**Universidade Federal do Espírito Santo**

**Centro Tecnológico**

**Departamento de Engenharia Mecânica**

**Projeto de Graduação**

**Chrystian Horsth Pereira**

**Henver Effgen Ludovico Ramos**

**Análise de falha de transportador de correia da pelotização: Estudo de caso**

**Vitória**

**2011**

**Universidade Federal do Espírito Santo**

**Centro Tecnológico**

**Departamento de Engenharia Mecânica**

**Projeto de Graduação**

**Chrystian Horsth Pereira**

**Henver Effgen Ludovico Ramos**

**Análise de falha de transportador de correia da pelotização: Estudo de caso**

Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica do Centro Tecnológico, como requisito para a obtenção do Grau de Engenheiro Mecânico, sob a orientação da Professora Karin Faria Pinho.

**Vitória**

**2011**

**Chrystian Horsth Pereira**

**Henver Effgen Ludovico Ramos**

**Análise de falha de transportador de correia da pelotização: Estudo de caso**

Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica do Centro Tecnológico, como requisito para a obtenção do Grau de Engenheiro Mecânico, sob a orientação da Professora Karin Faria Pinho.

Aprovado em \_\_ de \_\_\_\_\_\_\_\_ de 2011.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

**Profª. Me. Karin Faria Pinho**

**Orientadora**

**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

**Prof. Me. Oswaldo Paiva Almeida Filho**

**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

**Eng. Pablo Altoé Amorim**

**Dedicatória**

À Deus, familiares e amigos

**Agradecimentos**

Em primeiro lugar agradeço a Deus. Sem Ele nada do que conquistei teria sido possível, agradeço pela força, fé, proteção e por estar comigo todos os dias.

Aos meus familiares, que acompanharam, torceram pela minha vitória, entenderam minhas ausências, mas que sempre estiveram comigo, agradeço de forma especial a minha mãe que sempre me deu suporte e foi a grande incentivadora não me deixando fraquejar nos momentos difíceis. A minha esposa que esteve ao meu lado desde o início me apoiando incondicionalmente e foi primordial para a conclusão de meu curso.

Aos profissionais que convivi desde que iniciei meu trabalho na VALE, aos gestores que me compreenderam e incentivaram meu crescimento tanto na empresa quanto na Universidade. Faço uma referência especial ao Supervisor Ronieli Bolsoni, que não mediu esforços para me ajudar no desenvolvimento tanto deste Projeto quanto nos últimos períodos de curso.

E a todos que direta, ou indiretamente contribuíram para a minha chegada até aqui.

**OBRIGADO!!!!**

**Chrystian Horsth Pereira**

**Agradecimentos**

Agradeço a Deus primeiramente, pois Ele me acompanhou e permitiu que fizesse este projeto de baixo da sua graça.

Aos pais, irmã e familiares, que a todo tempo estiveram ao meu lado, me apoiando e auxiliando nos mais diversos assuntos.

Aos companheiros de curso, que me ajudaram e solucionaram duvidas do curso.

Não posso esquecer os queridos irmãos da igreja de Jardim da Penha, que por certo nunca se esqueceram de mim em suas orações.

**À todos estes o meu muito obrigado.**

**“...Até aqui nos ajudou o Senhor” - 1 Samuel 7:12.**

**Henver Effgen Ludovico Ramos**

**RESUMO**

Este Projeto de Graduação foi elaborado com o objetivo de analisar a falha de um equipamento crítico para a produção e sugerir possíveis ações de melhoria que garantam maior confiabilidade operacional para uma planta industrial. Trata-se de uma ocorrência em um transportador de correia do pelotamento, etapa do processo de produção de pelotas, que desencadeou a paralisação do processo produtivo por 58,34horas em 2010 e consequente perdas associadas. Tal fato aconteceu na Usina VII da VALE devido à quebra do tambor de acionamento do transportador de correia 7P34. Com a finalidade de identificar a causa raiz do problema, foi realizado um estudo das falhas, seguindo a metodologia padrão de análise de falha adotada pela empresa em questão. Além da realização de uma análise específica e detalhada para a falha do equipamento objeto de estudo deste trabalho, tentou-se estabelecer uma correlação com falhas registradas para equipamentos similares, localizados em diferentes usinas da mesma empresa. Entretanto, não foram encontradas evidências de correlação com as falhas registradas para os demais equipamentos analisados. A causa raiz obtida não se relaciona diretamente com transportador de correia, mas sim ao desvio de função de um item que opera no equipamento subsequente do processo de pelotização, ocasionando a elevação da temperatura ambiente de trabalho do referido transportador, o que provocou desalinhamentos frequentes da correia, em virtude da mesma estar operando fora das condições normais de sua especificação. Por fim, foram apresentadas sugestões de melhoria para evitar, ou reduzir, o risco de recorrência das falhas observadas.

Palavras-chave: falha; análise de falha; transportador de correia; pelotização; VALE.

***ABSTRACT***

This graduation project was elaborated with the objective of analyzing the failure of a critical equipment for the production and suggest possible improvement actions to ensure greater operational reliability for an industrial plant. It is an occurrence in a pelletizing belt conveyor, stage of pellet production, which triggered the shutdown of the production process by 58.34 hours in 2010 and subsequent associated losses. This actually happened in VALE Plant VII due to breakage of the barrel drive of the 7P34 conveyer belt. In order to identify the source cause of the problem, a study of failure was conducted, following the standard methodology of failure analysis adopted by the company in question. Besides the performing a specific and detailed to the equipment failure object of the present study, was attempted to establish a correlation with failures recorded for similar equipment located on different plants of the same company. However, was not found any evidence of correlation with failures recorded for other equipment analyzed. The source cause is not related directly obtained with conveyor belt, but the deviation function of an item that operates on the equipment subsequent pelletizing process, causing the temperature rise of this work environment conveyor, leading to frequent misalignment of belt, by fact that it is operating outside its normal specification. Finally, suggestions for improvement were made ​​to prevent or reduce the risk of recurrence of failures observed.

*Keywords: failure, failure analysis, conveyor belts, pellet; VALE*

**LISTA DE SIGLAS**

**ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas

**CVRD** – Companhia VALE do Rio Doce

**DIPE** – Diretoria de Pelotização

**EFVM** – Estrada de Ferro Vitória- Minas

**GAMEP** – Gerência de Manutenção Tubarão I – IV Pelotização

**GAMIP** – Gerência de Manutenção Tubarão V – VII Pelotização

**GAMAP** – Gerência de Manutenção Mecânica DIPE

**GAGRP** –Gerência de Manutenção Grandes Reparos Pelotização

**LNA** – Lado Não Acoplado

**kW** – *Kilowatt*

**MES** – *Manufacturing Execution System*

**MG** – Minas Gerais

**mm** – milímetros

**m/s** – metros por segundo

**NBR** – Norma Brasileira

**OS** – Ordem de Serviço

**PT** – Plano de Trabalho

**PRO** –Preocedimento Operacional da VALE

**SISPTA** – Sistema do Programa de Tratamento de Anomalias

**ton/h** – toneladas por hora

**3P16** –Referente ao Transportador de Correia

**5P33** –Referente ao Transportador de Correia

**5W2H** – Referente ao Método dos Porquês

**6P33** –Referente ao Transportador de Correia

**7P34** – Referente ao Transportador de Correia (usina VII)

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 – Etapas do processo de pelotização da VALE……………………19

Figura 2 – Exemplo do Gráfico de Pareto……………………………………..30

Figura 3 – Exemplo do Diagrama de Causa e Efeito………………………..31

Figura 4 –Transportador de Correia……………………………………………37

Figura 5 – Localização do Transportador de Correia………………………..46

Figura 6 – Quantidade de paradas da 5P33 x Natureza de 04/2000 a 11/2010 ……………………………………………………………………………………..49

Figura 7 – Duração de paradas(h) da 5P33 x Natureza de 04/2000 a 11/2010……………………………………………………………………………49

Figura 8– Ocorrências apropriadas à Vulcanização na 5P33 x modo de falha relacionado no período de04/2000 a 11/2010……………………………….50

Figura 9 – Quantidade de paradas da 6P33 x Natureza de 04/2000 à 11/2011……………………………………………………………………………50

Figura 10 – Duração de paradas(h) da 6P33 x Natureza de 04/2000 à 11/2011……………………………………………………………………………51

Figura 11 – Ocorrências apropriadas à Operação na 6P33 x modo de falha relacionado no período de04/2000 a 11/2010 ………………………………51

Figura 12 – Quantidade de paradas da 7P34 X Naturezade 04/2000 a 11/2010……………………………………………………………………………52

Figura 13 – Tempo de paradas (h) da 7P34 X Natureza de 04/2000 a 11/2010……………………………………………………………………………53

Figura 14 – Quantidade de paradas 7P34 x Principais Responsáveis……53

Figura 15 – Quantidade de Intervenções na 7P34 ………………………….57

Figura 16 – Temperatura na Caixa de Vento nº1…………………………….58

Figura 17 – Vista superior do transportador…………………………………..61

Figura 18 – Autoalinhador Pneumático………………………………………..65

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Cronologia dos Fatos …………………………………………….54

Tabela 2 – Intervenções realizadas na Caixa nº1………………………….59

Tabela 3 – Plano de Ação…………………………………………………….64

**SUMÁRIO**

[1 INTRODUÇÃO 14](#_Toc311797450)

[2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 16](#_Toc311797451)

[2.1 A EMPRESA 16](#_Toc311797452)

[2.2 PELOTIZAÇÃO 18](#_Toc311797453)

[2.2.1 PREPARAÇÃO DAS MATÉRIAS PRIMAS 19](#_Toc311797454)

[2.2.2 FORMAÇÃO DE PELOTAS CRUAS 21](#_Toc311797455)

[2.2.3 PROCESSAMENTO TÉRMICO 21](#_Toc311797456)

[2.3 MANUTENÇÃO 21](#_Toc311797457)

[2.3.1 DEFINIÇÃO 21](#_Toc311797458)

[2.3.2 CONCEITOS 23](#_Toc311797459)

[2.3.3 TIPOS DE MANUTENÇÃO 24](#_Toc311797460)

[2.3.4 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO 25](#_Toc311797461)

[2.3.5 ANÁLISE DE FALHAS 26](#_Toc311797462)

[2.3.5.1 FALHAS RELACIONADAS À IDADE DO ATIVO 27](#_Toc311797463)

[2.3.5.2 FALHAS ALEATÓRIAS DE COMPONENTES SIMPLES 27](#_Toc311797464)

[2.3.5.3 FALHAS ALEATÓRIAS DE COMPONENTES COMPLEXOS 27](#_Toc311797465)

[2.3.5.4 CAUSAS FUNDAMENTAIS DAS FALHAS 27](#_Toc311797466)

[2.3.5.5 MÉTODOS PARA ANÁLISE DE FALHAS 28](#_Toc311797467)

[2.3.5.6 GRÁFICO DE PARETO 29](#_Toc311797468)

[2.3.5.7 DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO 30](#_Toc311797469)

[2.3.5.8 MÉTODO DOS PORQUÊS 31](#_Toc311797470)

[2.3.5.9 PLANO DE AÇÃO 32](#_Toc311797471)

[2.4 METODOLOGIA DE ANÁLISE DE FALHAS NA VALE 32](#_Toc311797472)

[2.4.1 PRAZOS PARA TRATAMENTO DE OCORRÊNCIAS 33](#_Toc311797473)

[2.4.2 CRITÉRIOS PARA ABERTURA DE REGISTRO DE TRATAMENTO DE FALHAS 33](#_Toc311797474)

[2.4.3 GESTÃO DO PLANO DE AÇÃO DO TRATAMENTO DE FALHAS 34](#_Toc311797475)

[2.4.4 DIVULGAÇÃO E REGISTRO DAS ÁREAS ENVOLVIDAS 34](#_Toc311797476)

[2.4.5 PROPOSIÇÃO E IMPLANTAÇÃO DE MODIFICAÇÕES E MELHORIAS 34](#_Toc311797477)

[3 TRANSPORTADORES DE CORREIA 36](#_Toc311797478)

[3.1 ESTRUTURA 37](#_Toc311797479)

[3.2 CORREIA 37](#_Toc311797480)

[3.3 TEMPERATURA DO MATERIAL 38](#_Toc311797481)

[3.4 TAMBORES 38](#_Toc311797482)

[3.5 ROLETES 38](#_Toc311797483)

[3.6 CONJUNTO DE ALIMENTAÇÃO 39](#_Toc311797484)

[3.7 CONJUNTO DE DESCARGA 39](#_Toc311797485)

[3.8 CONJUNTO DE ACIONAMENTO 39](#_Toc311797486)

[3.8.1 FREIOS 39](#_Toc311797487)

[3.8.2 CONTRA-RECUOS 39](#_Toc311797488)

[3.9 ESTICADOR DE CORREIA 40](#_Toc311797489)

[3.10 RASPADORES 40](#_Toc311797490)

[4 ESTUDO DE CASO 41](#_Toc311797491)

[4.1 TRANSPORTADOR DE CORREIA 7P34 41](#_Toc311797492)

[4.2 DESALINHAMENTO DE CORREIA 43](#_Toc311797493)

[4.3 IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS DE FALHA 43](#_Toc311797494)

[4.3.1 REGISTROS DAS FALHAS 43](#_Toc311797495)

[4.3.2 CRONOLOGIA DOS FATOS 50](#_Toc311797496)

[4.3.3 ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA 52](#_Toc311797497)

[4.3.3.1 TEMPERATURA EXCESSIVA NA ENTRADA DO FORNO: 52](#_Toc311797498)

[**4.3.3.2 EXCESSO DE TENSÃO NO TAMBOR DEVIDO AO ALINHAMENTO DA CORREIA ATRAVÉS DOS TIRANTES DE TENSIONAMENTO E ADIÇÃO DE CALÇOS** 56](#_Toc311797499)

[4.3.3.3 FALTA DE TOPOGRAFIA 56](#_Toc311797500)

[4.3.3.4 FALHA NO DIAGNÓSTICO E PREVISIBILIDADE DO PROBLEMA POR PARTE DA INSPEÇÃO 57](#_Toc311797501)

[4.3.3.5 TÉCNICAS DOS PORQUÊS 58](#_Toc311797502)

[4.3.3.6 PLANO DE AÇÃO 60](#_Toc311797503)

[5 PROPOSTAS DE MELHORIA 61](#_Toc311797504)

[6 SUGESTÃO PARA TRABALHO FUTURO 63](#_Toc311797505)

[7 CONCLUSÃO 64](#_Toc311797506)

[8 REFERÊNCIAS 65](#_Toc311797507)

# 1 INTRODUÇÃO

Uma das grandes preocupações que movem as grandes empresas, em parte do mundo, é a garantia da produção. Para que isso ocorra da melhor forma possível, são necessárias garantias de que seus equipamentos serão utilizados com confiabilidade para atender a demanda. Caso contrário poderá acarretar perda de produção e de rentabilidade. É importante destacar que todo processo que esteja na contramão dos acontecimentos previstos deve ser avaliado detalhadamente.

Como exemplo de processo incompatível com o aumento da produção podemos citar a perda da função de um item crítico de uma planta – que pode gerar danos não somente à capacidade produtiva, mas também colocar em risco a segurança e o meio ambiente. Com base nisto, vê-se a necessidade de planejar a manutenção a partir da criticidade dos processos e equipamentos para garantir a então capacidade produtiva.

Entretanto, apesar de planejamentos e manutenções, ainda é possível perceber falhas em elementos críticos, exigindo assim, medidas que sejam ao mesmo tempo rápidas e seguras para a resolução do problema. Como medida inicial faz-se uma análise de falhas nos materiais em questão para detectar falhas de projeto e a partir disto traçar um plano de ações de melhoria, prevenindo o acontecimento de novos fatos.

O presente Projeto de Graduação será constituído com base no processo supracitado. A situação a ser examinada será a análise de falhas no transportador de correia, especificamente no tambor de acionamento, da Usina VII da empresa VALE.

O interesse em desenvolver o presente trabalho vem da inserção de um dos componentes na empresa em questão a partir da situação real de conhecimento e tratamento do problema, o que gerou a vontade de propor melhorias para a empresa e a possibilidade de trocar informações com a academia, utilizando-se da teoria para dar base à prática.

A partir da referida metodologia foi possível estruturar o trabalho de forma que no primeiro capítulo será feito uma introdução da temática referência para que posteriormente, no segundo capítulo, sejam tratados aspectos gerais do local em que o referido Projeto foi desenvolvido, a empresa VALE, entre os aspectos tratados tem-se a história e desenvolvimento da empresa, com foco na área de pelotização.

No terceiro capítulo serão tratados aspectos referentes à manutenção, ressaltando os principais tipos e conceitos. Para dar continuidade ao processo da pesquisa em questão, fez-se necessário a abordagem do tema foco da mesma, ou seja, a análise de falhas, que dá título ao quarto capítulo, seguida da especificação do processo na empresa, finalizando com o Estudo de caso referente à Análise de Falhas do transportador de correia.

# 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## 2.1 A EMPRESA

Criada em 1942 como uma empresa estatal, a VALE, como é conhecida atualmente, surgiu a partir da Estrada de Ferro Vitória-Minas (EFVM), criada para atender a demanda distributiva de produtos agrícolas do VALE do Rio Doce, no ano de 1902. Entretanto, no ano de 1910 a mesma foi vendida a empresários ingleses que buscavam eletrificá-la e utiliza-la como rota de transporte de minério proveniente de Itabira (MG). (CORREA et.al.,2009)

Segundo Correa et.al. (2009), no ano de 1919 o empresário norte-americano Percival Farquhar comprou e, após mudanças (políticas e judiciais) ocorriedas durante anos a estrada foi “encampada” pela Companhia VALE do Rio Doce (CVRD), no ano de 1942, sob comando do Estado.

Após inúmeras modificações e modernizações, a CVRD ampliou seu potencial produtivo e seu poder de exportação de matéria-prima. Um dos fatores que contribuiu para tal crescimento foi a criação, em 1962, da Docenave[[1]](#footnote-1), e em 1966, a inauguração do Porto de Tubarão. (ZORZANELLI E BOREL, 2010) A partir deste cenário, a Companhia assumiu, no ano de 1975 a liderança mundial na exportação de minério de ferro. (CORREA et.al.,2009)

A década de 80, conhecida economicamente como Década Perdida, marcou um momento crítico para a CVRD, reflexo de um momento de grave crise econômica nacional e internacional. As demandas exigidas ao Brasil em relação ao comércio do minério forçaram o governo a rever a política mineral, investir em pesquisas com o objetivo de reverter o quadro crítico, entretanto, não foi possível lograr êxito devido à escassez de recursos financeiros. Porém, apesar do quadro desfavorável, a então estatal bate, no ano de 1989, novo recorde na extração de [minério de ferro](http://pt.wikipedia.org/wiki/Min%C3%A9rio_de_ferro), a partir do Projeto Grande Carajás[[2]](#footnote-2), na mesma década (CORREA et.al.,2009)

Outro importante momento de transformação para a CVRD foi sua privatização, em 1997, sob o governo do então presidente Fernando Henrique Cardoso. Nesta época, a produção anual da empresa girava em torno de 114 milhões de toneladas, mantendo a proporção nos dois anos subsequentes. No ano 2000, a empresa incorpora capital estrangeiro, através de outras empresas, elevando assim sua capacidade produtiva. (ZORZANELLI E BOREL, 2010)

No ano de 2007, a Companhia VALE do Rio Doce passa a ser VALE, que segundo o então presidente Roger Agnelli, em entrevista ao jornal O GLOBO (2007):

“Em qualquer lugar do mundo, a pronuncia VALE é fácil. VALE significa valor. É um nome curto e de fácil fixação. O logo, eu vejo um coração, porque adoro essas coisas de emoção. Pode ser um simbolo de infinito. Ao mesmo tempo, é um símbolo de VALE e de uma mineração a céu aberto já em seu plano final. Se colocar de cabeça para baixo, parece o triângulo de Minas Gerais.”

Em 2010, a VALE foi eleita a segunda maior mineradora diversificada do mundo, além de estar entre as 30 maiores companhias públicas negociadas e a maior empresa privada na América Latina. É também a maior produtora mundial de minério de ferro e pelotas, matéria-prima essencial para a indústria siderúrgica, e a segunda maior produtora de níquel. (ZORZANELLI E BOREL, 2010)

Como principal área de atuação da VALE, a mineração comporta diversos materiais, com destaque para o minério de ferro, níquel e alúminio, respectivamente. A partir do principal produto da mineradora, é possível produzir: granulados (material grosseiro peneirado), *Sinter feed* (processo de aglomeração de sinter, produto que alimenta o alto forno), *Pellet feed* (material super fino, alta concentração de ferro e baixo teor de impurezas) e Pelotas (pequenos aglomerados de minério de ferro utilizado como matéria-prima para a produção de aço). (ZORZANELLI E BOREL, 2010)

## 2.2 PELOTIZAÇÃO

A pelotização pode ser definida como processo de agrupamento da fração ultrafina gerada no beneficiamento do minério de ferro (abaixo de 0,15 mm) que, após tratamento térmico, é convertida em esferas de tamanhos que variam entre 8 a 18 mm, com particularidades apropriadas para alimentação das unidades de redução. (GARIGLIO e KLEIN,1994)

De acordo com Gariglio e Klein (1994), apresentam-se como etapas envolvidas no processo de pelotização os seguintes estágios:

- Preparação das matérias primas;

- Formação das pelotas cruas;

- Processamento térmico;

Para garantir que a qualidade das pelotas esteja de acordo com os padrões de qualidade exigidos pelo mercado consumidor, faz-se necessário que haja uma ampla integração entre os processos referidos anteriormente, considerando ainda que os mesmos são interdependentes, visto que para que o processo seja continuado, a etapa anterior influencia diretamente a posterior. Sendo assim, qualquer falha ocorrida em uma das etapas, dificilmente, poderá ser solucionada em outra (GARIGLIO e KLEIN,1994)

Cabe destacar que,

Todos os processos necessários para a formação de pelotas, desde a chegada do minério até a saída pelo porto, são realizados internamente. A ordem mostrada dos processos pode ser diferente em algumas usinas, dependendo da disponibilidade física dos recursos do local. (GARIGLIO e KLEIN,p.3.1994)

Figura 1- Etapas do processo de pelotização da VALE

Fonte: VALE//2011

### 2.2.1 PREPARAÇÃO DAS MATÉRIAS PRIMAS

Para que a matéria prima esteja em condições adequadas para iniciar o processo de pelotização é necessária a preparação da mesma. Esta preparação consiste na separação de constituintes indesejados (contaminantes), aumento do teor de ferro, no caso de minérios de baixo teor, e adequação da granulometria dos materiais às faixas de distribuição de tamanhos e de superfícies específicas adequadas à pelotização. (GARIGLIO e KLEIN,1994)

A matéria prima citada é composta por finos de minério de ferro, que após processo de pelotização torna-se produto nobre para ser utilizado em alto forno, onde se produz ferro gusa, e em forno de redução direta, para obtenção de ferro esponja. (GARIGLIO e KLEIN,1994)

Segundo Gariglio e Klein (1994), esta é a etapa na qual a mistura a pelotizar é preparada, sendo que, dependendo da demanda, podem ser acrescidos à mistura diferentes tipos “de minérios e aditivos, que modificarão a composição química e as propriedades metalúrgicas das pelotas” (GARIGLIO e KLEIN,1994. p.4).

Ainda segundo os autores, constituem estágios de preparação as seguintes etapas:

1. **Empilhamento de minério**: consiste na formação de pilhas, através de camadas de diferentes materiais, com o auxílio de uma empilhadeira, fazendo assim a homogeneização da matéria prima.
2. **Recuperação de minério**: é o processo de recuperação da matéria prima homogeneizada, através da recuperadora de caçambas, que por intermédio da correia transportadora é transferido para a moagem.
3. **Moagem**: é o processo de “redução da superfície específica do minério para uma granulometria adequada” (GARIGLIO e KLEIN,1994.p.5).
4. **Classificação**: processo pelo qual se separa o material que está ou não de acordo com a granulometria adequada. Em casos que o material não atenda as especificações, o mesmo retorna ao processo de moagem.
5. **Espessamento**: etapa de retirada do excesso de água para a adequação da densidade da polpa.
6. **Homogeneização da polpa**: etapa em que se busca “obter a estabilidade operacional e qualitativa do produto, economia de energia calorífica” (GARIGLIO e KLEIN,1994.p.5).
7. **Filtragem:** Etapa de retirada da umidade;
8. **Prensagem**: Processo subsequente filtragem, porém com características semelhantes ao processo de moagem, com o intuito de reduzir a superfície específica. Com a inserção da prensa é possível atingir maior produção e melhorar a qualidade do produto.
9. **Mistura**: Etapa em que serão adicionados os insumos necessários para o processo de pelotamento.

### 2.2.2 FORMAÇÃO DE PELOTAS CRUAS

A formação de pelotas cruas, que também pode ser chamada de pelotamento, tem por objetivo produção de pelotas que tenham forma e tamanho apropriado, dentro de uma faixa, além de resistência mecânica capaz de suportar as etapas de transferência e transporte entre os equipamentos de pelotamento e o de tratamento térmico. (GARIGLIO e KLEIN,1994)

### 2.2.3 PROCESSAMENTO TÉRMICO

A queima da pelota é um dos últimos processos pelo qual passará a pelota. Nesta etapa a mesma será queimada, adquirindo propriedades que não poderão ser revertidas, ou seja, as características físicas, químicas e metalúrgicas adquiridas pela pelota são definitivas. Segundo Gariglio e Klein (1994), esta etapa requer cuidados não somente pela irrevesão citada anteriormente, mas também pelo fato de que

os processos, envolvendo tratamento térmico com temperaturas elevadas, exigem atenção especial, para que não sejam expostos a riscos a qualidade do produto, a integridade dos equipamentos, bem como a segurança pessoal das pessoas que operam o sistema. (GARIGLIO e KLEIN,p. 9.1994)

## 2.3 MANUTENÇÃO

### 2.3.1 DEFINIÇÃO

De acordo com o dicionário Aurélio, manutenção pode ser definida como o conjunto de ações através das quais é possível garantir a permanência e a conservação de algo ou alguma situação. Completando o pensamento, Ferreira (1999) diz que são “cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento regular e permanente de motores e máquinas”. (FERREIRA 1999 p. 1279)

É importante destacar que, o conceito de manutenção sofreu alterações, visto que o mesmo era entendido como retorno dos equipamentos aos padrões originais. Com a referida mudança, passou-se a entender a manutenção como forma de “garantir a disponibilidade da missão dos equipamentos e instalações de modo a atender um processo de produção ou de serviço, com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custo adequados”. (KARDEC;NASCIF,2006 p.22)

Outro conceito encontrado acerca da temática está na Norma Brasileira (NBR) 5462 que define a manutenção da seguinte forma:

A combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em estado no qual possa desempenhar uma função requerida. Manutenção pode incluir como atividade e modificação de um item ou de um processo. (ABNT 5462, 1994)

Assim, é possível perceber que a manutenção é um tema que é definido de diferentes formas, ângulos e finalidades. Em Lafraia (2002), a definição é voltada para a permanência ou readequação de determinado item a um estado que o permita executar a função que lhe cabe.

Conforme citado anteriormente, muitas são as idéias acerca da temática, sendo assim, Silva (1994) ao citar Mirshawka e Olmedo (1993) retrata a seguinte concepção “o conjunto de atividades e recursos aplicados aos sistemas e equipamentos, visando garantir a consecução de sua função dentro de parâmetros de disponibilidade, de qualidade, de prazo, de custos e de vida útil adequados” (MIRSHAWKA E OLMEDO, 1993 apud SILVA, 1994 p.13). Nesta definição é possível encontrar um ponto que a difere das outras apresentadas até o presente momento: a atenção ao processo complexo que influencia a produção e qualidade dos produtos.

Como referência, o presente Projeto de Graduação adotará a última definição citada, entendendo-a como uma forma completa de entender todo o processo que envolve a manutenção, desde a importância de preservação de equipamentos críticos até a finalização do produto.

### 2.3.2 CONCEITOS

Nos processos de manutenção existem alguns conceitos que estão ligados à necessidade da mesma cujas definições seguem abaixo:

#### Falha – de acordo com a NBR 5462 (1994) é possível definir falha como “Término da capacidade de um item desempenhar a função requerida” (p.3). destaca-se que a referida norma faz uma distinção entre falha e pane, sendo o primeiro um evento e o segundo um estado proveniente do primeiro.

#### Pane – de acordo com a NBR 5462 (1994) é possível entender pane como um estado proveniente da falha. Ainda é possível definir o termo como parada acidental e repentina de um motor, por defeito de funcionamento.

#### Causa Raiz ou Causa Fundamental – causa determinante da falha em última instância. Se tratada de maneira adequada deve evitar a reincidência da falha

**Modo de falha** – para este item a NBR 5462 (1994) traz a seguinte definição: “Conjunto de regras aplicáveis ao julgamento de tipos e gravidade de falhas, para determinação dos limites de aceitação de um item”. (ABNT, 1994)

**Classe de Falha** – a estrutura de classe de falha é desenvolvida por meio de um modelo de mapeamento de falhas, baseado nas relações entre elas. O que permite o agrupamento de problemas em diversos conjuntos de acordo com suas afinidades e relações naturais. Dessa forma, procura-se, inicialmente levantar as possíveis falhas nos equipamentos e agrupá-las aos respectivos itens. Essa combinação dá origem aos modos de falhas para cada classe falha analisada. (SOUZA, 2010)

**Evento** – ocorrências que tenham influência / impacto no desempenho de determinado sistema. (PINTO, 2004)

**Condição** – estado que tem a possibilidade de gerar impacto sobre o desempenho do sistema. (PINTO, 2004)

**Disponibilidade** – capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, mantenabilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados. (NBR 5462,1994)

**Confiabilidade** -capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo. O termo “confiabilidade” é usado como uma medida de desempenho de confiabilidade. (NBR 5462,1994)

### 2.3.3 TIPOS DE MANUTENÇÃO

De acordo com Kardec e Nascif (2006), é possível dividir a manutenção em seis tipos: Manutenção Corretiva não planejada, Manutenção Corretiva Planejada, Manutenção Preventiva, Manutenção Preditiva, Manutenção Detectiva e Engenharia de Manutenção.

Com base nos autores supracitados, seguem as respectivas definições:

**Manutenção corretiva:** é possível definir Manutenção Corretiva como “atuação para correção da falha ou desempenho menor que o espero” Podem se diferenciadas em: Planejada e não Planejada. (KARDEC e NASCIF 2006, p.36)

**Manutenção preventiva:** a manutenção preventiva, tem como objetivo principal prevenir. Para sua aplicação leva-se em conta a finalidade do processo, geralmente a mesma é utilizada em locais cuja segurança seja preponderante. (LIMA e CASTILHO ,2006)

Acerca deste tipo de manutenção, tem-se o seguinte conceito: “atuação realizada de forma a reduzir e evitar a falha ou a queda de desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos de tempos definidos”. (KARDEC e NASCIF 2006, p.39)

**Manutenção preditiva:** tendo como objetivo principal prevenir falhas nos equipamentos ou sistemas a partir do acompanhamento de parâmetros para que o equipamento opere pelo maior tempo possível (LIMA e CASTILHO,2006), a manutenção preditiva é definida por Kardec e Nascif (2006) como “ a atuação realizada com base em modificação de parâmetro de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática”. (KARDEC e NASCIF 2006, p.42)

**Manutenção Detectiva:** manutenção detectiva é a atuação efetuada em sistemas de proteção buscando detectar falhas ocultas ou não-perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção. (CAMARA, 2008)

**Engenharia de Manutenção**: é o suporte técnico da manutenção que está dedicado a consolidar a rotina e implantar melhoria. (KARDEC e NASCIF, 2006)

### 2.3.4 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO

“É o conjunto de atividades que permite que a confiabilidade seja aumentada e a disponibilidade garantida”.Praticar engenharia de manutenção é buscar as causas básicas das falhas de equipamentos, alterar as situações permanentes de mau funcionamento, extinguir problemas crônicos, elevar padrões e sistemáticas, desenvolver a manutenibilidade, dar *feedback* ao projeto, interferir tecnicamente nas compras. (XAVIER, 2003, p. 5)

De acordo com Kardec e Nascif (2006), dentre as principais atribuições da Engenharia de Manutenção estão:

* Aumentar a confiabilidade
* Aumentar a disponibilidade
* Melhorar a manutenibilidade
* Aumentar a segurança
* Eliminar problemas crônicos
* Solucionar problemas tecnológicos
* Melhorar a capacidade do pessoal
* Gerir materiais e sobressalentes
* Participar de novos projetos (interface com a Engenharia)
* Dar suporte à execução
* Fazer análise de falhas e estudos
* Elaborar planos de manutenção e de inspeção e fazer sua análise crítica
* Acompanhar os indicadores
* Zelar pela documentação técnica

### 2.3.5 ANÁLISE DE FALHAS

Estudar e entender um equipamento são ações de suma importância para garantir seu bom desempenho, além de afiançar que, em alguma ocorrência de falha ou em estado de pane sejam detectadas as referidas deficiências para que sejam apontadas as melhores formas de solucionar o problema.

Affonso (2005) destaca como principais objetivos da análise de falha os seguintes itens:

1. Aumentar a confiabilidade operacional da planta, o que é feito aumentando-se a disponibilidade dos equipamentos;
2. Reduzir os custos de manutenção;
3. Reduzir os riscos de acidentes pessoais ou com equipamentos e de agressão ambiental.

Ainda de acordo com o autor, esta necessidade está vinculada à determinação das causas primárias da falha, que serão utilizadas na resolução do problema, através de ações corretivas e para que sejam evitadas situações recorrentes.

Analisar uma falha é interpretar as características de um sistema ou componente deteriorado para determinar porque ele não mais executa sua função com segurança. Uma análise de falhas que não serve de subsídio para um conjunto de ações corretivas tem utilidade nula. Por outro lado, se não for possível determinar as causas básicas da falha não será possível introduzir melhorias no sistema. (AFFONSO, 2005, p.14)

É importante ressaltar que, cada análise de falha deve adequar-se ao tipo de falha e as possíveis consequências trazidas pela mesma. Assim, é possível ressaltar os tipos das possíveis falhas relacionadas aos equipamentos.

### 2.3.5.1 FALHAS RELACIONADAS À IDADE DO ATIVO

Os equipamentos já estão sujeitos a falhas quando sob regime de trabalho para o qual foi projetado por seu fabricante, à medida em que o tempo passa. Caso este equipamento seja submetido a um período de funcionamento além do projetado, acarretará a redução de sua vida útil. Para que isto não ocorra, a manutenção tem que monitorar e observar o equipamento. (PEREIRA, 2009)

### 2.3.5.2 FALHAS ALEATÓRIAS DE COMPONENTES SIMPLES

As falhas aleatórias estão sujeitas às cargas externas. A referência à carga quer dizer tensão mecânica (peça forçada até quebrar) ou elétrica (relâmpago, que gera sobrecarga). Para que um equipamento esteja protegido deste tipo de falha, é necessário que se limite o aumento anormal destas tensões. (PEREIRA, 2009)

### 2.3.5.3 FALHAS ALEATÓRIAS DE COMPONENTES COMPLEXOS

Uma maior complexidade significa estabelecer ou reduzir dimensões, melhorar interfaces, durabilidade ou ainda aumentar a confiabilidade das informações, e isso, por sua vez, também aumenta a possibilidade de falhas. Um exemplo disso é o caso das falhas eletroeletrônicas que envolvem conexões entre componentes. De acordo com Pereira (2009), quanto mais conexões, maior será o número de falhas. Por este fato, o autor aponta para a indispensável atenção do Engenheiro de Manutenção em relação à gestão de ativos, através de figuras de controle e outros indicadores. Quando houver algo fora do normal, será necessário fazer uma análise mais minuciosa. Medidas corretivas, preventivas e melhorias podem ser algumas soluções.

### 2.3.5.4 CAUSAS FUNDAMENTAIS DAS FALHAS

As causas básicas de quaisquer falhas observadas são: falhas de projeto, de fabricação, de montagem, de operação e de manutenção de equipamentos mecânicos, conforme descreve Affonso (2006).

**Falhas de Projeto:** É originado de detalhes de projeto sujeitos a problemas. Provém do desenho do equipamento e é muito comum em equipamentos específicos de indústrias de processo, por não poderem ser testados em uma situação real de operação.

**Falhas na Seleção de Materiais:** Causada, principalmente, pela seleção inadequada do material de construção, gerando uma incompatibilidade das propriedades do material com aquelas que o serviço necessitará.

**Imperfeições no Material:** Estão ligadas diretamente com o processamento durante a fabricação da matéria-prima, aonde defeitos internos e externos virão a diminuir as propriedades do material.

**Deficiências de Fabricação:** Comumente se confunde este tipo de falha com o anteriormente descrito, porém esta falha é advinda da fabricação do equipamento.

**Erros de Montagem ou de Instalação:** As falhas oriundas da montagem ou de instalação muitas vezes estão ligadas a erros humanos. Este tipo de erro pode ser impedido com treinamentos, elaboração de procedimentos adequados e auditorias.

**Condições de Operação ou Manutenção Inadequadas:** O equipamento, quando sujeito a operação fora daquela a qual ele foi projetado, é de grande importância para acarretar este tipo de falha, bem como um plano de manutenção e inspeção mal elaborado e a falta de monitoração do equipamento.

### 2.3.5.5 MÉTODOS PARA ANÁLISE DE FALHAS

Para que os referidos tipos de falhas sejam analisados em sua integralidade, alguns métodos de análise são utilizados, a saber:

- Gráfico de Pareto;

- Diagrama de Causa e Efeito;

- Método dos “5 Porquês”;

Para melhor entendimento, seguem as respectivas descrições:

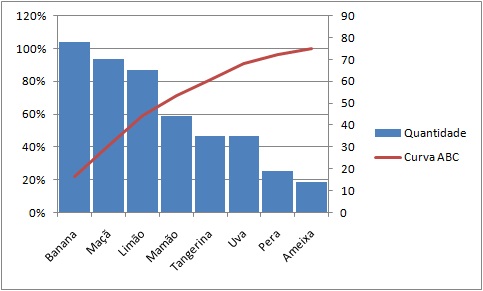
### 2.3.5.6 GRÁFICO DE PARETO

O gráfico de Pareto tem seu surgimento ligado à identificação dos itens que são responsáveis pela maior parcela de perda. De acordo com autores como Pereira (2009), quase sempre são poucas as “vitais” e muitas as “triviais”. Poucasvitais pois representam um pequeno número de problemas, mas que no entanto resultam em grandes perdas para a empresa. Triviais no sentido de que são um grande número de problemas que resultam em perdas pouco significativas.

Sua base é demonstrar que “a maior parte de um resultado é devida a uma parcela mínima de fatores, dentre muitos que influeciam”. Ainda de acordo com o autor, em se tratando de Manutenção Industrial, é muito utilizado para comparar “tipos de falha *versus* ocorrência”.

Sua estrutura é formada por um gráfico de barras que ordena as frequências das ocorrências, da maior para a menor, permitindo a priorização dos problemas. Mostra ainda a curva de percentagens acumuladas. Sua maior utilidade é a de permitir uma fácil visualização e identificação das causas ou problemas mais importantes, possibilitando a concentração de esforços sobre os mesmos. Esta estrutura pode ser observada na figura 2 – Exemplo da figura de Pareto.

Figura 2 – Exemplo do gráfico de Pareto



Fonte:GOUVEIA/2010

### 2.3.5.7 DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO

Este modelo de diagrama tem por objetivo representar a relação entre o efeito de uma falha e as prováveis causas da mesma. Com este diagrama é possível demonstrar, visualmente, separados por categorias, a relação entre a falha e suas possíveis causas. (PEREIRA, 2009)

De acordo com Pereira (2009), é possível classificar várias categorias de causas, cujas principais podem ser agrupadas nas categorias a seguir:

- Método;

- Mão de obra;

- Material;

- Máquina (Ativo);

- Medição – se aplicável;

- Meio Ambiente – se aplicável;

Este diagrama também é conhecido como “Diagrama Espinha de Peixe” e Diagrama de Ishikawa – em referência ao seu criador Kaoru Ishikawa. Sua apresentação pode ser observada na Figura 3- Exemplo do Diagrama de Causa e Efeito. (PEREIRA, 2009)

Figura 3- Exemplo do Diagrama de Causa e Efeito

**MÉTODO**

**MÃO DE OBRA**

**MEIO AMBIENTE**

**MATERIAIS**

**MEDIDA**

**MÁQUINA**

**PROBLEMA**

Fonte:PORTO *et al.* 2011

### 2.3.5.8 MÉTODO DOS PORQUÊS

O Método dos “5 Porquês” é aplicado quando são definidas previamente as causas potenciais do problema a ser analisado. Este método define uma das raízes possíveis do problema e tenta explicá-la por meio das respostas dadas aos “porquês” questionados por uma equipe formada por membros de diversas áreas que estão envolvidas no problema. (PEREIRA, 2009)

A partir de sua aplicação os técnicos envolvidos no processo terão cinco respostas para elucidar o problema e, assim, indicar a melhor forma de conhecer a “causa raiz”. (PEREIRA, 2009)

Definida causa raiz, será gerado um plano de ação, utilizando a técnica “5W2H”[[3]](#footnote-3), tendo como base sete perguntas que darão suporte para o tratamento da falha.

*WHAT*: (O quê?) Define as tarefas que serão executadas.

*WHEN*: (Quando?) Define o prazo para a conclusão das tarefas.

*WHO*: (Quem?) Define a pessoa responsável pela tarefa.

*WHERE*: (Onde?) Define o local onde a tarefa será realizada.

*WHY*: (Por quê?) Define a razão de execução da tarefa.

*HOW*: (Como?) Define a forma como a tarefa será executada. Uma descrição clara e objetiva é necessária para avaliar a viabilidade técnica.

*HOW MUCH*: (Quanto custará?) Define os recursos financeiros necessários para a execução da tarefa.

### 2.3.5.9 PLANO DE AÇÃO

Objetiva garantir a implementação das ações por seus respectivos responsáveis, conforme prazos definidos.

Para cumprir este objetivo, recomenda-se: realizar acompanhamento do plano de ação elaborado: periodicidade no mínimo mensal ou em prazos inferiores conforme necessidade além de efetuar o cancelamento de ações que não são mais necessárias (quando existirem), definindo ações alternativas caso seja necessário.

## 2.4 METODOLOGIA DE ANÁLISE DE FALHAS NA VALE

A metodologia para o tratamento de falha consiste em processos para remoção de sintomas, investigação das causas fundamentais e ações de bloqueio de forma sistematizada e padronizada. Segundo rege o manual de procedimentos de especificações e critérios para abertura de análise de falhas na VALE, os passos desta metodologia são:

1. Detectar o problema e relatar a falha;

2. Tomar ação corretiva/contingencial para remoção do sintoma (Fluxo Execução Corretiva);

3. Registrar a falha no Sistema para Tratamento de Anomalias da Intranet VALE (SISPTA) de acordo com gatilho definido neste padrão;

4. Analisar o modo de falha, determinando o modo de falha funcional;

5. Identificar a causa raiz (espinha de peixe e/ou cinco porquês);

6. Elaborar o Plano de Ação para bloqueio da causa raiz;

7. Executar o Plano de Ação e fazer a sua gestão;

8. Avaliar os resultados e tratar os desvios, caso ocorram;

9. Analisar periodicamente os registros de falhas, avaliando se o critério foi

atingido.

## 2.4.1 PRAZOS PARA TRATAMENTO DE OCORRÊNCIAS

De acordo com o manual de procedimentos, o tratamento corretivo/contingencial deve ser efetuado imediatamente após a ocorrência, quando aplicável. E em até cinco dias úteis após a ocorrência da falha, deve-se abrir registro no SISPTA;

A elaboração de um plano de ação deve ser efetuada em até 25 dias úteis a partir da ocorrência da falha. Quando a análise envolver laudos externos, devem ser acrescentados 20 dias úteis a esta elaboração.

## 2.4.2 CRITÉRIOS PARA ABERTURA DE REGISTRO DE TRATAMENTO DE FALHAS

Este item determina a sistemática e os responsáveis pela reavaliação periódica dos gatilhos para realização de análises de falha dos equipamentos das usinas de pelotização da DIPE localizadas no Espírito Santo.

**Função Manter**: As funções manter GAMEP/GAMIP deverão analisar as falhas que param as usinas com períodos compreendidos entre 2,68h até5,26h. As falhas deverão ser cadastradas no SISPTA nas respectivas áreasresponsáveis GAMEP/GAMIP.

**Engenharia**: A engenharia GAMAP deverá analisar as falhas que param as usinas com períodos superiores a 5,26h. As falhas deverão ser cadastradas no SISPTA na responsabilidade da DIPE, garantindo assim a comunicação para todas as áreas da DIPE.

## 2.4.3 GESTÃO DO PLANO DE AÇÃO DO TRATAMENTO DE FALHAS

As ações oriundas das análises e tratamento de falhas são acompanhadas nas reuniões de desempenho mensal de manutenção das áreas de acordo com o responsável pelo tratamento da falha, o que garante maior visibilidade e gerenciamento no cumprimento dos prazos estabelecidos.

## 2.4.4 DIVULGAÇÃO E REGISTRO DAS ÁREAS ENVOLVIDAS

A divulgação das análises e tratamento de falhas poderá ser feita nas reuniões de desempenho mensal das áreas de manutenção ou quando solicitado em outras reuniões de rotina relativas à manutenção, como a reunião da Gerência Geral ou do próprio DIPE.

## 2.4.5 PROPOSIÇÃO E IMPLANTAÇÃO DE MODIFICAÇÕES E MELHORIAS

As necessidades de melhorias e modificações têm sua origem na identificação de problemas e/ou oportunidades de melhoria em ativos e processos. As oportunidades de melhoria devem ser mapeadas e registradas de acordo com os critérios estabelecidos para cada uma de suas fontes e devem ser abrangentes o suficiente para englobar os diversos aspectos e temas relevantes na DIPE.

A proposição deve ser suficiente para entendimento e avaliação conceitual por parte do responsável por sua aprovação preliminar. O responsável pela aprovação poderá ser o Supervisor ou o Gerente de área da área proponente ou empregado das áreas de Não Rotina ou Engenharia.

Após avaliação, o responsável pela aprovação preliminar define se a melhoria/ modificação deverá seguir para etapa seguinte ou não, justificando sua decisão. As proposições aprovadas deverão ter a definição prévia do responsável pela gestão da melhoria/modificação, que será considerado a partir deste ponto o seu Gestor.

O processo, portanto, é registrado e encaminhado para a área de Engenharia e/ou gestora, que serão responsáveis por estudos e análises detalhadas da proposição, complementando as informações iniciais com informações diversas, como fonte de recursos financeiros e a abrangência do projeto.A análise de viabilidade, ganhos e retorno deverá ser executada, pelo Gestor, sobre os aspectos de Saúde e Segurança, Meio Ambiente, Técnico, Qualidade, Requisitos Operacionais e Custo. Tendo conhecimento das proposições de melhoria/modificação e analisando as informações da mesma, a Engenharia, através de empregados do seu quadro, poderá de acordo com as características da melhoria/modificação, emitir parecer sobre a continuidade do processo, justificando sua decisão.

A partir do parecer da Engenharia, se aplicável, deverá ser feita a aprovação final de Desenvolvimento e Implementação da melhoria/modificação. Esta aprovação deverá ser feita pela área proponente em conjunto com a área gestora com orientações da Engenharia. Tanto a Engenharia, quanto a área proponente poderão solicitar informações adicionais, questionar informações ou anexar documentos necessários para subsidiar ou ratificar a sua decisão.

A melhoria/modificação deverá, então, ser desenvolvida e implantada por meio e recursos próprios ou contratados. Após a entrega do projeto, ocorre o acompanhamento dos resultados previstos, com o intuito de comparar os resultados atingidos com os resultados esperados, justificar as diferenças e, caso necessário, definir plano de ação para correção dos desvios.

## 3 TRANSPORTADORES DE CORREIA

O transportador de correia é um equipamento que possui a função de transportar material de forma contínua. A correia trabalha sob o efeito da força de atrito. Ela não transfere somente material, mas também força[[4]](#footnote-4).

Este equipamento envolve uma série de elementos que devem ser bem analisados, pois todos tem fundamental importância para o correto funcionamento do mesmo.

Os principais componentes do transportador de correia são:

* Estrutura
* Correia
* Tambores
* Roletes
* Conjunto Alimentação
* Conjunto Descarga
* Conjunto de acionamento composto por um motor elétrico e um sistema de transmissão redutor de velocidade
* Freios
* Contra- Recuo
* Esticador de Correia
* Raspador

Figura 4 – Transportador de Correia



Fonte: UFBA[[5]](#footnote-5)

### 3.1 ESTRUTURA

É composta por todos os elementos de sustentação que envolve um transportador de correia, tais como: apoio, torres, colunas, treliças, suportes, torre de transferência etc.

### 3.2 CORREIA

Tida como a parte principal do transportador, por ser o componente que estará em contato direto com o material transportado. A correia tem a sua seleção baseada nos seguintes aspectos:

1. Características do material transportado

2. Condições de serviço

3. Tipos de roletes

4. Largura (determinada por cálculo)

5. Tensão máxima (determinada por cálculo)

6. Tempo de percurso completo

### 3.3 TEMPERATURA DO MATERIAL

Uma correia transportadora é constituída basicamente de dois elementos: carcaça e coberturas, sendo que cada parte é especificada para o tipo transporte solicitado. A carcaça é o elemento de força da correia, pois dela depende a resistência para suportar a carga, a resistência para suportar as tensões e flexões e toda a severidade a que é submetida à correia na movimentação da carga. As fibras têxteis são os elementos mais comumente usados na fabricação dos tecidos integrantes das carcaças, porem elas também podem ser construídas por cabos de aço. As coberturas são designadas para proteger a carcaça contra o ataque do material transportado. As correias podem ter suas coberturas lisas ou não lisas. As correias com coberturas lisas atendem ao transporte do material em plano horizontal e podem também operar em plano inclinado, contanto que não ultrapassem os ângulos especificados pelos fabricantes. As correias com cobertura não lisa são utilizadas no transporte de produtos em inclinações que podem atingir até 45º, motivo pelo qual são fabricados em vários relevos.

### 3.4 TAMBORES

Construídos normalmente em aço, têm como função principal tracionar a correia para o funcionamento do transportador, sendo neste caso, papel exercido pelo tambor motriz, onde está acoplada a motorização. Com a movimentação da correia movem-se também os demais componentes e o tambor movido, que promove o seu apoio.

### 3.5 ROLETES

São conjuntos de rolos, geralmente cilíndricos, e seus respectivos suportes. Estes rolos podem efetuar livre rotação em torno de seus próprios eixos e são instalados com o objetivo de dar suporte à movimentação da correia e guiá-la na direção de trabalho.

### 3.6 CONJUNTO DE ALIMENTAÇÃO

Chute ou bica de descarga: é um dispositivo afunilado destinado a receber o

material transportado e dirigi-lo convenientemente à correia transportadora de

modo a carregá-la equilibradamente e sem transbordo da carga.

### 3.7 CONJUNTO DE DESCARGA

O meio mais comum de descarga do material da correia é através do tambor de cabeça, derrubando e empilhando-o no local pré-determinado.

### 3.8 CONJUNTO DE ACIONAMENTO

Acoplado ao(s) tambor (es) motriz (es), tem a função de promover a movimentação do transportador e o controle de sua velocidade de trabalho. É constituído de um motor elétrico, acoplamentos, tambores, dispositivos de segurança e uma transmissão (redutor) e são projetados de acordo com o tipo de transporte e a potência transmitida. Podem ser instalados em três posições: na cabeceira do transportador, no centro e no retorno. Para o seu dimensionamento deve ser analisados o perfil do transportador, o espaço disponível para sua instalação e operação, a potência transmitida, o sentido da correia e as tensões que nela atuam.

### 3.8.1 FREIOS

São utilizados para evitar a continuidade de descarga do transportador após o seu desligamento, em situações de emergência ou em caso de controle de aceleração para a partida.

### 3.8.2 CONTRA-RECUOS

Possuem o mesmo princípio dos freios e são encontrados em transportadores montados em aclive, para que não ocorra o retrocesso do transportador em caso de desligamento.

### 3.9 ESTICADOR DE CORREIA

Tem como principal função garantir a tensão conveniente para o acionamento da correia,e,além disso, absorver as variações no comprimento da correia causadas pelas mudanças de temperatura, oscilações de carga, tempo de trabalho etc.

### 3.10 RASPADORES

Atuam em contato com o lado sujo da correia, após o tambor de descarga do material e fazendo com que o mesmo, quando raspado, caia na calha de descarga, para evitar danos aos tambores de desvio e aos roletes de retorno.

# 4 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo, será apresentado um estudo de caso real, envolvendo uma série de pesquisas em bancos de dados e históricos de manutenção, em busca das prováveis causas e dos pontos fracos que levaram à ocorrência da falha no transportador de correia 7P34.

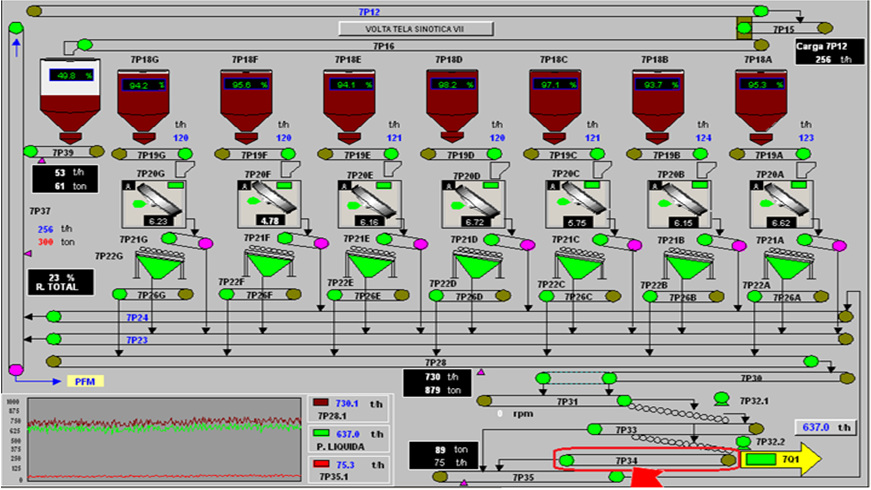
# 4.1 TRANSPORTADOR DE CORREIA 7P34

Os transportadores de correia do pelotamento fazem parte de um sistema sincronizado de produção e trabalham em ambientes cuja concentração de material particulado é alta, desta forma a correia em questão pode estar sujeita ao calor da queima devido à proximidade do forno.

O 7P34[[6]](#footnote-6), possui capacidade nominal de 16 ton/h, largura de correia de 2600 milímetros, ângulo de cavalete de 0 graus, comprimento da correia de 20,5 metros, operando com velocidade 1,05 m/s, acionado por um motor de 12 kw e conjunto de redução e acoplamentos mecânicos. A correia é do tipo extra brasão cobertura superior borracha natural, espessura da camada superior 6mm, carcaça poliéster/nylon, construção da carcaça 4 lonas e temperatura máxima de trabalho 80° C fabricante (Mercúrio).

Conforme especificado na Figura 4, é o último transportador de correia do pelotamento e recebe as pelotas que são provenientes do processo de peneiramento, na entrada do forno, e não atingiram a faixa de tamanho apropriado. Essas pelotas são chamadas de “material de retorno do processo de pelotização”, pois irão voltar e passar por todas as etapas do pelotamento novamente até atingirem o tamanho adequado.

A importância de se estudar o transportador de correia em questão é que se trata de um equipamento de criticidade 1, conforme matriz de criticidade da empresa, pois compromete o processo produtivo.



FONTE: VALE/2011

Figura 5 - Localização do Transportador de Correia 7P34 no processo de pelot(indicado pela seta larga

# 4.2 DESALINHAMENTO DE CORREIA

O modo de falha mais comum em transportadores de correia é o desalinhamento. Trata-se da correia que sai da linha de centro do transportador causando derramamento do material carregado, esforços e tensões irregulares no transportador e seus componentes, várias outras conseqüências devido ao contato da borda da correia com as estruturas nas laterais que geram avarias às correias e perdas operacionais devido às paradas do equipamento para manutenção.Outra conseqüência é o próprio desgaste da correia, o item de maior valor de um transportador.

Com o desalinhamento, há possibilidade da correia tocar em partes da estrutura, passar sobre ponta de roletes e receber diferentes esforços o que pode provocar perda progressiva da borda, retirada de tiras de borracha e marcas na correia, que fragilizam e podem causar rasgos além de problemas nas emendas como abertura. As diferentes tensões que a correia sofre quando desalinha podem ainda provocar problemas internos como bolhas, fadiga da estrutura das lonas e emendas e desgaste prematuro da cobertura de borracha resultando na redução da vida útil.

# 4.3 IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS DE FALHA

Após a realização de um comparativo do histórico das falhas ocorridas nos três transportadores de correia, cujas funções no processo produtivo das usinas são as mesmas (5P33, 6P33 e 7P34), com o objetivo de se encontrar falhas semelhantes, foi constatada a inexistência de falhas semelhantes.Entretanto, foi verificado que a 7P34 ficou parada por 58,34 horas, totalizando 58,34(horas) x 575 (toneladas /hora)= 33.545,50 somente em 2010. Diante disso, este estudo está direcionado ao problema ocorrido no transportador de correia 7P34, sendo este a quebra do tambor de acionamento, que ocasionou a parada de produção na usina VII.

### 4.3.1 REGISTROS DAS FALHAS

Com o auxílio do sistema informatizado *Manufacturing Execution System* (*MES*) onde são registradas as informações relativas às perdas e paradas no processo produtivo da VALE, tornou-se possível fazer um levantamento das ocorrências de falha classificadas conforme padrão de classe de falha do sistema de manutenção da VALE através da consulta no banco de dados

A fim de se obter uma análise mais apurada na identificação de problemas, foi elaborado uma relação de paradas de produção das usinas V, VI e VII, devido a ocorrências em seus respectivos transportadores de correia 5P33, 6P33 e 7P34, pois se tratam de equipamentos similares.

Os gráficos ilustrados foram analisados através de três grandezas: o número, o tempo de ocorrências registradas e a natureza das paradas. É importante que a análise seja feita desta forma para que se identifiquem possíveis correlações entre as falhas.

As naturezas das paradas, padronizadas pela VALE e utilizadas para apropriar corretamente a responsabilidade pela ocorrência de falha, são as seguintes:

* Mecânica: perdas devido a falhas mecânicas;
* Elétrica: perdas devido a falhas elétricas;
* Vulcanização: perdas devido falhas de vulcanização;
* Automação: perdas devido falhas de automação;
* Operação: perdas devido falhas de operação;

Para o caso do transportador de correia 5P33 verificou-se um total de 100 registros de ocorrências no sistema gerando perda de produção de 72,5 horas, ou seja, ocorreram em média 10 paradas e 7,25 horas de perda de produção por ano na Usina V devido a falhas no referido transportador de correia. Os dados obtidos no período entre abril de 2000 e novembro de 2010 são apresentados nos seguintes gráficos.

Figura 6 – Quantidade de paradas da 5P33 x Natureza de 04/2000 a 11/2010

Fonte: VALE/2011

Figura 7 - Duração de paradas(h) da 5P33 x Natureza de 04/2000 a 11/2010

Fonte: VALE/2011

Assim, de acordo com os dados pesquisados, aproximadamente 71,2% do total de horas de perda de produção referem-se a interrupções do processo produtivo devido a paradas neste equipamento causadas, na maioria dos casos, por desalinhamentos da correia e, portanto, apropriadas à vulcanização, como pode ser observado na figura a seguir.

Figura 8- Ocorrências apropriadas à Vulcanização na 5P33 x modo de falha relacionado no período de04/2000 a 11/2010

Fonte: VALE/2011

Com relação às ocorrências no transportador de correia 6P33, observou-se 72 registros de parada gerando 15,91 horas de perda de produção no mesmo período o que significa uma média de 7,2 registros e 1,6 horas de paradas por ano (Gráfico 8).

Figura 9 - Quantidade de paradas da 6P33 x Natureza de 04/2000 à 11/2011

FONTE: VALE/2011

Figura 10 - Duração de paradas(h) da 6P33 x Natureza de 04/2000 a 11/2011

FONTE: VALE/2011

No caso do transportador de correia 6P33, a maior contribuição na perda de produção é de natureza operacional com 46% do total de hora. Na maioria dos casos, as paradas foram originadas/ocasionadas por sobrecarga do transportador de correia, emergência atuada indevidamente e limpeza deficiente.

Figura 11 **-** Ocorrências apropriadas à Operação na 6P33 x modo de falha relacionado no período de04/2000 a 11/2010

Fonte: VALE/2011

Já para o transportador 7P34, foram registradas 125 ocorrências e 115,25 horas de perda total, isto é, em média 12,5 paradas e 11,53 horas de perda por ano, analisando o período entre 04/2000 a 11/2010representado nos figuras 8 e 9.

Como mostrado na figura 11, o maior número de paradas é de natureza elétrica. O alto número de registros deste tipo de falha aconteceu, principalmente, em virtude de falsas indicações dos instrumentos de controle, levando a desarmes do motor elétrico**.** Entretanto, o que mais impactou a perda de produção, como apresentado na figura 12, com um total 88,61 horas de usina parada, foram as paradas de natureza mecânica.

Figura 12- Quantidade de paradas da 7P34 X Naturezade 04/2000 a 11/2010

Fonte: VALE/2011

Figura 13 - Tempo de paradas (h) da 7P34 X Natureza de 04/2000 a 11/2010.

Fonte: VALE/2011

A figura 14 mostra de forma mais detalhada os principais causadores de paradas no 7P34, no período em questão, onde pode-se observar a ocorrência de18 paradas da usina em 2010, que apesar do número pequeno comparado com 2002, que teve 35 paradas. O tempo de usina parada em 2010 representa 51,89% do total no período analisado e as paradas de natureza mecânica, também em 2010, representam 49,78% do total de horas em que o processo de queima da Usina VII foi interrompido.

Figura 14 – Quantidade de paradas 7P34 x Principais Responsáveis

Fonte: VALE/2011

Conforme analisado nos gráficos acima, pode-se notar que o maior número de falhas nas três usinas não são correlacionadas, e assim atuam como falhas pontuais. Diante disso, este estudo está direcionado ao problema sucedido com o transportador de correia 7P34, no qual, ocorreu a quebra do tambor acionamento, ocasionando a parada de produção na Usina VII.

### 4.3.2 CRONOLOGIA DOS FATOS

Neste item, os fatos sãoanalisados em ordem de ocorrência para facilitar a detecção das possíveis causas das falhas. Por intermédio do sistema *Máximo*, *software* de manutenção utilizado pela VALE, foi realizado um levantamento de dados a respeito das ordens de serviço referentes às intervenções realizadas no transportador 7P34.

Tabela 1 – Cronologia dos Fatos

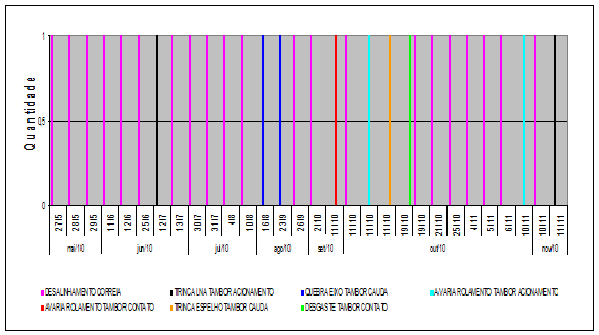
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Data | Ordem de Serviço (OS) | Descrição |
| 06/05/10 | 2010-7904537 | Junta- trocar junta de expansão da caixa de vento nº 1 devido emenda abrindo. |
| 27/05/10 |  | Período compreendido do dia 1/1/2010 até 27/05/2010, não foi registrado desalinhamento na correia 7P34. |
| 27/05/10 | 2010- 9834792 | Alinhar correia. |
| 28/05/10 | 2010- 9647659 | Alinhar correia. |
| 29/05/10 | 2010- 9859493 | Correia desalinhou para sul no tambor de acionamento. Constatado que tubulação de ar comprimido de limpeza estava fechada, vindo a acumular material. Aberto o ar e normalizado o alinhamento. |
| 11/06/10 | 2010- 10806791 | Corrigido desalinhamento através do tirante de tensionamento. |
| 12/06/10 | 2010- 11066822 | Correia - Corrigido desalinhamento. |
| 25/06/10 | 2010- 10677865 | Tambor- substituir tambor de acionamento devido trinca no cilindro próximo ao mancal lado livre e motoredutor. |
| 12/07/10 | 2010- 12535028 | Alinhar correia. |
| 13/07/10 | 2010- 12970345 | Alinhar correia. |
| 30/07/10 | 2010- 14794024 | Alinhar correia. |
| 31/07/10 | 2010- 14794617 | Alinhado correia transportadora. |
| 04/08/10 | 2010- 14342667 | 7P34- Fazer o alinhamento da correia. |
| 09/08/10 | 2010- 14650013 | Alinhar correia. |
| 10/08/10 | 2010- 15335161 | Tambor - substituir tambor de cauda nº4 devido cisalhamento do eixo lado direito. |
| 16/08/10 | 2010- 18345369 | Tambor - substituir tambor de cauda nº4 devido cisalhamento do eixo lado direito. |
| 23/09/10 | 2010- 18522450 | Corrigido desalinhamento e instalado mangueira de ar comprimido no tambor de cauda. |
| 26/09/10 | 2010- 19528916 | Efetuado alinhamento da correia. |
| 02/10/10 | 2010- 18329021 | Tambor - substituir rolamento lado esquerdo e instalar proteção térmica no mancal do tambor nº3 conforme anexo devido avaria por projeção de ar quente. |
| 11/10/10 | 2010- 18848633 | Tambor- alinhar o tambor de acionamento através da utilização de calços nos mancais conforme anexo devido desalinhamento constante. |
| 11/10/10 | 2010- 20124627 | Trocar rolamentos no tambor de acionamento devido montagem dos rolamentos e buchas invertidos. |
| 11/10/10 | 2010- 20125015 | Soldar bucha no eixo do tambor devido quebra do parafuso de fixação da mesma. |
| 11/10/10 | 2010- 19552822 | Soldar tambor- substituir tambor de contato angular nº 3 completo conforme anexo devido falta de revestimento e avaria no rolamento no lado esquerdo. |
| 19/10/10 | 2010-20124716 | Tambor- alinhar base do mancal lado direito (acionamento) do tambor nº 1 conforme descrição em anexo devido desalinhamento e torção. |
| 19/10/10 | 2010- 21127264 | Corrigido desalinhamento. |
| 21/10/10 | 2010- 21323632 | Corrigido desalinhamento. |
| 25/10/10 | 2010- 22428039 | Corrigido desalinhamento. |
| 04/11/10 | 2010- 22434538 | Corrigido alinhamento e lubrificado mancais do tambor de acionamento. |
| 05/11/10 | 2010- 22443082 | Corrigido desalinhamento da correia. |
| 06/11/10 | 2010- 22490905 | Tambor- Substituir o rolamento lado esquerdo(livre) do tambor nº 01 devido impactos em evolução. |
| 10/11/10 | 2010-21741971 | Tambor- Instalar calço na base do mancal lado esquerdo do tambor nº 01 conforme anexo para corrigir desalinhamento da correia. |
| 10/11/10 | 2010-22694170 | Tambor- Substituir tambor de acionamento devido trinca no cilindro próximo ao mancal lado livre e motoredutor. |

### 4.3.3 ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA

Conforme análise na tabela 01 acima no período de 01/01/2010 a 27/05/2010 não houve ocorrências relacionadas a desalinhamentos. No dia 06/05/2010 foi aberta uma solicitação para substituição da junta de expansão da caixa de vento[[7]](#footnote-7) nº 1 devido abertura na emenda. Acredita-se que os problemas de desalinhamentos começaram a aparecer em decorrência do aumento de temperatura proveniente da caixa de vento vindo a atingir a correia transportadora. Ao examinar a sequência dos fatos que aconteceram, foi possível identificar os defeitos que deram origem ao problema no transportador de correia.Os modos de falha identificados serão discutidos individualmente a seguir:

### 4.3.3.1 TEMPERATURA EXCESSIVA NA ENTRADA DO FORNO:

A junta de expansão da caixa de vento nº 01 furou, conforme identificado através da OS 2010-7904537 aberta em 06/05/2010, ocasionando o aumento da temperatura ambiente nas proximidades da entrada do forno, local onde opera o 7P34[[8]](#footnote-8). A partir desta data, intervenções frequentes foram realizadas para a correção de desalinhamento na correia do referido transportador, como ilustrado na figura 13 ocasionando dano na borda, fazendo-se necessária a troca da mesma. A figura 14 mostra a temperatura de trabalho na caixa de vento n°1, que leva a crer que a correia ficou sujeita a uma temperatura acima do especificado pelo fabricante.

Figura 15 – Quantidade de Intervenções na 7P34

Fonte: VALE/2011

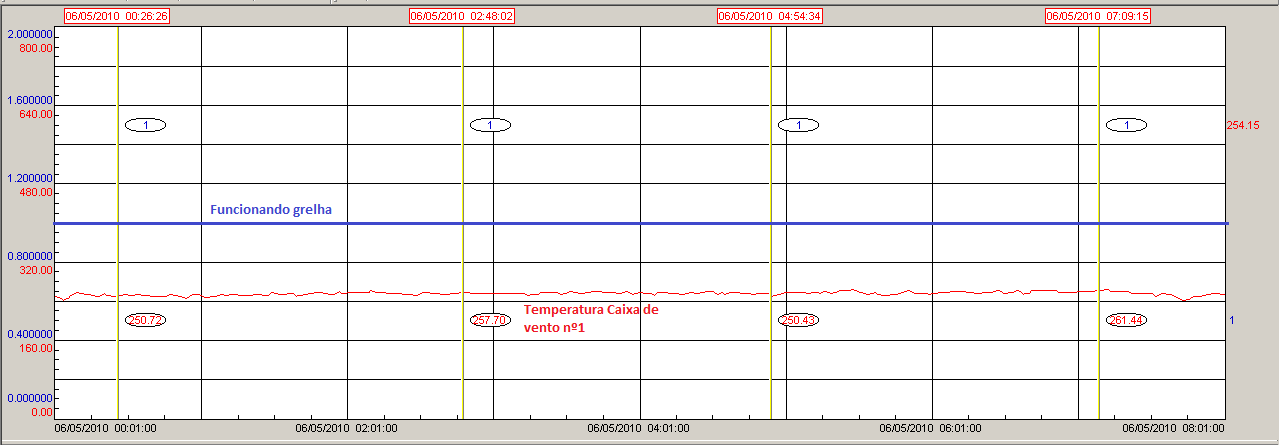


Figura 16- Temperatura na caixa de vento nº1

FONTE:VALE/2011

Os reparos que foram realizados na caixa de vento 1, em paralelo, seguem detalhados na tabela 2.

Tabela 2- Intervenções realizadas na Caixa nº1

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Relatada em | OS | Escopo | Executante | Histórico |
| **06/05/2010 13:47:00** | 2010-7904537 | JUNTA - Trocar junta de expansão da caixa de vento nº 1 devido emenda abrindo. | GAGRP | OBS.:GAGRP abriu OS filha 2010-13797906 para intervenção na parada do dia 27/07/2010. |
| **27/07/2010 11:05:00** | 2010-13797906 | JUNTA - Trocar junta de expansão da caixa de vento 1 devido emenda abrindo. | GAGRP | GAGRP apenas reparou a junta, que após retorno da usina estava vazando novamente. Reparo não foi eficaz. |
| **12/08/2010 12:51:00** | 2010-15088590 | JUNTA – Normalizar fixação da junta de expansão da caixa de vento nº 1 | GAGRP | GAGRP efetuou novo reparo e melhorou fixação, porém após retorno da usina a junta estava vazando novamente. Intervenção não foi eficaz. |
| **29/09/2010 14:12:00** | 2010-18998992 | JUNTA DE EXPANSÃO-Sanar vazamento de gazes na junta de expansão da caixa de vento nº 1 | GAGRP | OBS.:GAGRP abriu OS filha 2010-20922008 para intervenção na parada do dia 18/10/2010. |
| **21/10/2010 10:04:00** | 2010-20922008 | JUNTA DE EXPANSÃO-Sanar vazamento de gazes na junta de expansão da caixa de vento nº 1 | GAGRP | GAGRP efetuou novo reparo e melhorou fixação, porém após retorno da usina a junta estava vazando novamente. Intervenção não foi eficaz. |

Fonte: VALE

O reparo em caixas de vento é uma atividade que deve ser executada em paradas frias de usina, devido à circulação do fluxo de gases de processo no local. Conforme analisado na tabela 02, a alta frequencia com que foram solicitados serviços de reparo pode indicar que os reparos efetuados na junta de expansão, não foram bem sucedidos.

**4.3.3.2 EXCESSO DE TENSÃO NO TAMBOR DEVIDO AO ALINHAMENTO DA CORREIA ATRAVÉS DOS TIRANTES DE TENSIONAMENTO E ADIÇÃO DE CALÇOS**

O sistema de tensionamento da correia não estava indicando a pressão no manômetro no momento da quebra, o que permitia que uma tensão excessiva pudesse ser aplicada à correia. Foi constatado que a diferença da distância do mancal tensor até a viga de referência (quadro do mancal) estava em 130mm, comprovando o excesso de tensão. Foi adicionado calço na base do mancal lado esquerdo do tambor número 01 para corrigir o desalinhamento conforme ordem de serviço evidenciado na tabela 01 aumentando assim a tensão no tambor.

### 4.3.3.3 FALTA DE TOPOGRAFIA

Na última intervenção para troca de correia não foi realizada topografia para avaliar esquadro e nivelamento da estrutura, mancais, alinhamento dos carros de apoio e cavaletes de carga próximo ao acionamento.

Nota: Na topografia realizada no dia 12/11/2010, com a correia em operação, somente nos mancais e extremidades da estrutura, foram identificadas diferenças que contribuem para o desalinhamento da correia.

Figura 17 –Vista superior do transportador



Fonte:VALE/2011

### 4.3.3.4 FALHA NO DIAGNÓSTICO E PREVISIBILIDADE DO PROBLEMA POR PARTE DA INSPEÇÃO

A falta de previsibilidade por parte da inspeção ocasionou a corretiva no equipamento.

As rotas estavam em dia e o equipamento apresentava ruído e impactos no rolamento LNA do tambor de acionamento (Lado da quebra do tambor). Foi aberta OS 2010-22490905 para troca do mesmo. Durante intervenção no dia 09/11/2010 foi constatado avaria severa do rolamento.

Durante os testes para a retomada de produção da usina, após parada programada para realização de manutenção corretiva programada. Já na madrugada do dia 10/11/2010 a 7P34 apresentou ruído anormal em toda estrutura do acionamento e grande desalinhamento. Foi identificado que o cavalete de apoio próximo acionamento estava com sua fixação frouxa (parafusos) e havia uma diferença de 40mm no alinhamento dos mancais do tambor de contato nº2. Equipamento foi novamente bloqueado, foi realizado reaperto da estrutura e alinhamento dos mancais do tambor nº2. Durante novo teste na correia, a correia foi liberada com diferença entre o alinhamento do tambor de retorno nº 4 de 90mm e foi identificado pequeno ruído cíclico no tambor de acionamento nº 1, provavelmente proveniente de trinca, no lado não acoplado do tambor de acionamento. O espelho do tambor foi criteriosamente inspecionado, mas não havia trinca aberta à superfície (Espelho do tambor). O Supervisor da inspeção, que avaliou o tambor neste momento, orientou os inspetores e executantes a acompanhar a evolução do problema. Entretanto, a falha/o problema teve uma evolução muito rápida, levando à quebra do cilindro do tambor em menos de 24h após a identificação do problema.

### 4.3.3.5 TÉCNICAS DOS PORQUÊS

Esta técnica consiste em esgotar determinada questão apontada como causa de anomalia por intermédio de perguntas direcionadas ao fator motivador da ocorrência, em busca da causa fundamental.

1 - Por que o 7P34 parou?

Porque o tambor de acionamento cisalhou o cilindro na junção do espelho.

Porque não havia identificação do problema e solicitação de troca para a parada do dia 09/11/2010.

2 - Por que ocorreu cisalhamento do cilindro do tambor?

Devido a excesso de tensão no tambor, provocado pelo tensionamento da correia através dos tirantes do sistema de tensionamento.

3 - Por que houve excesso de tensão no tambor?

Porque o alinhamento estava sendo executado pelos tirantes do sistema de tensionamento.

Porque o manômetro do sistema de tensionamento no lado da quebra não estava marcando a pressão.

4 - Porque o alinhamento estava sendo executado pelos tirantes?

Porque estava ocorrendo constantes desalinhamentos na correia devido ao excesso de temperatura em uma das bordas (Junta de expansão da caixa de vento nº 1 furada) e, como a correia não possui sistema de autoalinhamento, o alinhamento é feito através dos tirantes de tensionamento.

Porque a correia estava muito desalinhada, devido não execução de topografia na última intervenção do dia 27/07/2010 fato que contribui para o desalinhamento da correia e o alinhamento esta sendo executado pelos tirantes do sistema de tensionamento.

5 - Por que faltou identificação de necessidade de troca do tambor?

Devido falha na identificação de necessidade de troca do tambor na parada da usina 7 no dia 09/11/2010. Foi identificado problema no rolamento LNA,fato que suprimiu o ruído proveniente do espelho do tambor (Trinca não estava aberta à superfície).

**Causa mais provável:** Quebra do cilindro do tambor de acionamento lado não acoplado por excesso de tensão provocada por alinhamento da correia através dos tirantes de tensionamento devido a constantes desalinhamentos provocados pelo aumento de temperatura na entrada do forno, não execução de topografia na parada do dia 27/07/2010 e não idenficação da necessidade de troca por parte da inspeção.

**Causa Raiz:** Aumento da temperatura na entrada do forno devido furo na junta de expansão da caixa de vento nº 01.

### 4.3.3.6 PLANO DE AÇÃO

O plano de ação elaborado a partir das avaliações efetuadas tem por objetivo o planejamento e a organização de todas as ações executadas pela operação e manutenção dos equipamentos envolvidos. Este plano traça uma estratégia que responde aos defeitos e pontos fracos identificados nesta análise a fim de se obter positivos. A Tabela 3 mostra as ações propostas para solução do problema.

Tabela 3- Plano de Ação

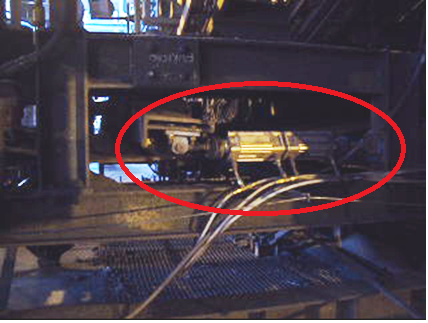
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **ITEM** | **O QUE** | **COMO** |
| 1 | Trocar manômetro para indicação de pressão no lado da quebra (LNA) e posicionar a alavanca paralelamente a estrutura. | Trocando o manômetro e posicionando o pistão de forma a garantir o posicionamento da haste móvel paralelamente a estrutura do transportador. |
| 2 | Realizar topografia no transportador | Realizar topografia considerando o nivelamento e alinhamento dos mancais e extremindades da estrutura. |
| 3 | Desenvolver padrão de alinhamento para correias com sistema de tensionamento com controle de pressão. | Desenvolvendo padrão. |
| 4 | Treinar os executantes em alinhamento e inspeção no PRO de alinhamento de correias com sistema de tensionamento com controle de pressão. | Treinando o pessoal |
| 5 | Revisar PT para garantir detecção de possível falha similares às ocorridas no 7P34TC em tambores | Inserir no PT itens de verificação em relação à avaliação de tambores com objetivo de identificar falhas similares às ocorridas com o tambor de acionamento da 7P34TC |
| 6 | Trocar junta de expansão da Caixa de Vento nº1 | Substituir junta de expansão da caixa de vento nº 01. |

Fonte:VALE/2011

# 5 PROPOSTAS DE MELHORIA

Ao efetuar uma pesquisa nos transportadores de correia das usinas de pelotização, foi possível encontrar um sistema auto alinhador pneumático instalado no transportador de correia 3P16, Usina III, muito eficiente que corrige o desalinhamento da correia através de cilindros pneumáticos instalados junto ao cavalete suporte do rolo de retorno. A medida que a correia se desloca lateralmente sua borda toca o limite de desalinhamento instalado na lateral do transportador que envia um sinal de alerta para a sala de controle informando sobre o desalinhamento e simultaneamente um sinal para que o cilindro pneumático movimente o cavalete suporte do rolo que fica instalado no retorno do transportador e com isso direciona a correia para sua posição central não necessitando assim, de intervenções nos tirantes de tensionamento para alinhamento da correia. A partir disso, fica como sugestão a instalação de um sistema auto alinhador pneumático no retorno da correia para evitar que o alinhamento seja realizado pelos tirantes de tensionamento.

Figura 18 - Autoalinhador pneumático

****

FONTE:VALE/2011

Como um dos modos de falha detectado foi a falta de topografia do transportador de correia fica como sugestão, também, incluir no PRO[[9]](#footnote-9) de troca da correia a realização de topografia.

# 6 SUGESTÃO PARA TRABALHO FUTURO

Como o reparo nas juntas de expansão em caixas de vento é uma atividade que deve ser executada em paradas frias de usina, devido à circulação do fluxo de gases de processo no local, fica como sugestão de trabalho futuro o estudo de material para confecção da junta de expansão que venha suportar os longos intervalos entre paradas.

# 7 CONCLUSÃO

A busca por maximizar o tempo de operação e minimizar os custos é comum nas empresas em um ambiente competitivo como o atual. A eficácia da manutenção tem papel primordial nesse objetivo, principalmente em equipamentos de regimes contínuos de funcionamento, no qual um momento de indisponibilidade pode representar paradas de todo sistema e perdas financeiras. Neste sentido, foi fundamental a realização da análise de falha do Transportador de Correia 7P34, na busca da causa raiz do problema, pois se trata de um equipamento crítico para o processo de pelotização, visto que a interrupção de seu funcionamento paralisa a produção gerando perdas de caráter econômico.

Com as análises e estudos realizados neste trabalho, fica evidente que a ferramenta Análise de Falhas é de extrema importância para a indústria de modo geral pois, além de possibilitar que melhorias sejam realizadas nos equipamentos com relação à manutenção. Além disso, demonstrou que, apesar de ter sido uma falha pontual, sua análise foi de fundamental importância, visto que, os prejuízos financeiros com a indisponibilização do equipamento/planta foram elevados.

Em suma, o presente estudo atenta para o fato de que os problemas detectados em equipamentos não devem ser analisados isoladamente, e sim a partir da realidade como um todo levando em consideração todas as consequências que o mesmo poderá acarretar. Foi possível verificar que um furo na junta de expansão da caixa de vento gerou problemas de dimensões inesperadas no transportador de correia. Inesperadas pois, a ocorrência mencionada, quando analisada isoladamente, não acarretaria danos relevantes.

# 8 REFERÊNCIAS

AFFONSO, L. O. A., Equipamentos mecânicos: **análise de falhas e solução de problemas**, 2 ed. – Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR **5462**: confiabilidade e mantenabilidade. Rio de Janeiro. 1994.

CAMARA,João Luiz. **Manutenção Elétrica Industrial**. Rio Grande do Norte: UFRN, 2008.

CORREA et.al. Contradições e adequações da CVRD aos discursos nacionalistas:**O discurso da empresa como estratégia no período militar**. Vitória. Universidade Federal do Espírito Santo. 2009

FERREIRA, A. B. H. **Novo Aurélio Século XXI**: o dicionário da língua portuguesa. 3ed. rev.e ampl. Rio de Janeiro: Nova Fronteira,1999.

GARIGLIO, E; KLEIN, M. . **Pelotização de Minérios de Ferro** . Apostila de treinamento interno da CVRD, 1994.

KARDEC, A.;NASCIF, N. **Manutenção Função Estratégica**. 2.ed.3.reimp.Rio de Janeiro: Qualytmark, 2006.

LAFRAIA. J.R.B. **Manual de Confiabilidade, Mantenabilidade e Disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualytmark, 2002.

LIMA,F.A.;CASTILHO,J.C.N. **Aspectos da Manutenção de Equipamentos Científicos da Universidade de Brasília**. Dissertação de Especialização, Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Ciência da Informação e Documentação, DF, 2006

PEREIRA,M.J.**Engenharia de Manutenção: Teoria e Prática**. Rio de Janeiro:Editora Ciência Moderna Ltda,2009.

PINTO, Luis Henrique Terbeck. **Análise de falhas: tópicos de engenharia de**

**confiabilidade**. 2004.

SILVA.W.C. **Manutenção Predial no Banco Central do Brasil.** Monografia.Brasília: Faculdade de Estudos Sociais Aplicados. Universidade de Brasília,1994.

SOUZA,V.M - **Estudo de Caso – Engenharia de Manutenção Aplicada Ao Caso do Carregador de Navios 04 e Análise de Eficácia das Ações Utilizando Confiabilidade.** Monografia.Vitória:Universidade Federal do Espírito Santo,2010

VALE**. Manual de Procedimentos**. Material para treinamento interno. Vitória. 2010

ZORZANELLI, R.F. BOREL, V.G. **Análise e solução do problema do ventilador de resfriamento da pelotização: Estudo de Caso**. Monografia. Universidade Federal do Espírito Santo, 2010

[http://pt.break-day.com/belt\_conveyer.htm acesso em 27/10/11](http://pt.break-day.com/belt_conveyer.htm%20acesso%20em%2027/10/11)

1. Empresa de navegação brasileira. Disponível em <http://pt.wikipedia.org/wiki/Docenave> acesso em 29/10/2011. [↑](#footnote-ref-1)
2. Projeto de exploração na mais rica área mineral do planeta. Estende-se por 900 mil km², numa área que corresponde a um décimo do território brasileiro, e que é cortada pelos rios [Xingu](http://pt.wikipedia.org/wiki/Rio_Xingu), [Tocantins](http://pt.wikipedia.org/wiki/Rio_Tocantins) e [Araguaia](http://pt.wikipedia.org/wiki/Rio_Araguaia), e engloba terras do sudeste do Pará, norte de [Tocantins](http://pt.wikipedia.org/wiki/Tocantins) e sudoeste do [Maranhão](http://pt.wikipedia.org/wiki/Maranh%C3%A3o). Disponível em <http://pt.wikipedia.org/wiki/Grande_Caraj%C3%A1s> acesso em 29/10/2011. [↑](#footnote-ref-2)
3. O significado da sigla tem base nas perguntas que a utilização da técnica gera. [↑](#footnote-ref-3)
4. Disponível em <http://pt.break-day.com/belt_conveyer.htm> acesso em 27/10/11 [↑](#footnote-ref-4)
5. *www.****transporte****degraneis.ufba.br/Apostila/CAP5\_TC.pdf*[Similares](http://www.google.com.br/search?hl=pt-BR&biw=1366&bih=587&q=related:www.transportedegraneis.ufba.br/Apostila/CAP5_TC.pdf+transportador+de+correia&tbo=1&sa=X&ei=EjTpTv7HOIrgsQLb_MTzCA&sqi=2&ved=0CGYQHzAA) [↑](#footnote-ref-5)
6. É possível visualiza-lo no desenho técnico que segue em anexo. [↑](#footnote-ref-6)
7. São caixas metálicas, semelhantes a silos, que atuam como meio de circulação do fluxo de gases de processo. Se localizam na região inferior à linha formada pelos carros de grelha. Também têm a função de coletar as pelotas oriundas dos leitos dos carros de grelha durante o percurso através do forno e resíduos sólidos existentes no processo. [↑](#footnote-ref-7)
8. A referida correia é do tipo extra brasão cobertura superior borracha natural; espessura da camada superior 6mm; carcaça poliéster/*nylon*; construção da carcaça 4 lonas; temperatura máxima de trabalho **80° C**, de acordo com especificações do fabricante (Mercúrio) [↑](#footnote-ref-8)
9. Procedimento Operacional desenvolvido para padronização de atividades. [↑](#footnote-ref-9)