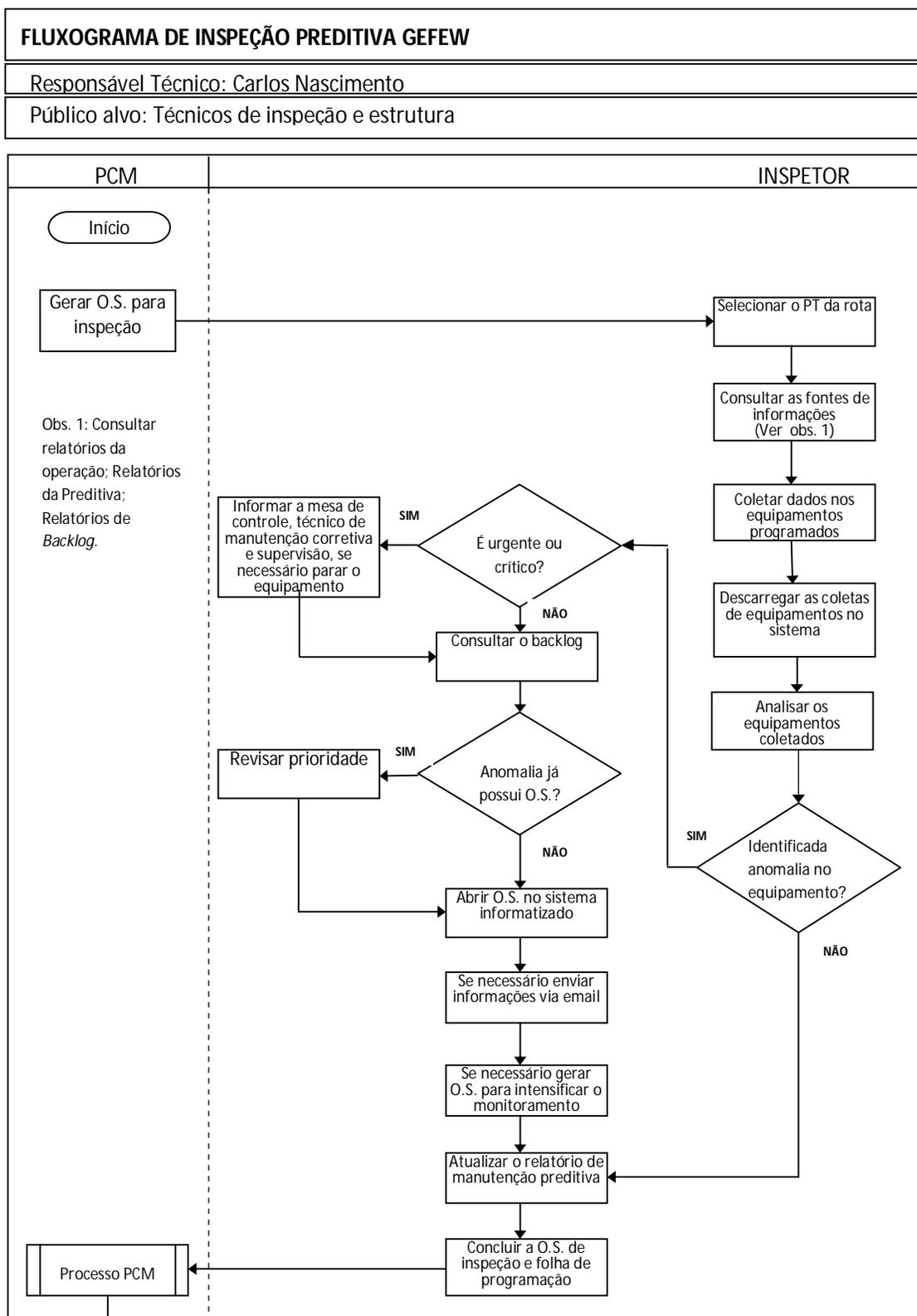
Fonte: autor da pesquisa (2013)

Conforme pode ser observado no diagrama de Ishikawa, as causas das falhas concentram-se na categoria métodos e máquinas. Nos métodos podemos verificar a falta de aferição da vazão da graxa de lubrificação, o sistema de lubrificação possui sensor de fluxo de graxa, mas o mesmo verifica apenas se há passagem do fluido, independente da vazão. A bomba de lubrificação pode apresentar desgaste nas engrenagens, ou vazamento nas conexões das tubulações que são de difícil acesso. A medição/aferição das vazões garantiria a lubrificação na medida correta os rolamentos.

Foi verificado descumprimento do plano de manutenção preventiva em detrimento da equipe de mantenedores estarem em ocorrências de manutenção corretiva em outros equipamentos. Este tipo de situação causa um alongamento no desgaste de determinados componentes dos rolos compactadores e atividades importantes como a limpeza química dos canais de refrigeração dos eixos dos rolos são adiadas ou descumpridas.

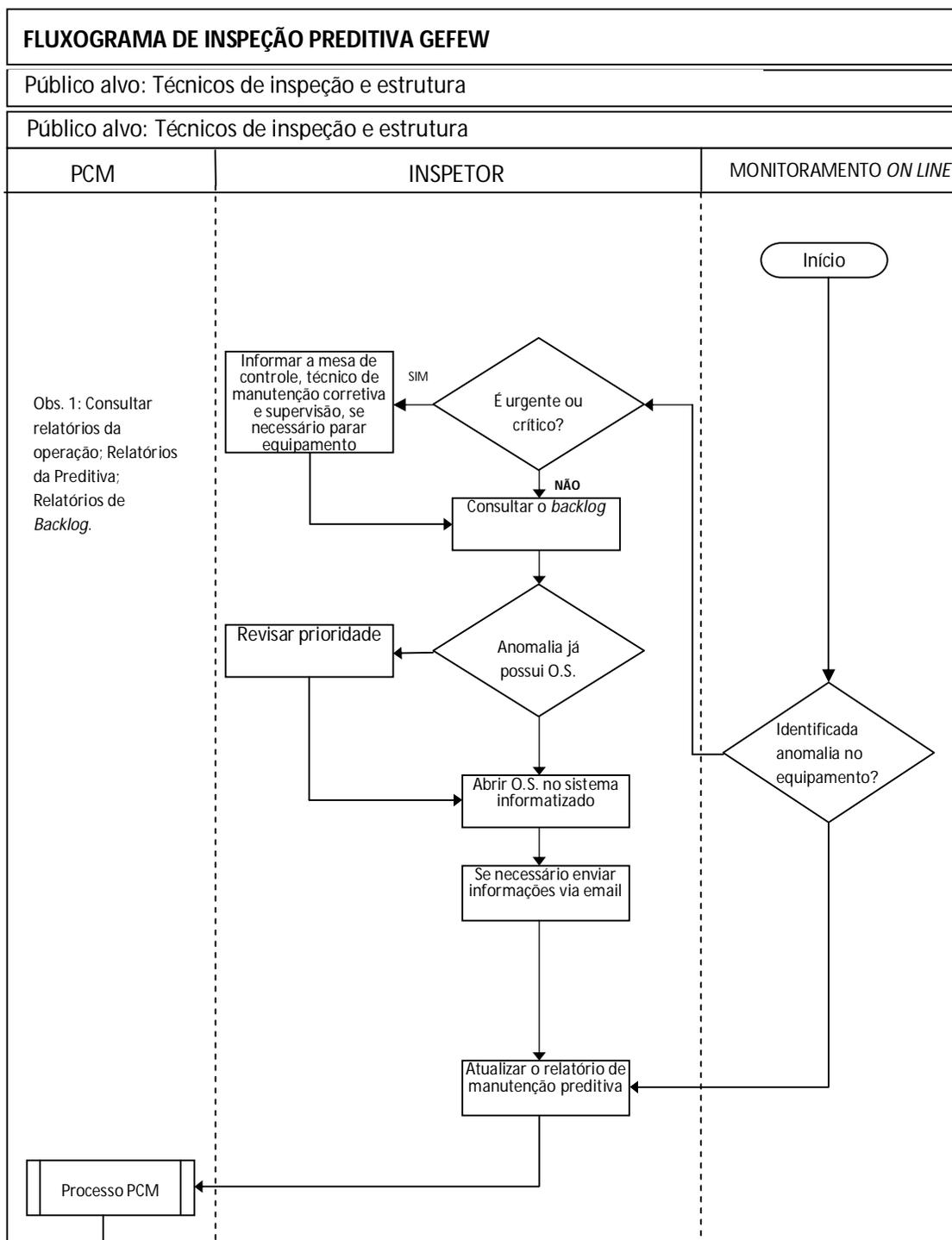
A manutenção preditiva através da análise de vibração não vem conseguindo identificar, acompanhar ou diagnosticar defeitos nos rolamentos. Isto ocorre porque os rolos compactadores são equipamentos que operam em baixa rotação, sendo assim, precisaria de um maior número de coletas para gerar uma amostragem suficiente para gerar uma tendência de defeito. Neste caso uma alternativa seria a implantação de um sistema de monitoramento *on-line*, onde poderiam ser coletadas mais de cinquenta amostras por dia ao invés de duas amostras ao mês, como é feito atualmente. No sistema de monitoramento *on-line*, o software pode ser configurado com um range de alerta para alarmar sempre que atingido o valor pré estabelecido, os dados são enviados automaticamente em tempo real para o computador do analista de vibração. No sistema automatizado o processo de inspecionar o equipamento é mais simples e a margem de erro é menor, o Figura 17 mostra o procedimento de coleta e análise de vibração na forma manual como é executado atualmente. A Figura 18 mostra o procedimento de coleta de forma automática *on line*.

Fiura 17 – Procedimento de coleta manual de vibração



Fonte: adaptado de Vale (2013)

Figura 18 – Procedimento de monitoramento *on line* de vibração



Fonte: adaptado de Vale (2013)

Como observado o sistema *on line* de monitoramento de vibração, reduz o as etapas para análise e acompanhamento dos equipamentos.

Quanto à deficiência no sistema hidráulico, foram verificadas várias ocorrências no sistema informatizado, sobre vazamentos nos tubos de pressurização dos mancais dos rolamentos em estudo. O fato foi descrito também por operadores e mantenedores do equipamento. Este sistema é responsável por aplicar uma pressão lateral nos rolamentos de 220 bar, quando há a ocorrência de vazamentos o sistema perde pressão e o par de rolamentos opera desalinhado. A consequência do desalinhamento pode ser vista na Figura 19, onde foi registrado um rolamento com desgaste em apenas uma das pistas do anel interno.

Figura 19 – Rolamento com desgaste por desalinhamento entre mancais



Fonte: autor da pesquisa (2013)

Os esforços causados por desalinhamento excessivo nos rolamentos causam tensões concentradas em apenas uma das pistas internas, que por consequência eleva o atrito entre as partes fixas e móveis e degradação das mesmas. Uma alternativa para evitar este tipo de ocorrência seria a substituição dos tubos rígidos por onde flui o óleo hidráulico por mangueiras hidráulicas flexíveis, que absorvem melhor a vibração do equipamento. Os rolos compactadores possuem monitoramento das pressões do sistema hidráulico em tempo real, a instalação de alarme no sistema *on line*, quando os níveis de pressão entrassem em desequilíbrio, evitaria a operação com o sistema desalinhado.

Quanto às sobrecargas nos rolos compactadores, em conversa com os operadores os mesmo relataram que ocorre com certa frequência a passagem de peças metálicas entre os rolos, como marretas, parafusos, sobras de manutenção, chapas de desgaste, entre outros. Sabemos que a depender da velocidade que passam esses “corpos estranhos”, não há tempo do equipamento desarmar ou despressurizar o sistema hidráulico. A Figura 20 mostra a imagem de um rolamento quebrado com características de sobrecarga, onde houve um esforço elevado, causando o colapso dos componentes internos e externos.

Figura 20- rolamento quebrado com características de fadiga por sobrecargas



Fonte: autor da pesquisa (2013)

Uma forma de evitar os eventos de sobrecargas seria a instalação de extratores de sucata na parte superior de alimentação dos silos dos RC's impedindo que materiais metálicos passem entre os eixos do rolo. Aliado a limitação da corrente máxima de operação do motor elétrico os eventos de sobrecargas diminuiriam substancialmente, aumentando a vida útil dos rolamentos e demais componentes do equipamento.

4.6 Propostas de melhoria

Após analisar os eventos apontados como principais causadores das quebras dos rolamentos nos rolos compactadores, foi montado o Quadro 05 com as ações propostas para bloquear ou minimizar o problema em estudo.

Quadro 05 – Propostas de melhorias para evitar a quebra de rolamentos nos rolos compactadores

O que?	Porque?	Quem?	Quando?	Onde?	Como?
Incluir procedimento de aferição do sistema de lubrificação na preventiva	Evitar deficiência de lubrificação nos rolamentos dos Compactadores	Supervisão de manutenção	A partir de 01/08/2013	Plano de manutenção	Coletar a graxa dos pontos de lubrificação, pesar e comparar com o padrão (g/h).
Contratação de mão de obra	Para cumprir o plano de manutenção preventiva anual, em 100%	Recursos Humanos	A partir de 01/08/2013	Manutenção	Através do programa específico de seleção de pessoas da empresa.
Instalar sistema <i>on line</i> de monitoramento de vibração dos rolamentos	Aumentar a quantidade de amostras para auxiliar o diagnóstico do analista de vibração	Supervisão de manutenção	A partir de 01/08/2013	Rolos Compactadores	Selecionar o sistema junto aos principais fabricantes.
Instalar extrator de sucatas	Evitar materiais metálicos e outros "corpos estranhos" entre os eixos do compactador	Supervisão de manutenção	A partir de 01/08/2013	Rolos Compactadores	Solicitar o estudo para instalação junto à engenharia de manutenção.
Limitar a corrente de operação do motor	Evitar/atenuar sobrecargas na câmara de compactação	Supervisão de manutenção	A partir de 01/08/2013	Rolos Compactadores	Solicitar a modificação junto à engenharia de manutenção.
Substituir os tubos rígidos do sistema hidráulico por mangueiras flexíveis e monitoramento <i>on line</i> da pressão de trabalho	Evitar vazamentos no sistema	Supervisão da manutenção	A partir de 01/08/2013	Rolos Compactadores	Realizar a compra de mangueiras hidráulicas e cadastrá-las como item de reposição/ Configurar PLC para alarmar quando ocorrer diferencial de pressão de trabalho.

Fonte: autor da pesquisa

Com a aplicação das melhorias citadas na tabela 05, os rolamentos dos rolos compactadores deverão operar com maior confiabilidade, aumentando sua disponibilidade e contribuindo para o alcance das metas de manutenção e produção da companhia.

5 CONCLUSÃO

As mudanças e inovações são cada vez maiores nas indústrias, até mesmo para os sistemas já experimentados, que operam há muitos anos, e que aparentemente os profissionais já mapearam seus principais problemas, podem apresentar um grande espaço para melhorias e aplicação de novas tecnologias.

Este estudo de caso demonstrou através da investigação, baseada por técnicas de análises consolidadas, que é possível melhorar de forma significativa a condição de operação dos equipamentos, trazendo ganhos reais de produção e financeiros na manutenção. Os tipos de falhas identificados como causadores das quebras de rolamentos nos rolos compactadores devem ser tratados afim de aumentar a vida útil dos mesmos.

Aplicação da manutenção preventiva, inovação nas técnicas preditivas, observação e análise crítica, aliadas a profissionais sempre determinados a melhorar os processos produtivos, essa deve ser a postura das pessoas de manutenção. Por fim, o autor deste estudo de caso acredita ter atingido os objetivos almejados e espera que a empresa em estudo adote as melhorias propostas, visando manter os rolos compactadores, em condições ótimas de operação, com confiabilidade, disponibilidade e segurança para todos os envolvidos nos processos de manutenção e operação.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT. **NBR 5462-94 Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- BATISTA, E. U. R. **Guia de orientação para trabalhos de conclusão de curso: relatórios, artigos e monografias**. Aracaju: FANESE, 2011.
- BRANCO FILHO, Gil. **A Organização, o Planejamento e o Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda, 2008.
- BRANCO FILHO, Gil. **Dicionário de termos de manutenção e confiabilidade**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda, 2000.
- CAMPOS, Vicente Falconi. **Controle da Qualidade Total** . 7. ed. Nova Lima – MG: INDG – Tecnologia e Serviços Ltda, 2004.
- KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio; BARONI, Tarcísio. **Gestão estratégica e técnicas preditivas**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.
- LAS CASAS, Alexandre Luzzi, **Qualidade Total em Serviços: Conceitos, Exercícios, Casos Práticos**. 5º Edição. São Paulo: Editora Atlas S.A, 2006.
- Manual de Beneficiamento de Potássio da Vale**. Sergipe: Vale, 2013.
- Manual dos Rolos Compactadores**, Koppern. Rosário do Catete: Vale 1983.
- MARSHALL JUNIOR, Isnard, et al, **Gestão da Qualidade: Série gestão empresarial**. 8º Edição. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2010.
- MOTTER, Osir. **Manutenção Industrial: O Poder Oculto na Empresa**. São Paulo: Editora Hemus, 2002.
- NASCIF, Júlio; DORIGO, Luiz Carlos. **Manutenção orientada para resultados**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.
- OLIVEIRA, Silvio Luiz de, **Tratado de Metodologia Científica: projetos de pesquisa, TGI, TCC, monografias, dissertações e teses**. 2º edição. São Paulo: Editora Pioneira, 2002.
- SIQUEIRA, Yone Patriota de, **Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação**. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2005.
- VIANA, Herbert R.G. **Planejamento e controle da manutenção**. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2002.
- WERKEMA, Maria Cristina Catarino. **Seis sigma: criando a cultura seis sigma**. Volume 1. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.
- XENOS, H.G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**, Belo Horizonte: editora de desenvolvimento gerencia, 2004.