

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**BERNARDO PORTO PEREIRA
FRED FERNANDES**

**USO DAS FERRAMENTAS PDCA E FTA PARA ANÁLISE E
MELHORIA DOS INDICADORES DE PRODUTIVIDADE E
DISPONIBILIDADE DE UMA LINHA DE TRANSPORTADORES**

**VITÓRIA
2011**

BERNARDO PORTO PEREIRA
FRED FERNANDES

**USO DAS FERRAMENTAS PDCA E FTA PARA ANÁLISE E
MELHORIA DOS INDICADORES DE PRODUTIVIDADE E
DISPONIBILIDADE DE UMA LINHA DE TRANSPORTADORES**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Mecânica do Centro
Tecnológico da Universidade Federal do
Espírito Santo, como requisito parcial
para obtenção do grau de Engenheiro
Mecânico.

Orientador: Marcos Aurélio Scopel
Simões, Dr.

VITÓRIA
2011

PEREIRA, Bernardo Porto; FERNANDES, Fred.

Análise para melhoria dos indicadores de Produtividade e Disponibilidade de uma linha de transportadores através das ferramentas PDCA e FTA / Bernardo Porto Pereira; Fred Fernandes – 2011.

76f.

Orientador: Marcos Aurélio Scopel Simões.

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Disponibilidade. 2. Produtividade. 3. PDCA. 4. FTA. 5. Melhoria Contínua. 6. Manutenção Produtiva Total - TPM. 7. Engenharia de Manutenção. 8. Transportadores de Correia. 9. Linha de Embarque de minério. I. PEREIRA, Bernardo Porto. II. FERNANDES, Fred. III. Universidade Federal Do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Mecânica. IV. Análise para melhoria dos indicadores de Produtividade e Disponibilidade de uma linha de transportadores através das ferramentas PDCA e FTA.

BERNARDO PORTO PEREIRA
FRED FERNANDES

**USO DAS FERRAMENTAS PDCA E FTA PARA ANÁLISE E
MELHORIA DOS INDICADORES DE PRODUTIVIDADE E
DISPONIBILIDADE DE UMA LINHA DE TRANSPORTADORES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Mecânico.

Aprovado em 05 de dezembro de 2011.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Marcos Aurélio Scopel Simões
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
Orientador

Prof. Dr. Antônio Bento Filho
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
Examinador

Eng. Felipe Alcântara de Castro
VALE S.A.
Examinador

AGRADECIMENTOS

Em especial a Deus e nossos pais que nos proporcionaram oportunidades e forneceram valores de vida para que os desafios fossem superados.

Em especial para o engenheiro e amigo Felipe de Castro Alcântara pela grande colaboração e incentivo para escolha do tema e desenvolvimento do projeto.

Aos colegas e amigos da empresa VALE S.A. Felipe Alcântara, Murilo Maduro, Arthur Alcoforado, Gustavo Donatti, Victor Souza, Patrick Falqueto, Rafael Dias Pereira, Josemar Peregrino, Guilherme Pereira Oliveira, Marcel Castanheira, Clóvis Perini, Ulisses Chaves, Thiago Oliveira, Antônio Marcos, Flávio Carloni, Wederson Glassner, que apoiaram através de seus conhecimentos o desenvolvimento desse trabalho.

A grande empresa VALE S.A pela oportunidade de aprendizado e colaboração para o desenvolvimento profissional e pessoal.

Aos amigos que mesmo não percebendo nos auxiliam e colaboram para a realização desse trabalho.

RESUMO

O presente trabalho visa atender um dos aspectos almejados pelas indústrias, o de aumentar a eficiência de seus processos através da diminuição de perdas por indisponibilidade e aumento das taxas produtivas de seus equipamentos. Assim, foi aplicada uma metodologia que utiliza ferramentas específicas de gestão e de análise de falhas, com o objetivo de analisar os problemas dos equipamentos e propor ações que visam à melhoria da produtividade e disponibilidade de um conjunto de transportadores de correias que compõe uma das linhas de embarque de minério do Porto de Tubarão da VALE S.A.

A metodologia utilizada foi baseada no desenvolvimento do ciclo PDCA, que é um ciclo que possui foco na melhoria contínua, com o uso do FTA como ferramenta complementar para identificação das causas básicas dos problemas, item presente em uma das etapas da fase “*P – Planejamento*” do ciclo PDCA, que compreende basicamente as etapas de identificação dos problemas, análises dos fenômenos e plano de ação. Ao final foram propostas ações que visam o aumento dos indicadores de Produtividade e Disponibilidade dos equipamentos que compõe essa linha e em seqüência foram percorridas outras fases do ciclo que envolve as etapas de execução das ações propostas, verificação dos resultados e conclusão.

Palavras-Chave: Melhoria dos indicadores. Produtividade. Disponibilidade. Metodologia. Ciclo PDCA. FTA.

ABSTRACT

The present work aims to meet one of the targeted industries aspects, to increase the efficiency of processes by decreasing downtime losses and increasing rates of their equipment production. Thus, a methodology was applied using specific tools for the management and failure analysis, in order to analyze the problems of equipment and propose actions aimed at improving productivity and availability of a set of belt conveyors that comprise one of the shipping iron ore pellets lines from Port Tubarão VALE S.A.

The methodology used was based on the development of the PDCA cycle, which is a cycle that is focused on continuous improvement, using the FTA as a complementary tool for identifying root causes of problems, present in an item of the steps from the “P - Planning” PDCA cycle, which basically comprises the steps of problem identification, analysis of phenomenon and action plan. At the end have been proposed actions aimed at increasing productivity levels and availability of equipment that make up this line and next we went through the other phases of the cycle that involves the stages of implementing the proposed actions, verification on the results and conclusion.

Keywords: Improved indicators, Productivity, Availability, Methodology, PDCA and FTA.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Triângulo VPS - Sistema Vale de Produção..... | 15 |
| Figura 2 - Pilares do TPM | 20 |
| Figura 3 - Estrutura base do OEE | 21 |
| Figura 4 - Cálculo da Disponibilidade Física..... | 22 |
| Figura 5 - Diagrama do ciclo PDCA..... | 24 |
| Figura 6 - Organização da Engenharia de Manutenção | 27 |
| Figura 7 - Fluxograma do Porto de Tubarão..... | 29 |
| Figura 8 - Linhas de carregamento de minério do Píer I..... | 30 |
| Figura 9 - Representação esquemática da Linha A do Porto de Tubarão | 31 |
| Figura 10 - Primeiro estágio do FTA para baixa produtividade da linha | 33 |
| Figura 11 - Gráfico da Taxa de Produtividade da Linha A do Píer I da VALE | 34 |
| Figura 12 - Concepção de acionamento comumente utilizada para transportadores da VALE | 34 |
| Figura 13 - Gráfico de partida do conjunto de acionamento do transportador..... | 35 |
| Figura 14 - Árvore de falha associada a restrições do conjunto de acionamento da Linha A do Píer I | 36 |
| Figura 15 - Demonstração de um chute de transferência..... | 37 |
| Figura 16 - Árvore de Falha associada a restrições nos chutes de transferências.. | 38 |
| Figura 17 - Árvore de falha associada à restrição operacional..... | 39 |
| Figura 18 - Árvore de falha associada à restrição operacional..... | 40 |
| Figura 19 - Estreitamento da região intermediária do chute da TR-A3F para TR-A04A..... | 43 |
| Figura 20 - Estreitamento das guias internas no chute da TR-A3F para TR-A04A . | 44 |
| Figura 21 - Falta de rampa traseira do chute de transferência TR-A3F a TR-A04A | 44 |
| Figura 22 - Sondas de atuação do chute de transferência TR-A3F a TR-A04A..... | 45 |
| Figura 23 - Rampa com 30° que devem ser montada na traseira do chute inferior. | 45 |
| Figura 24 - Guias internas que devem montadas na região inferior do chute | 46 |
| Figura 25 - Posição correta da chave da sonda de atuação..... | 46 |
| Figura 26 - Tonelada embarcada por materiais no Píer I | 48 |
| Figura 27 - Resumo das ações propostas | 51 |
| Figura 28 - Produtividade da Linha A no período Junh/11 a Set/11 | 51 |

| | |
|---|----|
| Figura 29 - Gráfico do tempo de Manutenções Corretivas da A03C no período de Jul/2010 a Jul/2011..... | 52 |
| Figura 30 - Árvore de Falhas da A03C | 53 |
| Figura 31 - Plano de Ação da A03C | 54 |
| Figura 32 - Resumo do Plano de Ação da A03C | 55 |
| Figura 33 - Evolução da Manutenção Corretiva da A03C..... | 56 |
| Figura 34 - Gráfico do tempo de Manutenções Corretivas da A03D no período de Jul/2010 a Jul/2011..... | 56 |
| Figura 35 - Árvore de Falhas da A03D | 58 |
| Figura 36 - Plano de Ação da A03D | 59 |
| Figura 37 - Resumo do Plano de Ação da A03D | 59 |
| Figura 38 - Evolução da Manutenção Corretiva da A03D..... | 60 |
| Figura 39 - Gráfico do tempo de Manutenções Corretivas da A03E Jul/2010 a Jul/2011 | 60 |
| Figura 40 - Árvore de Falhas da A03E | 61 |
| Figura 41 - Plano de Ação da A03E | 62 |
| Figura 42 - Resumo do Plano de Ação da A03E | 62 |
| Figura 43 - Evolução da Manutenção Corretiva da A03E..... | 63 |
| Figura 44 - Gráfico do tempo de Manutenções Corretivas da A03F no período jul/2010 a Jul/2011..... | 63 |
| Figura 45 - Árvore de Falhas da A03F..... | 64 |
| Figura 46 - Plano de Ação da A03F..... | 65 |
| Figura 47 - Resumo do Plano de Ação da A03F | 66 |
| Figura 48 - Evolução da Manutenção Corretiva da A03F | 67 |
| Figura 49 - Gráfico do tempo de Manutenções Corretivas da A04A no período de Jul/2010 a Jul/2011..... | 67 |
| Figura 50 - Árvore de Falhas da A04A | 69 |
| Figura 51 - Plano de Ação da A04A | 70 |
| Figura 52 - Resumo do Plano de Ação da A04A | 71 |
| Figura 53 - Evolução da Manutenção Corretiva da A04A..... | 71 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Simbologia do FTA | 25 |
| Tabela 2 - Tabela das etapas da árvore de falhas | 25 |
| Tabela 3 - Dados técnicos do transportador de correia TR-A4A. | 31 |
| Tabela 4 - Grau de enchimento dos materiais embarcados no Píer I..... | 47 |
| Tabela 5 - Resultado do dimensionamento do TR's da linha A..... | 50 |
| Tabela 6 - do tempo de Manutenções Corretivas da A03C no período de Jul/2010 a Jul/2011 | 53 |
| Tabela 7 - Tabela do tempo de Manutenções Corretivas da A03D no período de Jul/2010 a Jul/2011..... | 57 |
| Tabela 8 - Tabela do tempo de Manutenções Corretivas da A03E Jul/2010 a Jul/2011 | 61 |
| Tabela 9 - Tabela do tempo de Manutenções Corretivas da A03F no período de Jul/2010 a Jul/2011..... | 64 |
| Tabela 10 - Tabela do tempo de Manutenções Corretivas da A0A4 no período Jul/2010 a Jul/2011..... | 68 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍGLAS

| | |
|--------|--|
| DF | <i>Disponibilidade Física</i> |
| CN's | <i>Carregadores de Navios</i> |
| CEMA | <i>Conveyor Equipment Manufacturers Association (Associação dos Fabricantes de Equipamentos Transportadores)</i> |
| FMEA | <i>Failure Modes and Effects Analysis (Análise dos Modos e Efeitos de Falha)</i> |
| FTA | <i>Failure Tree Analysis (Análise de Árvore de Falha)</i> |
| GPV | <i>Gestão de Produção Vale</i> |
| JIPM | <i>Instituto Japonês de Manutenção de Planta</i> |
| RCM | <i>Reliability Centered Maintenance (Manutenção Centrada em Confiabilidade)</i> |
| PDCA | <i>Plan (Planejamento), Do (Execução), Check (Verificação) e Act (Ação)</i> |
| SGOP | <i>Sistema de Gestão da Operação do Porto de Tubarão</i> |
| SGR | <i>Sistema de Gestão de Rotina</i> |
| TR-A3C | <i>Transportador de correia A3C</i> |
| TR-A3D | <i>Transportador de correia A3D</i> |
| TR-A3E | <i>Transportador de correia A3E</i> |
| TR-A3F | <i>Transportador de correia A3F</i> |
| TR-A4A | <i>Transportador de correia A4A</i> |
| UFES | <i>Universidade Federal do Espírito Santo</i> |
| VPS | <i>Sistema Vale de Produção</i> |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1 INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.2 OBJETIVO GERAL | 14 |
| 1.3 OBJETIVO ESPECÍFICO | 14 |
| 1.4 RELEVÂNCIA DO TRABALHO | 14 |
| | |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 16 |
| 2.1 MANUTENÇÃO DE CLASSE MUNDIAL | 16 |
| 2.2 MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL - TPM | 18 |
| 2.3 OEE (OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS) | 20 |
| 2.3.1 Produtividade | 21 |
| 2.3.2 Disponibilidade Física..... | 22 |
| 2.3.3 Utilização..... | 23 |
| 2.4 PDCA | 23 |
| 2.5 FTA | 24 |
| 2.6 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO | 26 |
| | |
| 3 ESTUDO DE CASO | 28 |
| 3.1 PORTO DE TUBARÃO – VALE | 28 |
| 3.2 TRANSPORTADOR DE CORREIA..... | 29 |
| 3.3 LINHA A – VALE | 30 |
| 3.4 METODOLOGIA DE ANÁLISE PARA O ESTUDO DE CASO | 32 |
| 3.5 ANÁLISE DA BAIXA PRODUTIVIDADE DA LINHA..... | 33 |
| 3.5.1 Fase I - Análise da baixa produtividade da linha | 33 |
| 3.5.1.1 Histórico de Produtividade..... | 33 |
| 3.5.1.2 Restrições do acionamento | 34 |
| 3.5.1.3 Restrições nos chutes | 36 |
| 3.5.1.4 Restrições Operacionais | 38 |
| 3.5.2 Fase II – Plano de ação | 39 |
| 3.5.3 Fase III – Execução das Ações..... | 40 |
| 3.5.3.1 Descrição do Problema – Parâmetros dos relés e PLC | 40 |
| 3.5.3.1.1 Ações Executadas..... | 40 |

| | |
|--|-----------|
| 3.5.3.1.2 <i>Ganhos esperados</i> | 41 |
| 3.5.3.2 Descrição do Problema – Nível de óleo dos acoplamentos | 41 |
| 3.5.3.2.1 <i>Ações Executadas</i> | 41 |
| 3.5.3.2.2 <i>Ganhos esperados</i> | 42 |
| 3.5.3.3 Descrição do Problema – Projeto Inadequado | 42 |
| 3.5.3.3.1 <i>Ações Executadas</i> | 42 |
| 3.5.3.3.2 <i>Ganhos esperados</i> | 46 |
| 3.5.3.4 Descrição do Problema – Operação Incorreta. | 47 |
| 3.5.3.4.1 <i>Ações Executadas</i> | 47 |
| 3.5.3.4.2 <i>Ganhos esperados</i> | 48 |
| 3.5.3.5 Descrição do Problema – Subdimensionamento do Acionamento..... | 48 |
| 3.5.3.5.1 <i>Ações Executadas</i> | 49 |
| 3.5.3.5.2 <i>Ganhos esperados</i> | 50 |
| 3.5.4 Fase IV – Análise dos Resultados | 50 |
| 3.6 ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE | 51 |
| 3.6.1 Análise do Transportador A03C..... | 52 |
| 3.6.2 Análise do Transportador A03D..... | 56 |
| 3.6.3 Análise do Transportador A03E..... | 60 |
| 3.6.4 Análise do Transportador A03F..... | 63 |
| 3.6.5 Análise do Transportador A04A..... | 67 |
| 3.6.6 Análise dos Resultados | 72 |
| 4 CONCLUSÃO | 73 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 75 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO

Em um cenário cada vez mais competitivo entre as grandes indústrias, a adoção de práticas e modelos de excelência de gestão está cada vez mais difundida em suas estruturas organizacionais como instrumento para o alcance dos resultados e metas.

A manutenção como parte integrante da estratégia das empresas, atualmente também contempla práticas e modelos de excelência de gestão que visam garantir maior disponibilidade, produtividade, confiabilidade, segurança e redução de rejeitos, dos equipamentos presentes nos processos.

Os modelos de excelência de gestão da manutenção inseridos nas empresas consistem basicamente em princípios, metodologias e ferramentas. A metodologia TPM (*Manutenção Produtiva Total*), a prática de engenharia de manutenção, o uso de indicadores de classe mundial para acompanhamento de performance dos equipamentos, bem como a utilização de ferramentas de gestão para melhoria contínua como PDCA, FTA, FMEA e RCM, englobam esses itens de excelência da manutenção industrial.

A VALE S.A, em particular o Porto de Tubarão, considera a manutenção como atividade fundamental para sustentação do seu sistema produtivo. As ações desenvolvidas pela manutenção da empresa estão em sintonia com esses modelos de excelência e visam à melhoria contínua dos equipamentos e processos, maximizando a disponibilidade, produtividade, confiabilidade e a vida útil dos ativos.

Deste modo, o presente estudo de caso propõe o desenvolvimento de ações que visam à melhoria contínua dos equipamentos e processo, em particular por meio da melhoria dos indicadores de Produtividade e Disponibilidade de equipamentos integrantes do processo logístico do embarque de minério do Porto de Tubarão. As ações propostas são resultado do desenvolvimento da metodologia aplicada no estudo de caso, metodologia esta, baseada nas melhores ferramentas de gestão da manutenção e que visa o aumento da eficiência dos equipamentos estudados.

1.2 OBJETIVO GERAL

Propor o desenvolvimento de ações que visam aumentar a produtividade e disponibilidade de umas das linhas que compõem o embarque de minério do Porto de Tubarão da VALE S/A.

1.3 OBJETIVO ESPECÍFICO

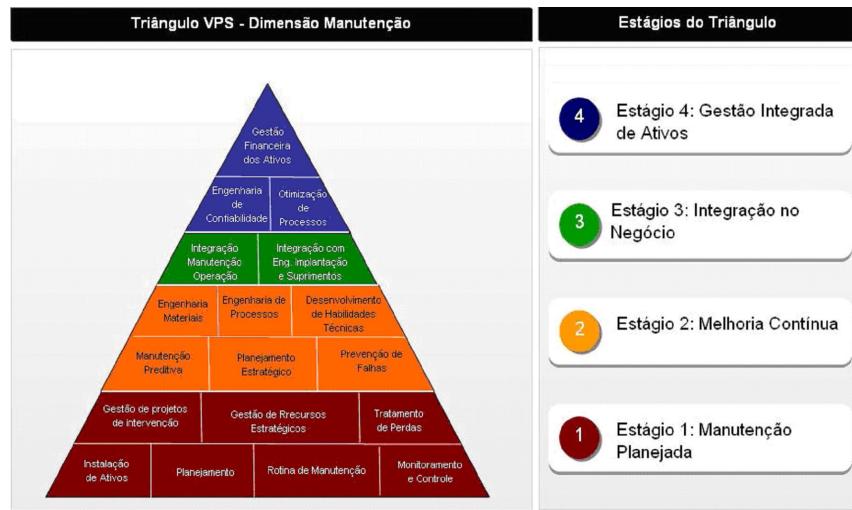
Em específico o trabalho pretende estabelecer um método para a melhoria da produtividade e disponibilidade a ser aplicada em um estudo de caso, referente a uma linha de transportadores de correia, através da utilização do ciclo de melhoria contínua PDCA, ferramenta FTA (*Failure Tree Analysis*) e o desenvolvimento de ações relativas às causas básicas identificadas, que prejudicam o desempenho satisfatório da linha.

1.4 RELEVÂNCIA DO TRABALHO

O busca constante pela melhoria contínua dos processos produtivos é um dos principais objetivos mundialmente praticados pelas grandes empresas, sendo esse aspecto cada vez mais inserido em seus valores e princípios.

Não diferente, a VALE S.A possui um sistema integrado de produção chamado de VPS (*Sistema Vale de Produção*) que define e organiza seus recursos industriais e humanos para executar sua missão e alcançar sua visão com excelência, para qualquer área ou negócio. Tal sistema tem como uma de suas premissas a *Otimização de Processos*, item presente no quarto estágio da pirâmide a *Gestão Integrada de Ativos*.

Figura 1 - Triângulo VPS - Sistema Vale de Produção



Fonte: Vale (2010)

Assim, o tema escolhido está inserido na forma de gestão e valores da empresa, pois trabalhar com processos mais eficientes é requisito que diferencia algumas empresas diante do contexto competitivo do mercado, além de fazer parte dos objetivos e práticas modernas da manutenção.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MANUTENÇÃO DE CLASSE MUNDIAL

A manutenção, assim como outras áreas, tem evoluído rapidamente ao longo dos anos, motivada tanto pelos aspectos exigidos pela indústria que visam diminuir custos, aumentar eficiência e confiabilidade dos equipamentos e pela evolução tecnológica de plantas industriais e processos.

A evolução histórica da manutenção pode ser dividida, segundo Siqueira (2005), em 03(três) gerações distintas:

- **Primeira Geração:** Mecanização;
- **Segunda Geração:** Industrialização;
- **Terceira Geração:** Automatização.

A Primeira Geração compreendeu o período entre 1930 a 1940, período este em que a indústria limitava-se a pequenas produções, utilizando equipamentos simples e de baixa tecnologia.

Os aspectos relacionados aos equipamentos presentes nos processos produtivos, tais como, produtividade, segurança, meio ambiente e integridade eram pouco levados em consideração, havendo apenas pequenas ações de conservação através de limpeza e lubrificações, sendo a exigência principal que os equipamentos fossem restaurados caso apresentassem defeitos. A manutenção dessa forma se caracterizava como plenamente corretiva.

Já a Segunda Geração surge das necessidades e reflexos da pós – guerra e estende até 1975, em que a sociedade tornou-se mais dependente dos produtos e processos, resultado alcançado graças à disseminação das linhas de produção e nível de industrialização. Com a estreita dependência da sociedade aos produtos e processos industriais, a disponibilidade e produtividade dos equipamentos passaram a representar perdas financeiras significativas e itens importantes para a competitividade entre as indústrias.

A escassez de mão-de-obra especializada, gerada pela rápida mecanização e automação dos processos, tornou complexa a solução de falhas e defeitos nas linhas produtivas. Esse fato representou tempos maiores de paradas do processo, com isso a manutenção iniciou um processo de prevenção de possíveis falhas, buscando garantir a disponibilidades dos equipamentos. Surge assim, diante reflexos, técnicas de manutenção preventiva sistemática, manutenção preditiva e revisão periódica de equipamentos, que de forma orientada visam à minimização de falhas e seus respectivos impactos.

O custo de manutenção também começou a elevar-se muito em comparação com outros custos operacionais. Esse fato fez aumentar os sistemas de planejamento e controle de manutenção que, hoje, são parte integrante da manutenção moderna (KARDEC; NASCIF, 2005).

A fase seguinte, Terceira Geração, é marcada pelo grande impacto gerado pela indisponibilidade dos equipamentos ou processos, sejam eles por falha ou para manutenção preventiva. Nesse contexto, a sociedade está cada vez mais dependente das funções oferecidas por máquinas e a indústria passa a utilizar o sistema *just-in-time*, ou seja, produção sobe demanda com prazo para início e entrega do produto ou serviço. Assim, qualquer atrasado no sistema produtivo por falha de um equipamento representa grandes perdas financeiras.

Diante dessa situação, cresce então à necessidade de uma manutenção sobe condição, chamada também de manutenção preditiva, a qual tem o objetivo de deixar o equipamento o mais disponível possível, realizando a intervenção de manutenção somente se houver apontamento de desvio de funcionamento do conjunto.

Também nesse período, a indústria segue a tendência da produção em larga escala através de processos mais automatizados, a sociedade passa a exigir maior qualidade dos produtos, leis ambientais e de segurança mais severas entram em vigor e passam a representar passivos internalizados nos custos das empresas. Assim, qualquer falha passa não apenas a representar perda financeira, tendo um impacto mais significativo.

Outro aspecto que marca a Terceira Geração é a interação da manutenção com as fases de implantação e elaboração de projetos, com o intuito de garantir maior confiabilidade dos equipamentos e processos produtivos.

Atualmente, a missão da manutenção é de garantir a disponibilidade dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção ou de serviço, com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custo adequados (KARDEC; NASCIF, 2005).

A manutenção tem um papel muito importante no sistema de qualidade da organização e está dentro da visão do TPM (*Manutenção Produtiva Total*), pois para cumprir a sua Missão, ela precisa atuar como elo das ações dos subsistemas de engenharia, suprimento, inspeção dos equipamentos, dentre outros, para atender ao cliente interno, que é a operação (KARDEC; NASCIF, 2005). O estágio de excelência é atingido, caso essa ligação esteja de fato presente entre as áreas envolvidas no processo produtivo, facilitando o cumprimento da missão e objetivos da empresa.

2.2 MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL - TPM

Resultado da evolução da manutenção, a metodologia TPM surgiu após a Segunda Guerra Mundial onde as empresas japonesas com o objetivo de melhorar a qualidade de seus produtos e tornarem-se competitivas nos mercados mundiais importaram da Europa e Estados Unidos métodos de gerenciamento de fábricas e técnicas de manufatura (TAKAHASHI, 1993). Um desses métodos trazidos, de forma mais amadurecida nasceu no início da década de 70 a Manutenção Produtiva Total (*Total Productive Maintenance - TPM*), com o objetivo de aumentar a eficiência global das empresas trabalhando de forma integrada com todas as áreas e pessoas e com compromisso de atingir o melhor desempenho.

Como exemplo e evidência do sucesso convertido em resultados das empresas japonesas que adotaram e conduziram a metodologia, em 1971 foi concedido o prêmio PM, à empresa Nippon Denso KK do grupo Toyota, prêmio esse criado pela Associação Japonesa de Manutenção e representava o sucesso na implantação da metodologia.

Em tempos, a metodologia TPM se tornava vital para as industriais, em um cenário cada vez mais competitivo, em que a necessidade de reduzir e eliminar desperdícios, obter melhor desempenho dos equipamentos, reduzir as perdas e paradas produtivas e aumentar a qualidade dos produtos, o surgimento dessa metodologia veio atender essas necessidades criando uma cultura que persiste em melhorar continuamente o sistema produtivo da empresa.

A expressão “*Total*” deveria ser posta em destaque no termo TPM, pois, todos os princípios e práticas da metodologia exigem que o todo da empresa visualize os objetivos finais da instituição, tendo o envolvimento maior entre pessoas e processos para uma finalidade comum. Esse nível de envolvimento, a exemplo, leva a operação a se tornar mais conhecedora dos processos e equipamentos do processo sendo mais capazes de identificar, reportar, minimizar e até eliminar a causa das falhas e defeitos. Os operadores podem realizar tarefas simples de limpeza e pequenos reparos, ficando a cargo da manutenção problemas e situações mais complexas e de cunho mais técnico.

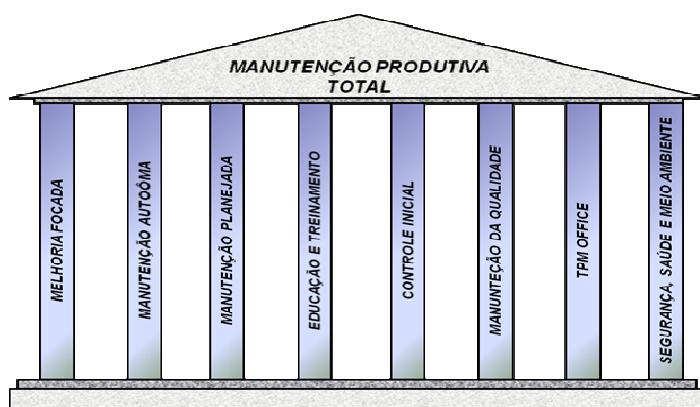
A metodologia também contribui para a criação de um senso crítico nas pessoas, fazendo com que elas se sintam responsáveis pelo bom funcionamento do processo que integram, com sentimento de “donos” do próprio negócio. De forma positiva, à medida que reduz drasticamente as perdas relacionadas paralisação dos equipamentos por quebra ou falhas, a geração de peças defeituosas e a ocorrência de acidentes faz com que seja gerado um alto nível de satisfação entre as equipes envolvidas no processo, elevando assim o bem estar das pessoas.

De forma resumida, os objetivos e pilares do TPM de acordo a definição estabelecida em 1989 pelo JIPM “*Instituto Japonês de Manutenção de Planta*”, podem resumir-se em:

- Consolidar uma cultura corporativa que busque constantemente a melhoria da eficiência do processo produtivo;
- Estabelecer meios para prevenção de qualquer tipo de perda, garantindo assim “metas zero” de acidente, defeito ou falha em todo ciclo de vida do um sistema de produção;

- Envolver todos os departamentos de operação, manutenção, engenharia, marketing e administração para o cumprimento dos objetivos produtivos;
- Obter o envolvimento completo dos colaboradores, desde a direção até o chão de fábrica;
- Atingir perda-zero através das atividades de pequenos grupos.

Figura 2 - Pilares do TPM



Fonte: Adaptado KARDEC; NASCIF (2005, p. 185).

Segundo afirma Nakajima:

A meta para as atividades de melhoria de toda a fábrica é aumentar a produtividade pela minimização das entradas e maximação das saídas. As saídas não se referem apenas ao aumento da produtividade, mas também para melhorar qualidade, menor custo, melhoria da segurança industrial e higiene aumento da moral e um ambiente de trabalho mais favorável (NAKAJIMA, 1989, p.9).

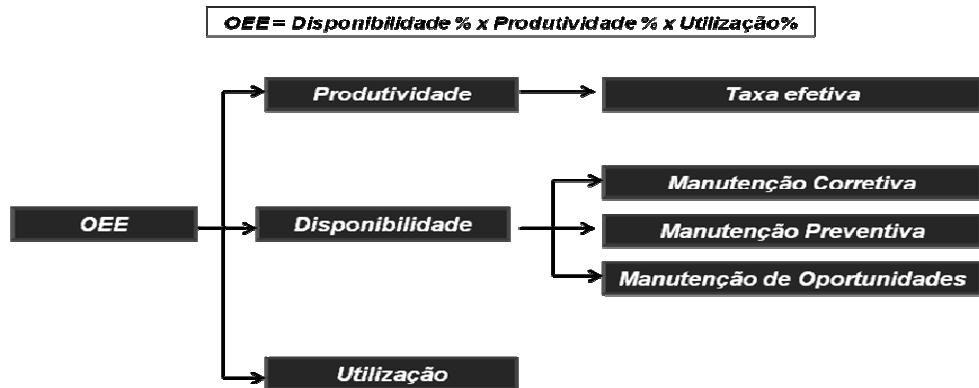
2.3 OEE (OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS)

A eficácia global de equipamentos - OEE foi primeiramente utilizada por Seiichi Nakajima e está inserida na visão moderna de manutenção mais precisamente na metodologia TPM e seu objetivo é analisar unicamente a eficácia global do equipamento ou processo.

O indicador OEE relaciona as taxas de disponibilidade, produtividade e utilização do equipamento ou planta operacional, podendo assim auxiliar na melhoria contínua e

na eficiência da produção, por ser um meio de identificar perdas do processo. O indicador OEE é indicador que reflete muito bem a excelência do processo, sua formula de cálculo é expressa conforme a Figura 3.

Figura 3 - Estrutura base do OEE



Fonte: Os autores

Como exemplo, um equipamento pode possuir disponibilidades altas cerca de 90 a 98% e apresentar alguns defeitos que impeçam sua produtividade máxima, demonstrando assim baixa eficiência global.

2.3.1 Produtividade

A Produtividade ou Taxa Efetiva Relativa (T_{RE}) de um transportador é o indicador que mede a relação percentual entre a taxa nominal ou de projeto do equipamento ou linha e a taxa efetiva realizada, expressa em porcentagem.

$$T_{RE} = \frac{T_E}{T_{MON}} \quad (1)$$

Onde:

- Taxa efetiva é a (T_E) é o indicador que mede a performance média dos períodos de operação propriamente ditas de um equipamento ou linha. São desconsideradas quaisquer paralisações, independentemente de sua causa ou responsabilidade.

- Taxa Nominal (T_{NOM}) é o valor de projeto da taxa, incluindo-se reformas, melhorias e repontenciamentos que, porventura tenham aumentado esse valor.

Deste modo, a Taxa Relativa Efetiva, é a base para o cálculo do indicador de Produtividade das linhas de embarques do Porto de Tubarão.

2.3.2 Disponibilidade Física

A Disponibilidade Física (DF) consiste na relação entre a diferença do número total de horas de um período (horas calendário) e o número total de horas de manutenção (preventiva, corretiva e oportunidade) com o número total de horas do período considerado. Representa o tempo total que a equipe de manutenção deixou o equipamento ou planta disponível para a operação utilizar.

É importante lembrar que a Disponibilidade Física é o indicador utilizado para o processo de tratamento de perdas nos processos de manutenção, onde serve de base para a identificação das perdas de manutenção e elaboração de ações que melhorem a performance dos equipamentos através do bloqueio das falhas crônicas e/ou prevenção de falhas críticas.

Figura 4 - Cálculo da Disponibilidade Física

$$DF = \left[\frac{HORA \text{ CALENDÁRIO} - \sum(HORA \text{ MANUTENÇÃO})}{HORA \text{ CALENDÁRIO}} \right] \times 100$$

Hora manutenção →
 → Manutenção Corretiva
 +
 → Manutenção Preventiva
 +
 → Manutenção de Oportunidade

Hora Calendário → Tempo total de um período medido em horas

Fonte: VALE, (2011)

Assim a Disponibilidade Física é o indicador que mede a relação percentual entre o tempo em que o equipamento ou linha não esteve bloqueado para manutenções corretivas, preventivas, preditivas, reformas ou manutenções de oportunidade

(Oportunidade de manutenção através de paralisação de outros equipamentos) e o tempo total do período avaliado.

2.3.3 Utilização

Utilização nada mais é do que a relação percentual entre o tempo total efetivamente operado e o tempo total disponível de um equipamento ou processo. Essa relação baseia-se no número total de horas de determinado período, no número total de horas de manutenções nesse mesmo período e no número total de horas em que o equipamento ou linha está efetivamente em operação.

2.4 PDCA

O PDCA (*Plan, Do, Check, Act*) é um ciclo de desenvolvimento que tem foco no atingimento de metas e na melhoria contínua. Este conceito tem como objetivo tornar mais claros as atividades envolvidas na execução da gestão de processos, como por exemplo, na manutenção. O PDCA é aplicado para se atingir resultados dentro de um sistema de gestão e é muito utilizado nas grandes indústrias hoje em dia para garantir o sucesso nos negócios.

O PDCA é dividido em quatro passos. O primeiro é representado pelo “P” de planejamento, onde é identificado o problema, analisado o fenômeno, ou seja, são analisados os dados em relação ao problema, analisado o processo, onde são descobertas as causas fundamentais, e criado o plano de ações.

O segundo passo, representado pelo “D” de executar se baseia em realizar e executar as atividades conforme o plano de ação. O “C” de verificar representa o terceiro passo, onde são acompanhados e avaliados periodicamente os resultados, além de consolidado as informações e gerado relatórios.

O quarto passo é o “A” de ação que se baseia em agir de acordo com o que foi avaliado nos relatórios, criar novos planos de ação para corrigir eventuais falhas de forma a melhorar a eficiência do processo.

A Figura 5 representa o diagrama do PDCA.



2.5 FTA

O FTA (*Fault Tree Analysis*), ou análise de árvore de falha, é baseado em uma ferramenta analítica chamada árvore lógica. Seu objetivo é mapear os diversos caminhos entre um modo de falha de um produto ou processo, denominado evento topo, e as diversas causas que contribuem para a sua ocorrência.

Dentre os principais benefícios do FTA estão: a permissão de uma visualização do problema, o auxílio na identificação dos itens que necessitam ter um alto nível de confiabilidade e a determinação da probabilidade de ocorrência de cada rota de falha identificada pela árvore. O FTA deve ser aplicado quando a falha identificada for sistêmica, com múltiplas causas, sendo estas complexas e dependentes entre si.

Para a construção de uma árvore de falhas são utilizadas portas lógicas e simbologia dos eventos. As portas lógicas conectam os eventos de acordo com suas relações causais, estabelecidas pelo desdobramento das falhas, levando-se em consideração o funcionamento do sistema. A Tabela 1 representa as simbologias dos eventos e as portas lógicas, e suas descrições:

Tabela 1 - Simbologia do FTA

| SIMBOLOGIA DOS EVENTOS | |
|------------------------|---|
| | Simboliza que a falha intermediária é o resultado da combinação de mais de uma falha e que deverá ser desdobrada. |
| | Indica uma falha básica de um componente e também o limite de resolução da árvore. Os eventos contidos dentro de um círculo são chamados também de eventos básicos. |
| | São eventos que não serão desdobrados na atual fase de elaboração da árvore pois não sabe-se a resposta das causas. |
| | Evita a repetição de um determinado desdobramento de uma falha que ocorre em diversas portas. |
| PORTAS LÓGICAS | |
| | Evento de saída ocorre se pelo menos um dos de entrada ocorrer. |
| | Evento de saída só ocorre se todos os de entrada ocorrerem. |

Fonte: Carlos A. Scapin (2007)

A preparação da árvore de falhas consiste em um processo determinístico, onde predomina a análise da relação de causa e efeito existente entre os elementos que compõem um produto ou um processo. Assim, sua elaboração passará sempre pela definição daquilo que se pretende analisar, pelo processo de análise e pela obtenção dos resultados obtidos. Nesse entorno é possível então propor metodologias com maior ou menor grau de detalhamento. A Tabela 2 é uma adaptação dos procedimentos para construção de uma árvore de falhas proposto por Helman e Andery (1995).

Tabela 2 - Tabela das etapas da árvore de falhas

| | ETAPAS | DESCRIÇÃO DAS ETAPAS |
|---|--|--|
| 1 | Definir a equipe responsável | a equipe deve ser multifuncional |
| 2 | Selecionar o "evento de topo" | onde o evento de topo é a falha do sistema que é motivo de estudo |
| 3 | Coletar dados | coletar as informações que serão analisadas |
| 4 | Definir quais são as interfaces ou fronteiras do sistema | definir os eventos ou situações básicas cuja análise não se considera necessária aprofundar |
| 5 | Analizar detalhadamente o sistema | aprofundar a análise detalhada do sistema, buscando compreender suas características e suas inter-relações |
| 6 | Montar preliminarmente a árvore de falhas | elaboração de um esboço da árvore de falhas |
| 7 | Revisar a árvore de falhas | revisão e elaboração definitiva da árvore de falhas |

Fonte: Helman e Andery (1995)

2.6 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO

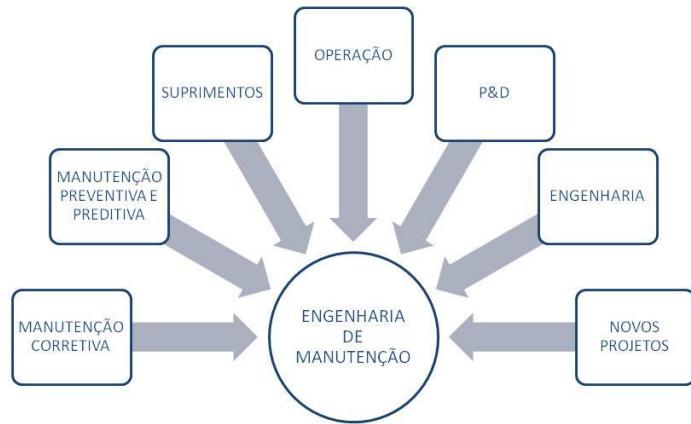
A Engenharia de Manutenção é uma estrutura inserida na manutenção das empresas, que possui práticas específicas e tem como objetivo principal a otimização dos processos, redução de paradas de manutenção e melhoria contínua dos equipamentos.

Segundo Nascif (2001), praticar a engenharia de manutenção é perseguir benchmarks. Em resumo, o termo expressa a busca constante de melhores práticas e desempenho de seu processo ou equipamento, até que este esteja de acordo ou superior com as melhores referências existentes.

Quando a área de manutenção de uma empresa passa a praticar a engenharia de manutenção, ela tende a mudar sua cultura; passa a investigar as causas das quebras e interrupções, modificar situações crônicas, melhorar sistemáticas de manutenção, enfim, almeja garantir maior disponibilidade e produtividade à planta, utilizando técnicas consagradas de gestão. Neste mesmo sentido, a engenharia de manutenção encarrega-se da gestão do processo de manutenção, procurando melhorar continuamente a eficiência do mesmo (SIQUEIRA, 2005).

Para atender esses objetivos a engenharia de manutenção intervém em diversos processos e esferas da estrutura organizacional das empresas, em reciprocidade a metodologia TPM (*Manutenção Preventiva Total*), com o objetivo de garantir melhor desempenho à planta industrial. Essa intervenção pode variar de empresa para empresa conforme seu escopo e atividade, porém em resumo a estrutura deve estar envolvida em processos que influenciam diretamente em seus objetivos.

Figura 6 - Organização da Engenharia de Manutenção



Fonte: Souza (2010)

3 ESTUDO DE CASO

3.1 PORTO DE TUBARÃO – VALE

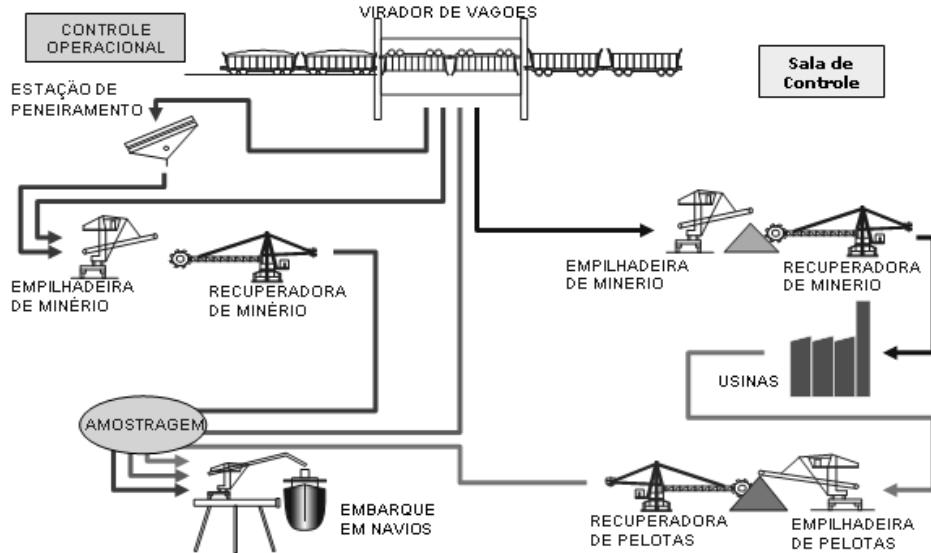
A construção do Terminal de Tubarão foi iniciada em 1962, pela então Companhia Vale do Rio Doce, através de um projeto pioneiro idealizado por Eliezer Batista. Inaugurado em 01 de Abril de 1966, sua construção contribuiu para criar um novo processo logístico de transporte de granéis sólidos e líquidos entre o Brasil e outros países.

A princípio o porto contava com um virador de vagões, uma empilhadeira com uma linha de correias transportadoras e um carregador de navios com uma linha de transportadores. A recuperação de minério dos pátios para o embarque era realizada com um sistema de “hopper” e escavadeiras de mina.

Com o objetivo de atender o crescimento da demanda mundial de minério de ferro e outros granéis o Terminal de Tubarão sofreu ampliações ao longo dos anos. Atualmente, com a capacitação das rotas de embarque e com as modernizações tecnológicas implantadas em suas máquinas, o Terminal de Tubarão é capaz de exportar mais de 110 milhões de toneladas/ano de minério de ferro e pelota.

Para atingir as suas metas de exportação, o complexo portuário, hoje, conta com um sistema operacional para descarga com 05 viradores de vagões, pátios de estocagem com capacidade total de 3,4 milhões de toneladas e 09 empilhadeiras. Para o sistema operacional de embarque dispõem de 08 recuperadoras, 04 carregadores de navios e comum aos dois processos possui 03 empilhadeiras recuperadoras e várias correias transportadoras.

Figura 7 - Fluxograma do Porto de Tubarão



Fonte: VALE (2009)

Garantir a função dos equipamentos que compõe o complexo de Tubarão é primordial para atendimento das metas e estratégia da manutenção. Como o fluxo do processo de descarga e carregamento de granéis em sua maioria é em linha, os equipamentos estão dispostos em série e a falha de um deles pode impedir a continuidade do processo refletindo em perdas significativas para empresa.

3.2 TRANSPORTADOR DE CORREIA

Como parte integrante dos processos de descarga e embarque de minério e com grande importância para o processo logístico da empresa, o transportador de correia, objeto do estudo, envolve uma série de elementos que desempenham funções específicas para finalidade de transporte de material.

De origem no século XX, esse equipamento tem sido largamente utilizado ao longo dos anos para movimentação de uma extensa gama de materiais de forma econômica, podendo atender a uma grande faixa de capacidade de carga a longas distâncias em relação a qualquer outro tipo de transportador mecânico contínuo.

No presente contexto, os transportadores de correias representam um ativo crítico para que a empresa atinja suas metas comerciais, pois a exportação dos granéis é realizada mediante seu transporte pelas correias.

Figura 8 - Linhas de carregamento de minério do Píer I



Fonte: VALE (2011)

No Porto de Tubarão, para melhor analisar o desempenho dos macros processos de embarque e descarga, os indicadores de produtividade, disponibilidade e utilização são agrupados no indicador de eficiência global do processo – OEE. Em ambos os processos, o uso de correia transportadora está intrínseco, por isso manter sua produtividade adequada e garantir sua disponibilidade afetam diretamente esse indicador, demonstrando quão eficiente está o processo.

3.3 LINHA A – VALE

Uma das rotas responsáveis pelo transporte de granéis para os Carregadores de Navios CN-01A e CN-02A do Píer I é realizado pelo conjunto de transportadores que compõe a Linha A, sendo assim denominada por conter os transportadores, TR-A3C, TR-A3D, TR-A3E, TR-A3F e TR-A4A, conforme o arranjo da Figura 9.

Figura 9 - Representação esquemática da Linha A do Porto de Tubarão



Fontes: Os autores.

Projetada pela empresa TAKRAF Tenova Ltda. para operar com taxa nominal de 13.350 toneladas/hora e máxima capacidade de projeto de até 16.000 toneladas/hora, a linha é composta de transportadores de correia dispostos em série e possuem concepção similar de projeto. A Tabela 3 demonstra os dados técnicos do projeto de um dos transportadores que a compõe.

Tabela 3 - Dados técnicos do transportador de correia TR-A4A.

| DADOS TÉCNICOS DE PROJETO | | |
|----------------------------------|------------------|---------------------------|
| CAPACIDADE NOMINAL/ PROJETO | t/h | 13.350 / 16.000 |
| MATERIAIS TRANSPORTADOS | - | MINÉRIO DE FERRO, PELOTAS |
| PESO ESPECÍFICO DO MATERIAL | t/m ³ | 2,7 @ 2,15 |
| GRANULOMETRIA | mm | 0,1 @ 75 - 5a18 |
| UMIDADE MÁXIMA | % | 12 |
| REGIME DE TRABALHO | h/dia | 24 |
| ANGULO DE ACOMODAÇÃO DO MATERIAL | ° | 25° (MINÉRIO DE FERRO) |
| VELOCIDADE DA CORREIA | m/s | 4,8 |
| LARGURA DA CORREIA | mm | 1800 |
| TIPO DA CORREIA E COBERTURA | - | EP 200/5 - 10x3 mm RMA 1 |
| MOTOR | HP | 2 X 1000, 900 rpm |
| REDUTOR | - | B3SE16 |
| ACOPLAMENTO DE ALTA | - | TVVSC 1000 |
| ACOPLAMENTO DE BAIXA | - | MECÂNICO RÍGIDO |

Fonte: VALE (2011).

A Linha A iniciou sua operação em novembro de 2009 e fez parte de um plano de repotenciamento da capacidade de embarque de minério do Píer I do Porto de Tubarão. Porém, desde o início de seu funcionamento a linha apresentou uma baixa disponibilidade e uma taxa efetiva de operação inferior à de projeto.

A linha foi então escolhida como contexto do estudo, primeiramente por sua relevância no processo de embarque de minério e por ser um projeto recente implantado na VALE, que apresenta baixa produtividade e constantes falhas devidas suas complicações de projeto. Assim investigar as causas básicas, estudar e propor

alternativas que visam aumentar a produtividade e disponibilidade desses equipamentos é estratégia da empresa e contempla tanto os objetivos da metodologia da *Manutenção Produtiva Total – TPM* e principalmente da engenharia de manutenção.

3.4 METODOLOGIA DE ANÁLISE PARA O ESTUDO DE CASO

Devido aos fatos descritos no contexto da Linha A, iniciamos um estudo de caso para analisar os problemas que afetam sua produtividade e disponibilidade, e ao final foi proposto o desenvolvimento de ações para o aumento desses indicadores. Ações essas baseadas no desenvolvimento do ciclo PDCA, que é um ciclo com foco na melhoria contínua.

A metodologia FTA (*Failure Tree Analysis*) foi utilizada como eficiente ferramenta para identificação das causas básicas relacionadas aos problemas dos equipamentos da linha, auxiliando assim, as etapas de análise do fenômeno de itens presentes da fase “*P – Planejamento*” do ciclo PDCA, que compreende basicamente nas etapas de identificação dos problemas, análises dos fenômenos e processos, e no plano de ação.

Para a disponibilidade, a identificação do problema, também etapa da fase de planejamento do ciclo PDCA, foi resultado do levantamento do histórico das perdas do período analisado da linha A. A partir do histórico foram mapeadas as perdas de maior impacto no indicador de Disponibilidade Física que através da árvore de falhas foram identificadas suas causas raízes. Diante da identificação, foram elaborados os planos de ações finalizando a etapa “*P*” do PDCA, e em seqüência foram percorridas as outras fases do ciclo que compreende as etapas de execução, verificação dos resultados e conclusão.

Assim, as ações propostas para melhoria do desempenho dos transportadores de correia que compõe a Linha A foram baseadas nas causas identificadas através da ferramenta FTA, onde o evento “Baixa produtividade” e “Baixa disponibilidade” foram postas como evento de topo da árvore de falhas. Para a produtividade, a ferramenta teve como análise o baixo desempenho produtivo do processo, e em contraste para

a disponibilidade, a ferramenta foi aplicada dentro de sua forma mais usual, a de analisar falhas depois de ocorridas.

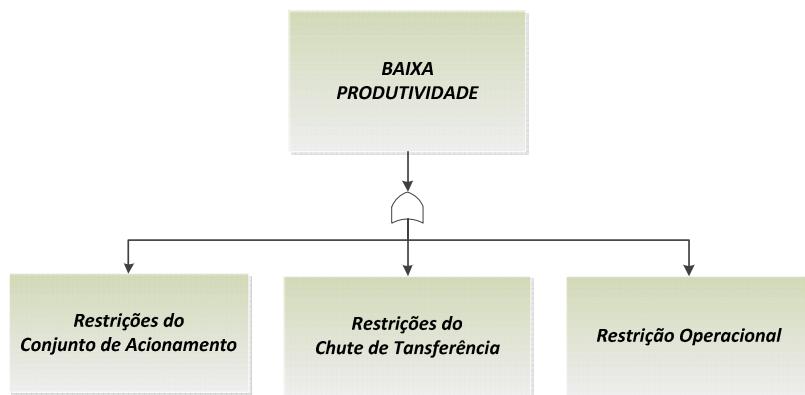
3.5 ANÁLISE DA BAIXA PRODUTIVIDADE DA LINHA

3.5.1 Fase I - Análise da baixa produtividade da linha

Diferentemente de sua aplicação usual, de identificar causas raízes de falhas depois de ocorridas, a ferramenta FTA foi utilizada para analisar os fatores que levam a baixa produtividade de uma linha de transportadores de correias, no caso exclusivo para os transportadores da Linha A.

A árvore de falhas com a “baixa produtividade” como evento topo, foi elaborada a partir de testes de carga realizados na linha, os quais tinham o objetivo de verificar as possíveis causas que limitavam a sua produtividade. As hipóteses levantadas para verificação nos testes eram baseadas no histórico dos equipamentos, experiência e conhecimento técnico de profissionais da área, onde através de reuniões foram listados os possíveis problemas que poderiam levar a baixa taxa operacional da linha.

Figura 10 - Primeiro estágio do FTA para baixa produtividade da linha



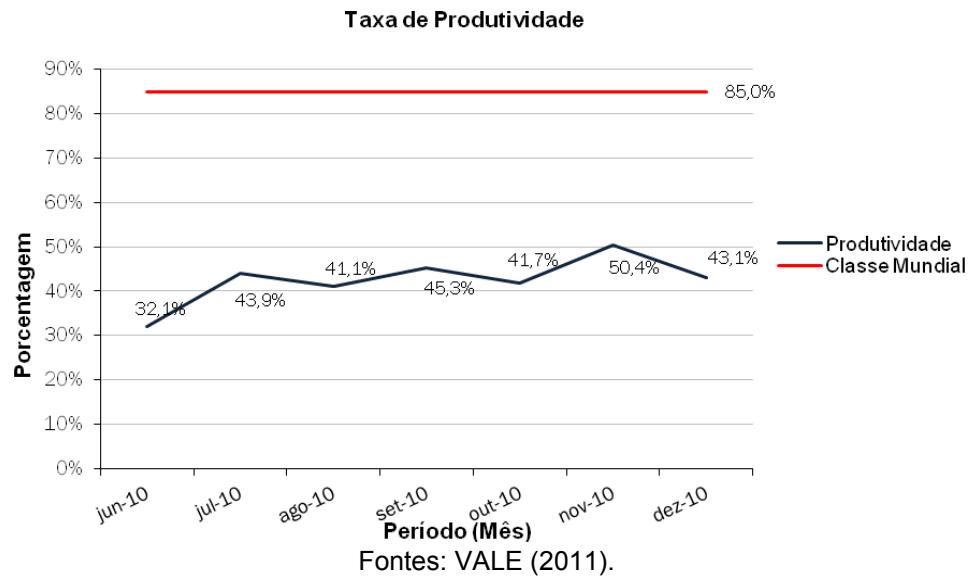
Fonte: Os autores.

3.5.1.1 Histórico de Produtividade

O cálculo da produtividade, realizado através dos apontamentos do SGOP (*Sistema de Gestão da Operação do Porto de Tubarão*), demonstra o histórico de baixo

desempenho produtivo da Linha A. Na Figura 11, como pode ser visto, a produtividade não ultrapassa a 60%, demonstrando a influência das três restrições apontadas na árvore de falha que levam a baixa produtividade da linha.

Figura 11 - Gráfico da Taxa de Produtividade da Linha A do Píer I da VALE



3.5.1.2 Restrições do acionamento

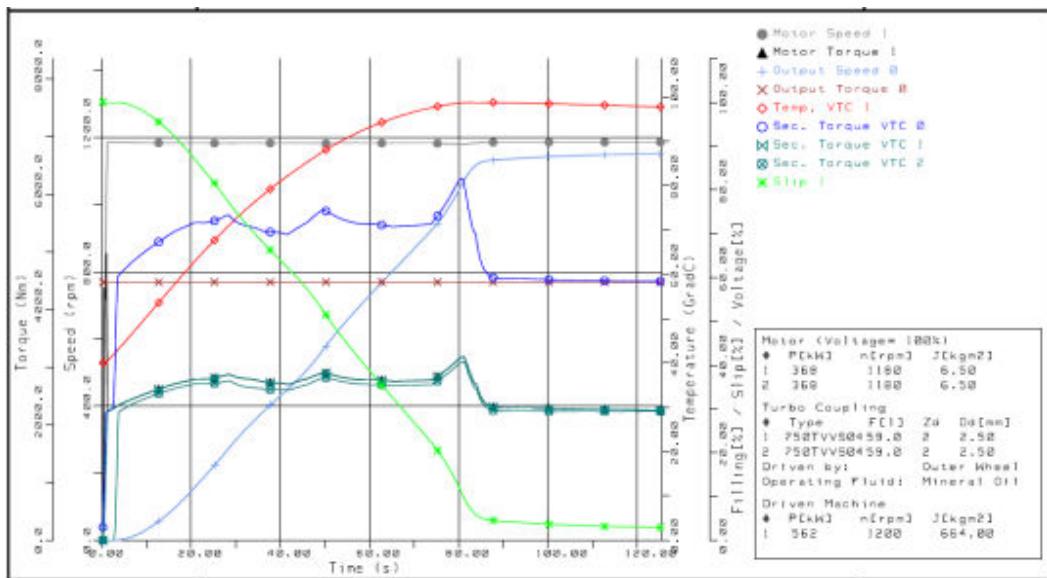
Os acionamentos dos transportadores de correia, que compõem a linha, usam acoplamentos hidráulicos constante entre o motor de indução e o redutor de velocidade, com objetivo de amenizar o esforço de partida do motor.

Figura 12 - Concepção de acionamento comumente utilizada para transportadores da VALE



Esta concepção é bastante comum para transportadores de correia que exigem potências acima de 300 HP. Para esses casos, o acoplamento permite que o motor parte desacarregado e acelere a carga lentamente a medida que o torque é transmitido através do trabalho do fluido entre o rotor, que é conectado ao motor, e a turbina ou impulsor, associado a carga total suficiente para mover o transportador. A Figura 13, mostra a existência de uma estreita relação entre os parâmetros do acoplamento hidráulico, motor e a potência exigida do equipamento durante a partida e regime de trabalho do conjunto de acionamento.

Figura 13 - Gráfico de partida do conjunto de acionamento do transportador



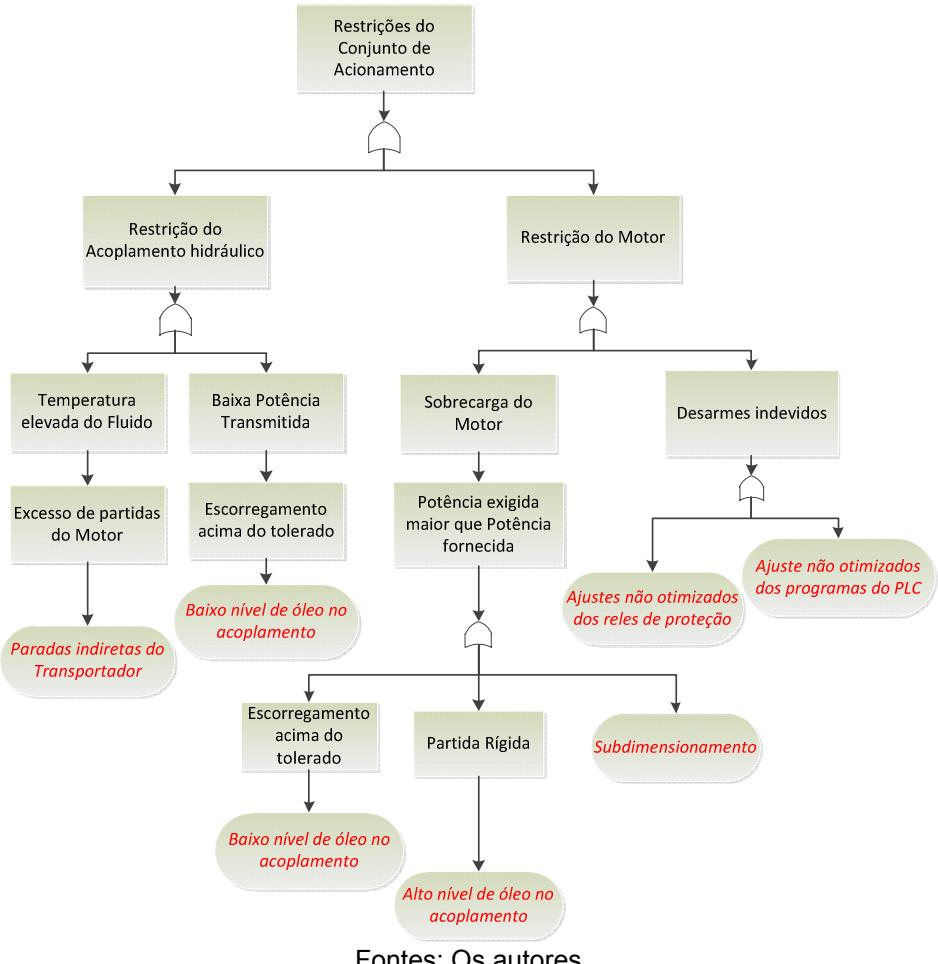
Fonte: VALE (2011).

A relação entre os parâmetros do acoplamento hidráulico, motor e a potência exigida do equipamento, devem sempre convergir para que a potência fornecida pelo conjunto de acionamento instalado seja maior que a potência exigida pelo transportador, e que o fluido de trabalho do acoplamento não ultrapasse seu limite de temperatura.

Casos esses parâmetros não estejam corretos, o conjunto de acionamento pode limitar a capacidade produtiva da linha ou ter impacto na disponibilidade gerando paradas dos equipamentos.

Com o uso da ferramenta FTA, foi possível identificar as causas dos problemas gerados pelas restrições do acionamento resultando na seguinte árvore de falha:

Figura 14 - Árvore de falha associada a restrições do conjunto de acionamento da Linha A do Píer I



Fontes: Os autores

Assim, para suprimir a baixa produtividade relacionada as restrições do acionamento, foram estudadas formas de otimização dos parâmetros dos acionamentos para que o transportador tenha maior capacidade de transporte de carga possível, sem que haja falha no conjunto, tanto durante a partida do transportador ou em regime comum de trabalho.

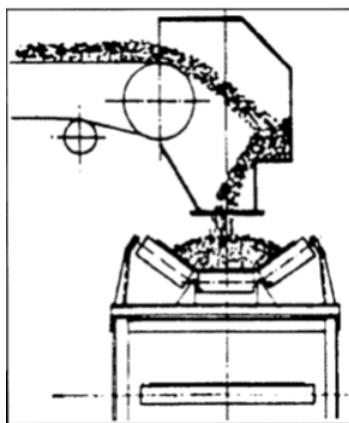
3.5.1.3 Restrições nos chutes

Entre os elementos que podem gerar restrições operacionais em uma linha, como foi visto no primeiro estágio da árvore de falhas, estão os chutes de transferência. Componente que faz parte de um transportador de correia, os chutes têm a função de garantir transferência do material transportado e dirigi-lo convenientemente à correia transportadora de modo a carregá-la equilibradamente, de forma centralizada e sem que haja o transbordamento da carga ou desalinhamento da correia.

Nos chutes de transferência sempre haverá descarga e carregamento de material entre dois pontos. Para o caso em questão, os chutes estão alocados com a função de garantir à transferência adequada de material de uma correia à outra ao longo da linha, chegando ao final nos carregadores de navios CN's.

O êxito da transferência depende fundamentalmente do projeto e do posicionamento do chute. Esses dois aspectos, quando bem implantados, refletem no modo de carregamento do material sobre a correia fazendo com que o chute não contenha pontos e regiões que levam ao seu entupimento. Desta forma, se o material for carregado no centro da correia, sem impacto, na mesma velocidade e sentido que a correia receptora, sem restrições na parte intermediária e inferior do chute, o mesmo não apresentará problemas, pois todas as condições para o perfeito funcionamento da transferência de material estariam sendo atendidas.

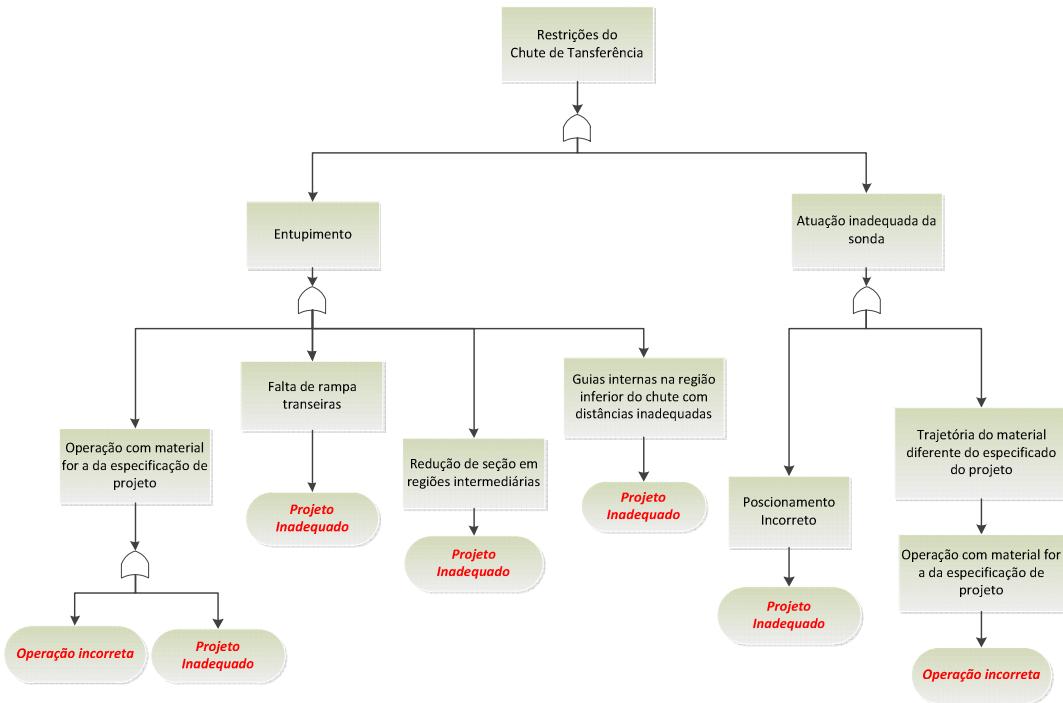
Figura 15 - Demonstração de um chute de transferência



Fonte: FAÇO, (2002)

Os principais apontamentos gerados no sistema informatizado de manutenção do Porto de Tubarão que limitam à produtividade da linha são basicamente, o entupimento do chute e a atuação incorreta de sondas. Na análise realizada da árvore de falhas obtivemos a seguinte desdobramento das causas:

Figura 16 - Árvore de Falha associada a restrições nos chutes de transferências



Fonte: Os autores

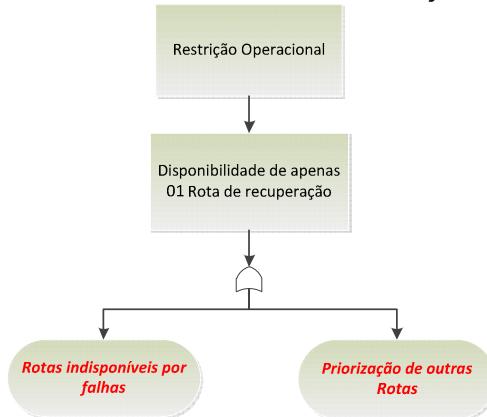
De acordo com as causas básicas identificadas na árvore de falhas, a modificação dos projetos dos chutes e a operação correta, ajudaria a linha a operar com taxas mais significativas, tendo assim um ganho operacional.

3.5.1.4 Restrições Operacionais

A rota de embarque de minérios através da linha A, de acordo com capacidade de nominal de projeto, deveria operar a 13.350 ton/h, porém essa linha de embarque é alimentada por outras rotas de recuperação de minério que tem capacidades inferiores a 8.000 ton/h. Assim, para que a linha opere a uma taxa normal, que demonstre sua real capacidade, se faz necessárias duas rotas de recuperação realizando sua alimentação.

A análise realizada dessa restrição, conforme mostra a Figura 17, impacta no indicador de produtividade, porém suas causas básicas não serão tratadas, pois a utilização da linha é gerenciada pela equipe de operação, para que empresa atinja e cumpra seus acordos comerciais previamente firmados.

Figura 17 - Árvore de falha associada à restrição operacional



Fonte: Os autores

Em um desdobramento maior, de acordo com a árvore de falhas, mostraria que a linha é pouco priorizada devida sua baixa confiabilidade e pelas suas restrições produtivas. Assim, caso o desempenho da linha seja maior, a taxa de utilização também será maior.

3.5.2 Fase II – Plano de ação

Identificados as causas raízes através da ferramenta FTA, associada à baixa produtividade do conjunto estudado, a engenharia juntamente com a manutenção elaborou um plano de ação visando o aumento da taxa efetiva de produção da linha.

O plano de ações faz parte de uma das etapas da fase de planejamento do ciclo PDCA, sendo o plano responsável por nortear e organizar as ações estabelecendo critérios, tais como: o que fazer, como fazer, responsável, onde realizar e quando.

Figura 18 - Árvore de falha associada à restrição operacional

| CAUSA | O QUE | COMO | QUEM | ONDE | QUANDO | | | | |
|-------|---|--|--|---------------------------|---|-----|-----|-----|-----|
| | | | | | Mês | Jan | Fev | Mar | Abr |
| 1 | Ajuste incorreto ou não otimizado dos programas PLC e relés de proteção | Verificar parâmetros dos programas PLC's e relés, caso necessário ajustar | RestrNet - Lader do PLC | Engenharia | Todos acionamentos dos TR's da linha A | P | | | 15 |
| | | | | | | R | | | 10 |
| 2 | Nível de óleo incorreto do acoplamento | Corrigir nível de óleo | Retirar excesso ou realizar enchimento do fluido no acoplamento de acordo com apontamentos medidos | Equipe de Manutenção | Todos acionamentos dos TR's da linha A | P | | 05 | |
| | | | | | | R | | 12 | |
| 3 | Nível de óleo incorreto do acoplamento | Medir escorregamento e acompanhar corrente, na partida e em regime dos acoplamentos. | Medição do escorregamento - lâmpada estroboscópia Medição da corrente - PIMS | Equipe de Manutenção | Todos acionamentos dos TR's da linha A | P | | | 15 |
| | | | | | | R | | | 08 |
| 4 | Subdimensionamento do conjunto de acionamento dos TR's | Solicitar empresa HEC_HANDLING, avaliação do dimensionado dos acionamentos | Abrir SEE - Solicitação de engenharia externa | Engenharia | Todos acionamentos dos TR's da linha A | P | 15 | | |
| | | | | | | R | 02 | | |
| 5 | Paradas indiretas da linha em curto período de tempo | Tratar as falhas que geram paradas da linha | Ferramenta de tratamento de falhas - FTA | Engenharia | Todos acionamentos dos TR's da linha A | P | | | 30 |
| | | | | | | R | | | 25 |
| 6 | Projeto incorreto dos chutes de transferência | Melhoria e modificação do projeto | Abrir SEE para modificação dos projetos | Engenharia | Todos os chutes de transferência da linha A | Mês | Abr | Mai | Jun |
| | | | | | | P | | 30 | |
| 7 | Projeto incorreto dos chutes de transferência | Implatar melhorias nos chutes de acordo com novos projetos | Através de Contrato de reforma de estrutura da GAITG | Engenharia de Implantação | Todos os chutes de transferência da linha A | Mês | Abr | Mai | Jun |
| | | | | | | P | | 30 | |
| 8 | Operação Incorreta | Repassar à equipe de operação tabela de equivalência de taxa operacional admitida para cada tipo de material carregado no Porto. | Tabela com equivalência operacional por tipo de material | Engenharia | Operação do pier 01 | Mês | Abr | Mai | Jun |
| | | | | | | P | 30 | | |
| | | | | | | R | 10 | | |

Fonte: Os autores

3.5.3 Fase III – Execução das Ações

3.5.3.1 Descrição do Problema – Parâmetros dos relés e PLC.

Com os parâmetros dos relés de proteção e dos programas PLC não otimizados, os motores podem apresentar constantes desarmes caso haja pequenas sobrecargas tanto na partida ou em regime, sobrecargas essas comum ao processo.

Esses parâmetros tem a função de garantir uma vida útil dos motores, porém quando mal ajustados pode limitar a produtividade da linha.

3.5.3.1.1 Ações Executadas

De acordo com o proposto no plano de ação foram ajustados os seguintes parâmetros do programa PLC e relés de proteção:

- ✓ Monitoring Start (Partida Monitorada) do relé 825: ajustado de 12 para 18 segundos para motor M1 e 12 para 16 segundos para motor M2;
- ✓ Tempo de partida de cada motor dos TR's com intervalo de 2 segundos, assim M1 inicia a operação e 02 segundos depois M2 entrará em funcionamento.

3.5.3.1.2 Ganhos esperados

- ✓ Garantir a operação da linha para taxas maiores;
- ✓ Garantir a partida dos transportadores com carga;
- ✓ Diminuir paradas por sobrecarga dos motores.

3.5.3.2 Descrição do Problema – Nível de óleo dos acoplamentos

O nível incorreto de óleo no motor pode gerar perda de potência do acionamento devido ao escorregamento excessivo, caso o nível de óleo esteja muito abaixo. Também o acoplamento hidráulico pode perder sua função de amenizar a carga no motor durante a partida, comumente falado “partida rígida”, caso o nível de óleo esteja acima do normal.

3.5.3.2.1 Ações Executadas

De acordo com o proposto no plano de ação foi medido o escorregamento dos acoplamentos e acompanhado nível de corrente dos motores durante sucessivos testes de carga da linha.

Com base na árvore de falhas, elaborada para restrições do acionamento e em teste de carga realizado na linha com acompanhamento da engenharia e manutenção, foi ajustado o nível de óleo do acoplamento do TR-A4A, na qual apresentava nível de escorregamento muito elevado gerando perda de potência transmitida e consequentemente sobrecarga no motor. Assim as ações executadas foram:

- ✓ Realizado enchimento com 05 litros de óleo no acoplamento TVVS – 1.000 - Voith do transportador TR-A4A;

- ✓ Medido todos os escorregamentos dos acoplamentos e acompanhamento de corrente dos motores de acordo com nível de carga em teste da linha.

3.5.3.2.2 Ganhos esperados

- ✓ Garantir a operação da linha para taxas maiores;
- ✓ Garantir a partida dos transportadores;
- ✓ Diminuir paradas por sobrecarga dos motores.

3.5.3.3 Descrição do Problema – Projeto Inadequado

Projetos inadequados nos chutes da linha, contendo, regiões de restrições e de acúmulo de material, e posicionamento incorreto das sondas de atuação, podem limitar a taxa de operação da linha.

3.5.3.3.1 Ações Executadas

De acordo com o plano de ação, foram realizadas parcialmente as ações relacionadas à melhoria no projeto dos chutes, e para a implantação dessas modificações nenhuma ação ainda não foi realizada.

Apenas no chute do TR-A3F para TR-A4A foi realizado levantamento de campo para identificar não conformidades que limitam a taxa efetiva da linha e proposto, através de modificação no projeto básico do chute, algumas melhorias.

O relatório que foi base para modificação e elaboração do projeto, com melhorias no chute, contempla vários pontos problemáticos do equipamento, porém serão destacados aqui apenas os problemas de nosso interesse que afetam a taxa efetiva da linha.

Portanto, com o objetivo de aumentar a taxa efetiva da Linha A, evitando limitações ocasionadas pela atuação incorreta das sondas e entupimento dos chutes que diminuem sua produtividade, em específico o chute de transferência entre os TR-A3F e TR-A4A, a engenharia de transportadores realizou constatações a seguir.

Foi verificado o estreitamento entre os chutes intermediário e o inferior. Esse estreitamento foi realizado com o objetivo de amenizar o impacto e diminuir o desalinhamento da correia TR-A4A. Este procedimento, além de não resolver o problema, gerou uma restrição da passagem do material, como pode ser visto na Figura 19. Este problema em particular, leva a linha a operar com taxas bem menores diante de materiais com maior umidade ou de menor densidade, pois estarão nessa região mais propícios a gerar o entupimento no chute.

Figura 19 - Estreitamento da região intermediária do chute da TR-A3F para TR-A04A



Fonte: VALE, (2011)

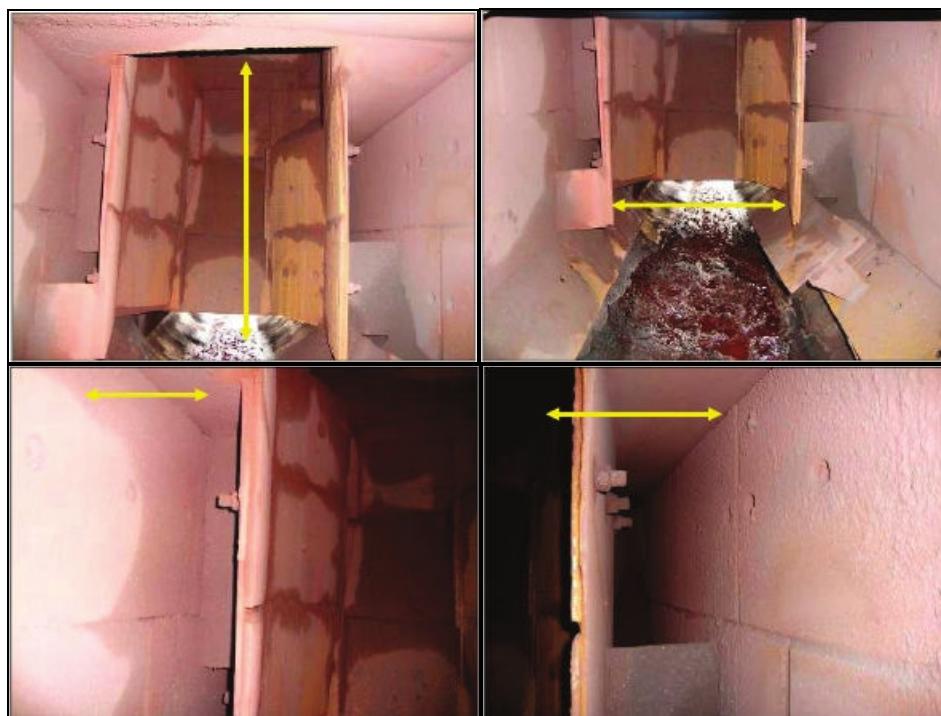
Esse é um dos mais evidentes pontos da limitação produtiva da linha, que leva a esta operar por um período maior e com taxas menores.

Outro ponto problemático é a falta de rampa traseira na região inferior do chute e o espaçamento incorreto das guias internas. A rampa traseira tem a função de direcionar o material no mesmo sentido e de forma suave na correia receptora, e as guias internas proporcionam uma queda centralizada do material.

Caso o chute não tenha rampa traseira, o material não assume o fluxo adequado e passa a acumular na região inferior da transição entre a correia e guias internas, gerando entupimento e atuando como freio da correia.

Já as guias internas, quando não possuem espaçamentos e alturas adequadas, geram restrição na passagem de material causando também entupimentos.

Figura 20 - Estreitamento das guias internas no chute da TR-A3F para TR-A04A



Fonte: VALE, (2011)

Figura 21 - Falta de rampa traseira do chute de transferência TR-A3F a TR-A04A



Fonte: VALE, (2011)

As sondas de emergência são dispositivos com a função de conter o entupimento dos chutes de transferência, através da ação da pressão do material sobre um diafragma que responde eletricamente ao sistema de emergência paralisando a descarga. O posicionamento correto de uma sonda de emergência em um chute deve prever as regiões que possa gerar acumulo ou trajetória irregular do material.

Figura 22 - Sondas de atuação do chute de transferência TR-A3F a TR-A04A



Fonte: VALE, (2011)

A forma com que as sondas estão instaladas atualmente nesse chute não atende esses fatores, atuando constantemente com aumento do fluxo de material devido ao seu posicionamento incorreto de projeto.

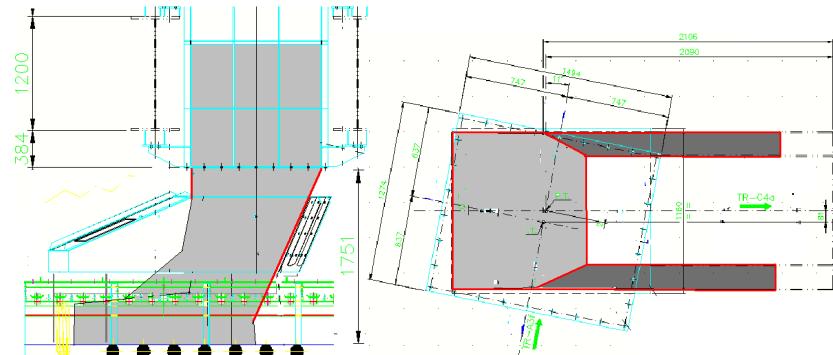
Levantados esses problemas, a engenharia propôs melhorias através de elaboração de projeto básico com as modificações necessárias que evitem a baixa produtividade da linha.

Entre as recomendações estão, as modificações que eliminam as regiões de restrição na parte intermediária do chute, a adaptação de rampa traseira com ângulo de 30°, ajuste no espaçamento e dimensões das guias internas e o reposicionamento das sondas de atuação do entupimento.

Em resumo devem ser realizadas as seguintes alterações no chute:

- Adaptar uma rampa com ângulo de 30° na traseira do chute;

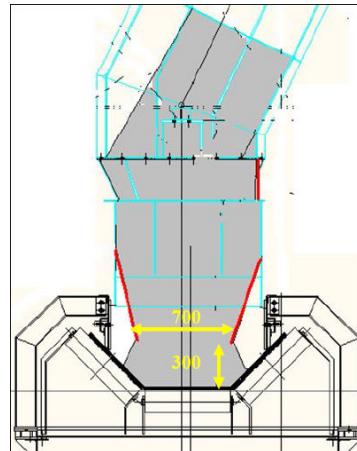
Figura 23 - Rampa com 30° que devem ser montada na traseira do chute inferior



Fonte: VALE, (2011)

- Adaptar guias internas na saída do chute inferior;

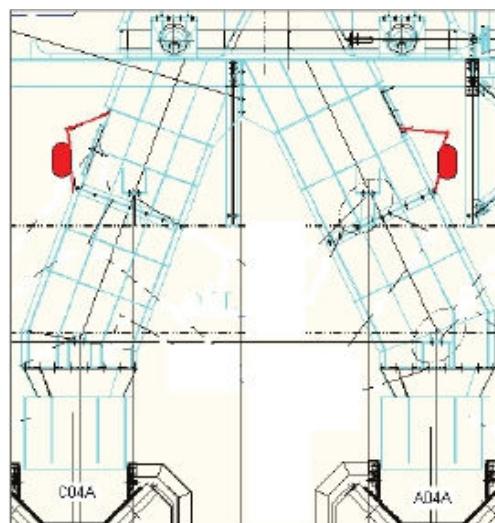
Figura 24 - Guias internas que devem ser montadas na região inferior do chute



Fonte: VALE, (2011)

- Mudar a posição das chaves de sonda para local onde possam atuar somente em caso de entupimento.

Figura 25 - Posição correta da chave da sonda de atuação



Fonte: VALE, (2011)

Com estas medidas evitamos os desgastes nos revestimentos e direcionamos o material na correia sem causar seu desgaste, acúmulo de material, desalinhamentos e vazamentos pelas bordas e sob as guias de material.

3.5.3.3.2 Ganhos esperados

- ✓ Possibilidade de taxas maiores de operação da linha.

- ✓ Diminuir paradas da linha por entupimento nos chutes ou atuação indevida das sondas.

3.5.3.4 Descrição do Problema – Operação Incorreta.

A linha foi projetada para trabalhar com uma faixa específica de materiais e suas respectivas densidades, de acordo com histórico de materiais embarcados anterior a implantação do projeto de repotenciamento do píer. Porém, posteriormente a instalação do projeto da Linha A, o píer vem recebendo uma gama maior de materiais com densidades fora das faixas estabelecidas em projeto.

Os materiais com densidade inferior a mínima densidade de projeto, de 2,15 ton/m³, para a mesma taxa efetiva transportada pela linha, representam maior volume durante a transferência no chute o que podem aumentar a ação de entupimento.

3.5.3.4.1 Ações Executadas

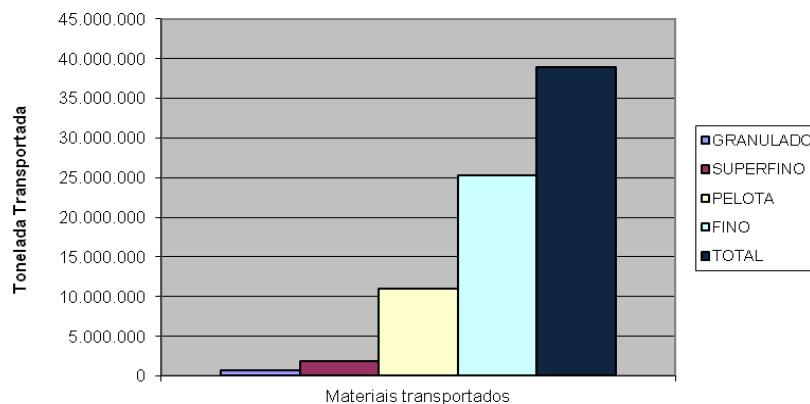
Como medida para sanar a causa básica apontada, de acordo com a árvore de falha de baixa produtividade, gerado pelas restrições no chute e pelo modo incorreto de operação causando entupimento, foi repassada para equipe de operação do Píer I uma tabela com a taxa efetiva equivalente dos diferentes materiais que possam vir a ser transportados na Linha A.

Tabela 4 - Grau de enchimento dos materiais embarcados no Píer I

| Produto | Tipo de Material | DENSIDADES | | | Relação de enchimento com minério a 2,15 |
|---------|------------------|------------|----------|-------|--|
| | | Simples | Compacta | Média | |
| AF08 | PELOTA | 2,12 | 2,3 | 2,21 | 1,01 |
| AF50 | PELOTA | 1,89 | 2,06 | 1,98 | 1,14 |
| AS08 | PELOTA | 1,97 | 2,13 | 2,05 | 1,09 |
| LOBT | GRANULADO | 2,27 | 2,56 | 2,41 | 0,95 |
| LONT | GRANULADO | 2,59 | 3,04 | 2,82 | 0,83 |
| PFFT | SUPER FINO | 1,81 | 2,53 | 2,17 | 1,19 |
| PFIT | SUPER FINO | 1,81 | 2,47 | 2,14 | 1,19 |
| PFPT | SUPER FINO | 1,88 | 2,49 | 2,18 | 1,14 |
| RH20 | PELOTA | 1,96 | 2,11 | 2,04 | 1,10 |
| RM20 | PELOTA | 2,04 | 2,19 | 2,12 | 1,05 |
| SFHT | FINO | 2,14 | 2,73 | 2,43 | 1,00 |
| SFOT | FINO | 2,12 | 2,68 | 2,4 | 1,01 |
| SFST | FINO | 2,00 | 2,9 | 2,45 | 1,08 |
| SFXT | FINO | 2,16 | 2,84 | 2,5 | 1,00 |
| SSFT | FINO | 2,22 | 2,9 | 2,56 | 0,97 |

Fonte: VALE, (2011)

Figura 26 - Tonelada embarcada por materiais no Píer I de janeiro a junho 2011.



Fonte: VALE, (2011)

Assim, a Figura 26, mostra o grau de enchimento de cada tipo de material transportado pela linha até junho de 2011 e a tonelada acumulada embarcada no ano até o período.

O termo grau de enchimento é usado para demonstrar a relação entre o volume de cada tipo de material embarcado em relação a menor faixa de densidade admitida em projeto. Assim, podemos visualizar de acordo com a Tabela 4, que o produto *PFIT - Super Fino*, no pior caso de densidade, pode preencher um chute aproximadamente 20% a mais que um material com 2,15 ton/m³ de densidade e trabalhando a mesma taxa efetiva.

3.5.3.4.2 Ganhos esperados

- ✓ Possibilidade de taxas maiores com materiais de menor densidade
- ✓ Diminuir paradas da linha por entupimento nos chutes ou atuação indevida das sondas.

3.5.3.5 Descrição do Problema – Subdimensionamento do Acionamento

Devidos aos sucessivos apontamentos de falha mecânica e elétrica no açãoamento dos transportadores da linha, e de acordo com a causa básica identificada da árvore de falhas elaborada para possíveis restrições do açãoamento para a baixa

produtividade, foi elaborado um estudo através de engenharia especializada para verificar o dimensionamento do conjunto de acionamento dos transportadores.

O estudo tinha como o principal objetivo verificar se a potência fornecida pelo conjunto de acionamento instalado era maior que potência exigida por cada transportador, de acordo com suas características e condições de trabalho.

3.5.3.5.1 Ações Executadas

Foi verificado o dimensionamento de todos os acionamentos dos transportadores da Linha A, sendo que os cálculos apresentados foram realizados conforme norma CEMA e executados por meio do programa *BeltStat*, no qual foram avaliados o dimensionamento dos componentes mecânicos instalados considerando a situação operacional do transportador para a capacidade de projeto de 16.000 t/h.

Foi realizado o levantamento dos dados considerando as capacidades de 1000, 3000, 5000 e 7000 t/h, com uma margem de 50 t/h. Com cada capacidade foi levantado o valor médio e máximo da corrente e calculado a potência dos motores. Logo em seguida, foi feito o levantamento das potências requeridas para cada capacidade no programa *Beltstat*, considerando atrito de 0,018 e 0,025, conforme normas internacionais vigentes para dimensionamento de transportadores.

Como a capacidade máxima considerada nos dados levantados pela VALE S.A foi de 7000 t/h, foi feito uma estimativa de tendência da curva para a capacidade de 16000 t/h e ao final foram apresentados os resultados para o dimensionamento.

Tabela 5 - Resultado do dimensionamento do TR's da Linha A

| TAG | Potencia Requerida | | Potencia Instalada FS = 1,15 | % Tensoes atuantes na correia | | Componentes Mecanicos | | | | | Sistema de Esticamento | |
|--------|--------------------|--------------|------------------------------|-------------------------------|---------|-----------------------|------------|------------|-------------|------------|------------------------|------------------------------|
| | Conforme instalado | Conforme SPE | | Operação | Partida | Motor | Redutor | Acop. Alta | Acop. Baixa | Correia | Calculado | Instalado (conforme desenho) |
| | TR-A3c | 793 CV | *** | 805 CV | 75 | 92 | OK | OK | OK | OK | 23,1 tf | 26,0 tf |
| TR-A3d | 1397 CV | *** | 1380 CV | 57 | 74 | OK | OK | OK | Verificar | OK | 13,4 tf | 16,7 tf |
| TR-A3e | 274 CV | *** | 345 CV | 25 | 28 | OK | OK | OK | OK | OK | 8,2 tf | 15,0 tf |
| TR-A3f | 1287 CV | *** | 1380 CV | 69 | 84 | OK | OK | OK | Verificar | OK | 24,6 tf | 37,5 tf |
| TR-A4a | 2171 CV | *** | 2300 CV | 120 | 158 | OK | Substituir | OK | OK | Substituir | 22,2 tf | 21,2 tf |

Fonte: VALE, (2011)

Ao final, houve a constatação de que o acionamento do TR-A3D não possui capacidade para operação com taxas próximas a 16.000 t/h. Assim, o acionamento atual de 1.380 CV deve ser repontenciado com uma potência de superior a 1.412 CV.

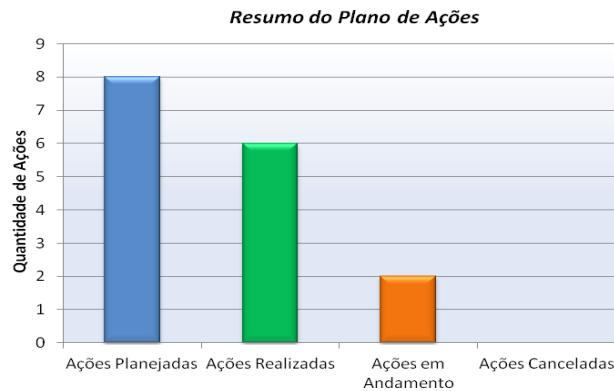
3.5.3.5.2 Ganhos esperados

- ✓ Verificado a real capacidade de taxa efetiva dos transportadores em relação à potência atual instalada;

3.5.4 Fase IV – Análise dos Resultados

As ações executadas não foram suficientes para um aumento de 30% no indicador de Produtividade, conforme esperado, havendo apenas um ganho de 7% nos meses seguintes analisados. O não desenvolvimento de ações críticas, relativas à implantação das modificações nos projetos dos chutes, impedem uma maior produtividade do conjunto de transportadores.

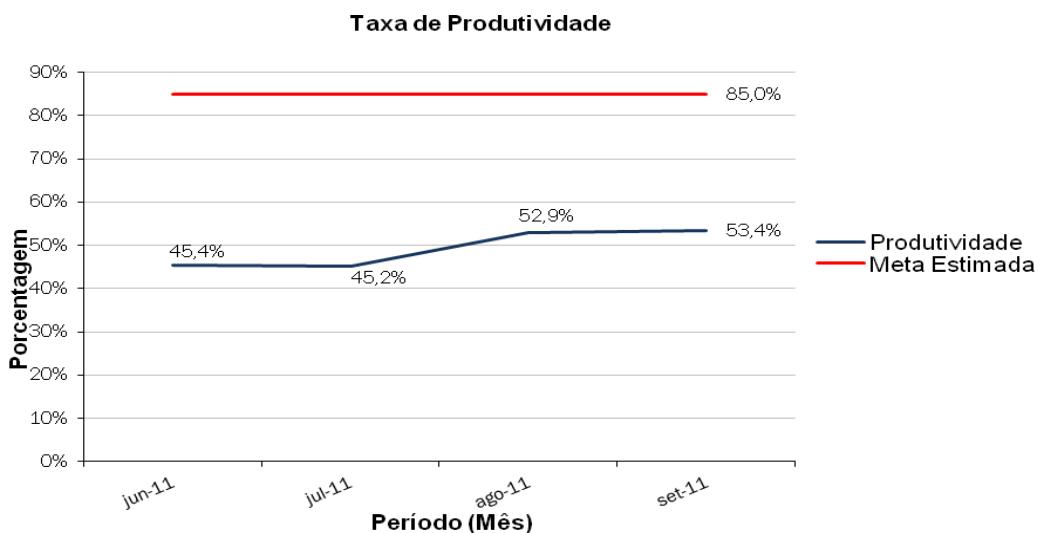
Figura 27 - Resumo das ações propostas



Fontes: Os autores

Diante das ações não executadas, as taxas de produtividade não tiveram uma evolução satisfatória.

Figura 28 - Produtividade da Linha A no período Junh/11 a Set/11



Fonte: VALE, (2011)

3.6 ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE

Com o objetivo de reduzir o tempo de manutenção corretiva e aumentar a confiabilidade dos equipamentos da Linha A, foi realizada uma análise da Disponibilidade dos transportadores que compõem a linha. Esta análise teve seu início no primeiro passo do PDCA, o “P – Planejar”, onde foi identificado o problema, ou seja, o alto tempo de corretiva dos transportadores, e estratificadas as perdas. Além disso, foram selecionadas as falhas que mais impactaram no indicador, que

representam 70% do total das perdas, para a construção da árvore de falhas e posteriormente a criação do plano de ação.

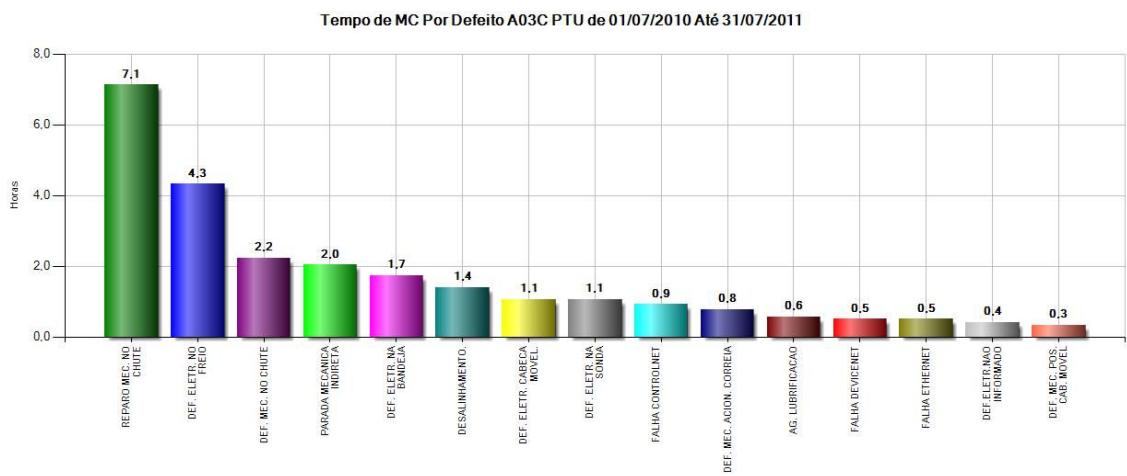
Foram analisadas 70% das falhas, pois além desse valor contemplar as maiores perdas que impactaram nas horas de manutenção corretiva, esse é o parâmetro utilizado pela equipe de Engenharia de Confiabilidade da VALE que é responsável pelo tratamento de perdas dos equipamentos do Porto de Tubarão.

A análise da disponibilidade, no estudo de caso, se deu através do tratamento das perdas que mais impactaram no indicador de disponibilidade e na redução das horas corretivas nos transportadores. Desta forma, com a redução da manutenção corretiva, obtém-se um aumento da Disponibilidade Física da linha visto que a manutenção preventiva é um valor programado.

3.6.1 Análise do Transportador A03C

Através da utilização do SGR, foi gerado, conforme a Figura 29, o gráfico do tempo de corretiva por defeito do transportador A03C entre os dias 01/07/10 a 31/07/11.

Figura 29 - Gráfico do tempo de Manutenções Corretivas da A03C no período de Jul/2010 a Jul/2011



Fonte: SGR – VALE, (2011)

A partir do gráfico, com a relação das horas de manutenções corretivas da A03C foi criada uma tabela, conforme a Figura 29, com o tempo de manutenção corretiva, a porcentagem de cada evento e a porcentagem acumulada.

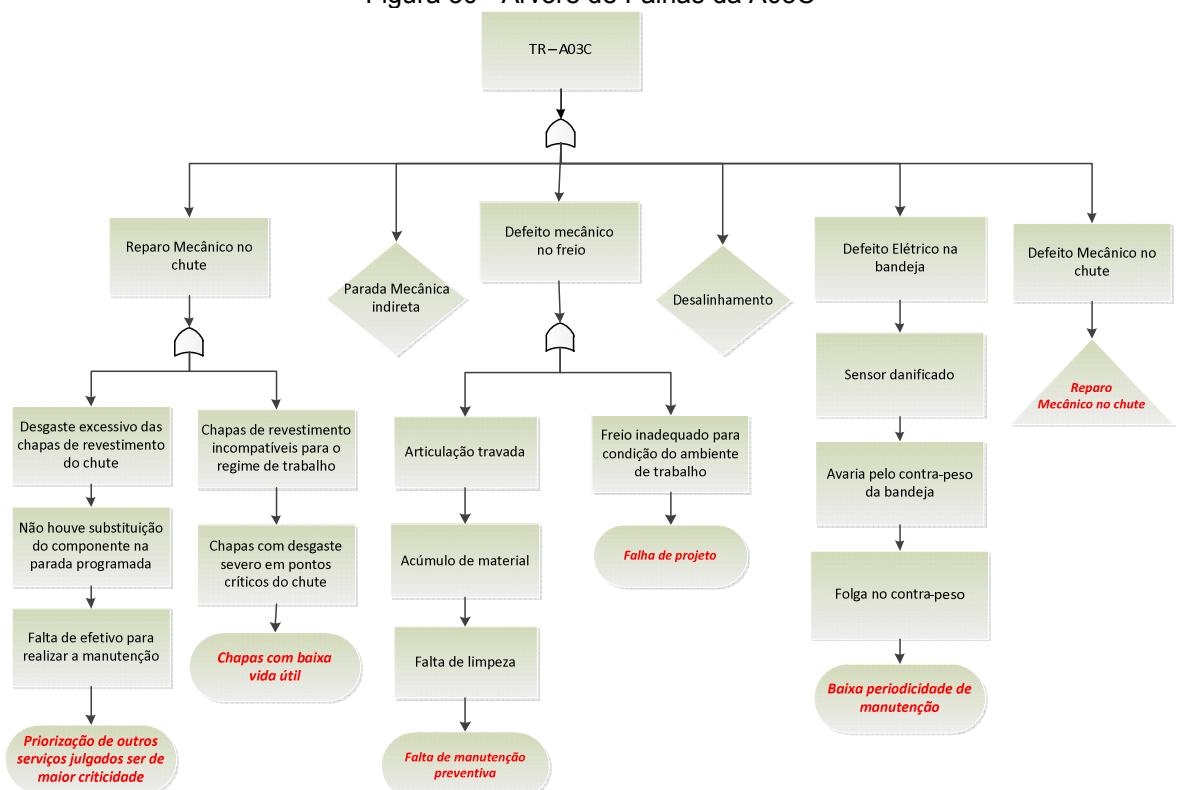
Tabela 6 - do tempo de Manutenções Corretivas da A03C no período de Jul/2010 a Jul/2011

| Tópicos da estratificação | N.º de Ocorrências | % Acumulado | % Unitário |
|---------------------------|--------------------|-------------|-------------|
| REPARO MEC. NO CHUTE | 7,1 | 29% | 29% |
| DEF. ELETR. NO FREIO | 4,3 | 46% | 17% |
| DEF. MEC. NO CHUTE | 2,2 | 55% | 9% |
| PARADA MECANICA INDIRETA | 2,0 | 63% | 8% |
| DEF. ELETR. NA BANDEJA | 1,7 | 69% | 7% |
| DESALINHAMENTO | 1,4 | 75% | 6% |
| DEF. ELETR. CABECA MOVEL | 1,1 | 80% | 4% |
| DEF. ELETR. NA SONDA | 1,1 | 84% | 4% |
| FALHA CONTROLNET | 0,9 | 88% | 4% |
| DEF. MEC. ACION. CORREIA | 0,8 | 91% | 3% |
| AG. LUBRIFICACAO | 0,6 | 93% | 2% |
| DEF. ELETR. NÃO INFORMADO | 0,4 | 95% | 2% |
| FALHA DEVICENET | 0,5 | 97% | 2% |
| FALHA ETHERNET | 0,5 | 99% | 2% |
| DEF. MEC. POS. CAB. MOVEL | 0,3 | 100% | 1% |
| Total | 24,9 | | 100% |

Fonte: SGOP – VALE, (2011)

Com a tabela do tempo de manutenção corretiva da A03C foram listadas as falhas que mais impactaram na Disponibilidade Física do equipamento e a partir dessas perdas foi criada uma árvore de falhas, junto com a engenharia e as equipes de manutenção, para análise das causas básicas das falhas.

Figura 30 - Árvore de Falhas da A03C



Fonte: Os autores

Conforme a árvore de falhas e a tabela de manutenções corretivas da A03C foram verificadas que as maiores perdas são relacionadas ao chute, acionamento do transportador e à bandeja. Em relação ao chute de transferências, as chapas de desgaste, que deveriam ser trocadas de três em três meses, não foram substituídas devido ao baixo tempo de parada do equipamento durante a manutenção preventiva, à falta de efetivo e à priorização de serviços mais críticos.

A falha de defeito elétrico no freio, de acordo com a descrição da ocorrência do sistema informatizado (SGOP) e investigação, foi na verdade um defeito mecânico no freio, onde ocorreu o travamento de sua articulação devido ao acúmulo de material e pelo freio ser inadequado para a condição do ambiente de trabalho.

O defeito mecânico no chute foi a mesma falha que reparo mecânico no chute, por isso foi simbolizado pelo triângulo, por ser uma falha repetida conforme o quadro de simbologia do FTA. A parada mecânica indireta é um apontamento errado do SGOP, pois pode ser qualquer tipo de falha.

O defeito elétrico na bandeja ocorreu devido ao dano ocorrido no seu sensor que foi danificado pelo contra-peso e a falha de desalinhamento foi um caso isolado, pois foram vários apontamentos pequenos onde o transportador parou e depois entrou em operação alinhado.

A partir destas análises e da árvore de falhas, foi criado o seguinte plano de ação:

Figura 31 - Plano de Ação da A03C

| ID | CAUSA | O QUE | COMO | QUEM | ONDE | QUANDO | | | | |
|----|---|--|--|----------------------|---|--------|-----|-----|-----|-----|
| | | | | | | Mês | Jul | Ago | Set | Out |
| 1 | Desgaste acentuado das chapas existentes. | Substituir todas as chapas de revestimento em pontos críticos por chapas de tungstênio nos chutes de A03C para A03D. | Conforme parada programada. | Equipe de manutenção | A03C | P | | 15 | | |
| | | | | | | R | | S | | |
| 2 | Para identificar os pontos críticos e garantir um fluxo melhor de troca de chapas | Garantir o mapeamento de troca das chapas desgastadas e abrir OS para troca das mesmas | Mapeando os pontos críticos do chute de transferência | Equipe de manutenção | A03C | Mês | Jul | Ago | Set | Out |
| | | | | | | P | | | 30 | |
| | | | | | | R | | | S | |
| 3 | Falta de manutenção preventiva no freio | Criar MP para realizar a limpeza da articulação | Inserindo plano de manutenção no sistema informatizado Máximo | Engenharia | Todos acionamentos dos TR's da linha A | Mês | Jul | Ago | Set | Out |
| | | | | | | P | | 30 | | |
| | | | | | | R | | | | |
| 4 | Falha de projeto do freio | Caso seja executada a MP e a falha seja reincidente, abrir Servtec para Engenharia. | Abrindo Servtec para Engenharia | Equipe de Manutenção | Todos acionamentos dos TR's da linha A | Mês | Jul | Ago | Set | Out |
| | | | | | | P | | | | |
| | | | | | | R | | | | |
| 5 | Baixa periodicidade de manutenção da bandeja | Aumentar a periodicidade de manutenção da bandeja | Modificando o plano de manutenção no sistema informatizado de Manutenção | PCM | PCM | Mês | Jul | Ago | Set | Out |
| | | | | | | P | | | | 30 |
| | | | | | | R | | | | |

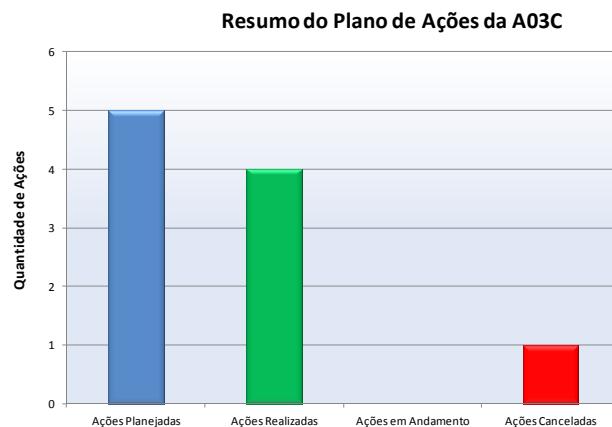
Fonte: Os autores

Ganhos obtidos a partir da execução das ações do plano:

- ✓ Chapas de melhor performance instaladas reduziram as possibilidades de furo e vazamento de material nos chutes de transferência, além de reduzir a troca periódica das mesmas nas manutenções preventivas;
- ✓ Limpeza da articulação do freio é realizada periodicamente reduzindo as chances de falhas por travamento da mesma;
- ✓ O aumento da periodicidade de manutenção na bandeja aumentou a confiabilidade do equipamento reduzindo a possibilidade de falha.

Entre as cinco ações planejadas, somente uma foi cancelada, pois com criação da manutenção preventiva de limpeza da articulação do freio, esta falha não voltou a ocorrer sendo desnecessária a especificação de outro freio de acordo com o estudo da Engenharia.

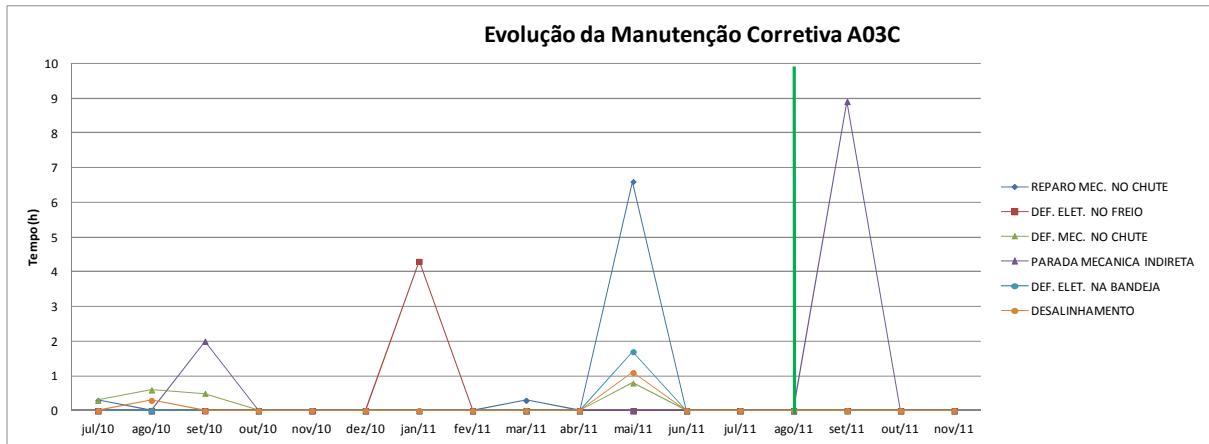
Figura 32 - Resumo do Plano de Ação da A03C



Fonte: Os autores

Conforme a Figura 32, nota-se que as ações realizadas tiveram resultados satisfatórios, devido ao fato das falhas não voltarem a ocorrer, exceto a parada mecânica indireta que foi um apontamento errado do SGOP, pois pode ser qualquer tipo de falha.

Figura 33 - Evolução da Manutenção Corretiva da A03C

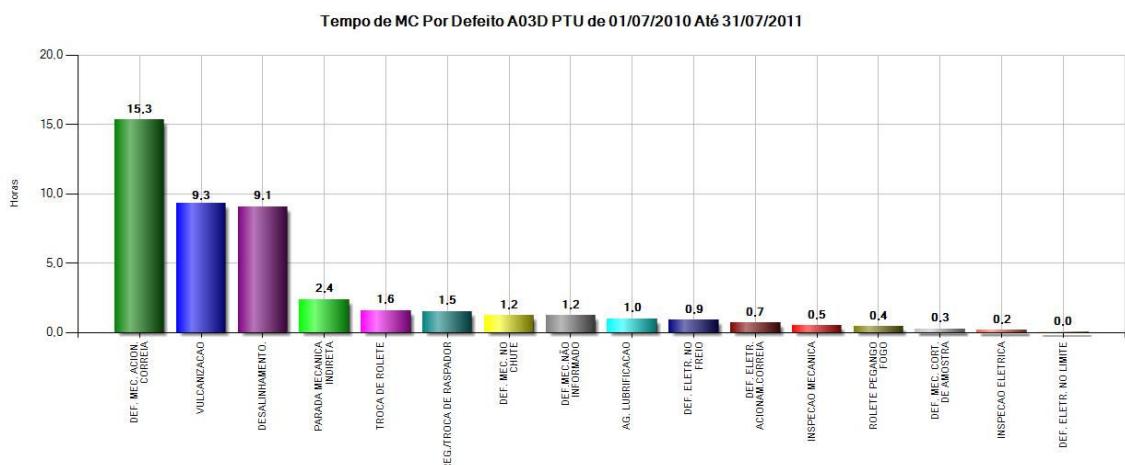


Fonte: SGR – VALE, (2011)

3.6.2 Análise do Transportador A03D

Através da utilização do SGR, foi gerado, conforme a Figura 34, o gráfico do tempo de corretiva por defeito do transportador A03D entre os dias 01/07/2010 a 31/07/2011.

Figura 34 - Gráfico do tempo de Manutenções Corretivas da A03D no período de Jul/2010 a Jul/2011.



Fonte: SGR – VALE, (2011)

A partir do gráfico do tempo de manutenções corretivas da A03D foi criada uma tabela, conforme a Tabela 7, com o tempo de manutenção corretiva, a porcentagem de cada evento e a porcentagem acumulada.

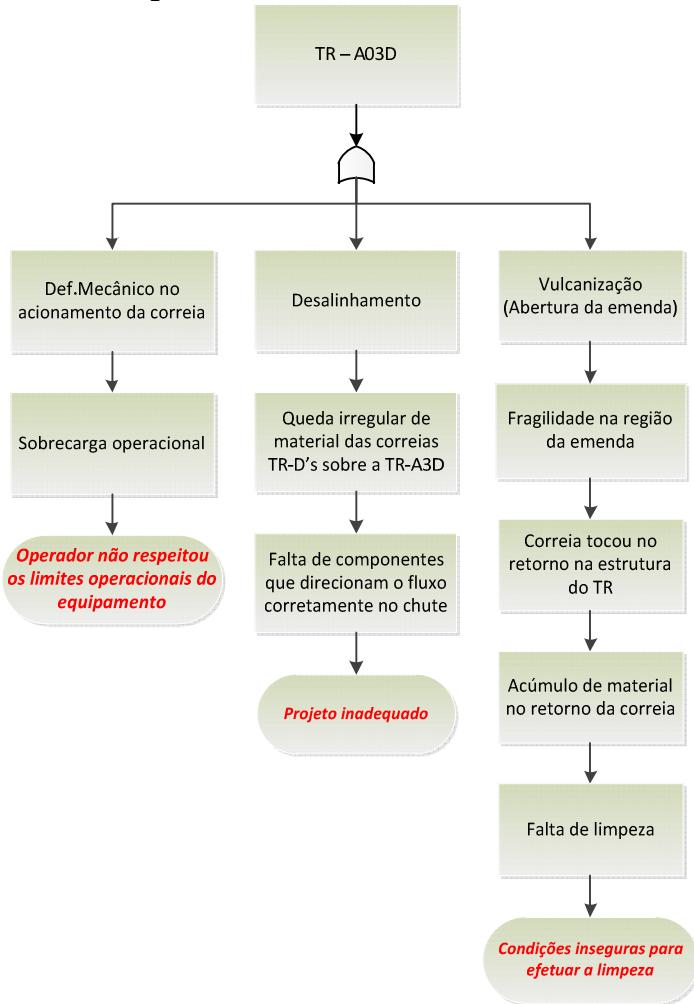
Tabela 7 - Tabela do tempo de Manutenções Corretivas da A03D no período de Jul/2010 a Jul/2011

| <i>Tópicos da estratificação</i> | <i>Tempo de Ocorrências</i> | <i>% Acumulado</i> | <i>% Unitário</i> |
|----------------------------------|-----------------------------|--------------------|-------------------|
| DEF. MEC. ACION. CORREIA | 15,3 | 34% | 34% |
| VULCANIZACAO | 9,3 | 54% | 20% |
| DESALINHAMENTO | 9,1 | 74% | 20% |
| PARADA MECANICA INDIRETA | 2,4 | 79% | 5% |
| TROCA DE ROLETE | 1,6 | 83% | 4% |
| REG./TROCA DE RASPADOR | 1,5 | 86% | 3% |
| DEF. MEC. NO CHUTE | 1,2 | 89% | 3% |
| DEF. MEC. NÃO INFORMADO | 1,2 | 91% | 3% |
| AG. LUBRIFICACAO | 1,0 | 93% | 2% |
| DEF. ELETR. NO FREIO | 0,9 | 95% | 2% |
| DEF. ELETR. ACION. CORREIA | 0,7 | 97% | 2% |
| INSPECACAO MECANICA | 0,5 | 98% | 1% |
| ROLETE PEGANDO FOGO | 0,4 | 99% | 1% |
| DEF. MEC. DE AMOSTRA | 0,3 | 100% | 1% |
| INSPECACAO ELETRICA | 0,2 | 100% | 0% |
| Total | 45,6 | | 100% |

Fonte: SGOP – VALE, (2011)

Com a tabela do tempo de manutenção corretiva da A03D foram listadas as falhas que mais impactaram na Disponibilidade Física do equipamento e a partir dessas perdas foi criada uma árvore de falhas, junto com a engenharia e as equipes de manutenção, para análise das causas básicas das falhas.

Figura 35 - Árvore de Falhas da A03D



Fonte: Os autores

Conforme a árvore de falhas e a tabela de manutenções corretivas da A03D foram verificadas que as maiores perdas são relacionadas ao defeito mecânico no acionamento da correia, vulcanização e desalinhamento. O defeito mecânico no acionamento da correia foi uma falha causada pela sobrecarga operacional, onde o operador não respeitou os limites do equipamento.

A causa da falha de vulcanização foi uma abertura de emenda que ocorreu devido ao contato da emenda com a estrutura metálica da região de retorno do transportador e o desalinhamento ocorreu devido à queda irregular de material do chute de quatro transportadores sobre a A03D.

A partir destas análises e da árvore de falhas, foi criado o seguinte plano de ação:

Figura 36 - Plano de Ação da A03D

| ID | CAUSA | O QUE | COMO | QUEM | ONDE | QUANDO | | | | | |
|----|--|--|---|----------------------|------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | | | | | Mês | Jul | Ago | Set | Out | Nov |
| 1 | Queda irregular de material. | Fazer modificação na rampa inferior nas guias internas dos chutes de D03, D06, D07 e D09 p/A03D. | Conforme parada programada. | Equipe de Manutenção | A03D | P | | 15 | | | |
| | | | | | | R | | S | | | |
| 2 | Operador não respeitou o limite do equipamento | Treinar operadores para a correta operação do equipamento | Realizando treinamentos com os turnos da operação | Operação | Operação | Mês | Jul | Ago | Set | Out | Nov |
| | | | | | | P | | 15 | | | |
| | | | | | | R | | S | | | |
| 3 | Condições inseguras para efetuar a limpeza | Projetar uma barreira de proteção móvel para efetuar a limpeza com segurança | Planejando e Executando | Engenharia | Engenharia | Mês | Jul | Ago | Set | Out | Nov |
| | | | | | | P | | | | | 30 |
| | | | | | | R | | | | | |

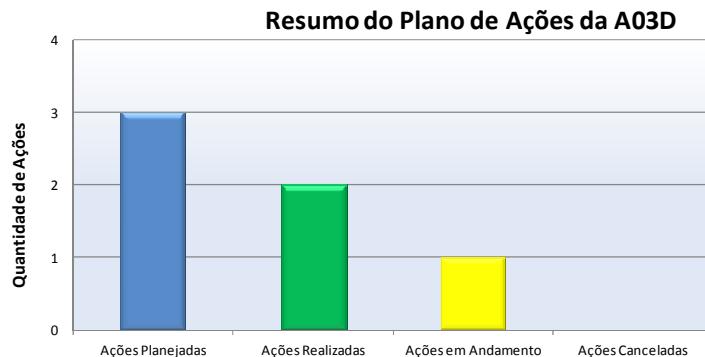
Fonte: Os autores

Ganhos obtidos a partir da execução das ações do plano:

- ✓ A modificação da rampa inferior dos chutes de transferência garantiu uma correta projeção de material sobre a correia, reduzindo a possibilidade de desalinhamento;
- ✓ Redução de sobrecargas operacionais.

De acordo com a Figura 37, das três ações planejadas duas foram realizadas e somente uma está em andamento, pois a barreira de proteção móvel está em fase de projeto.

Figura 37 - Resumo do Plano de Ação da A03D

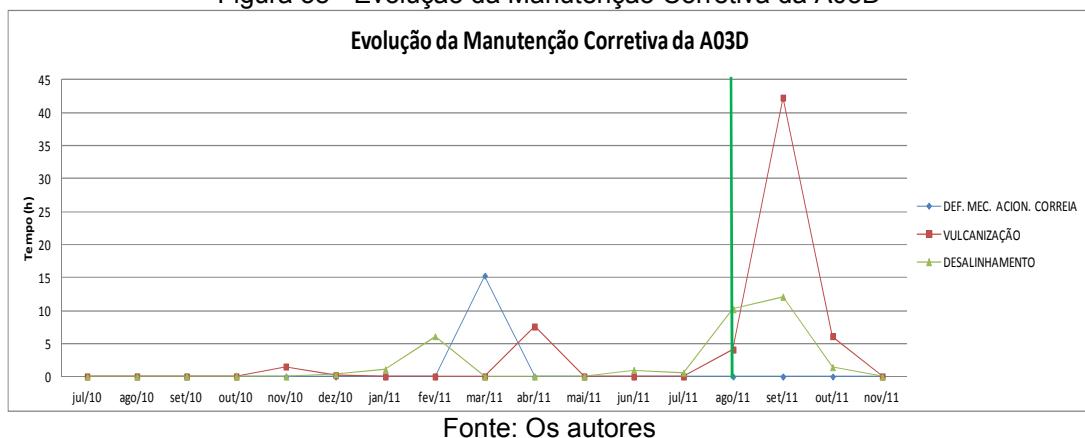


Fonte: Os autores

Conforme a Figura 38, nota-se que a ação relacionada ao treinamento dos operadores foi satisfatória, pois a falha de defeito mecânico na correia não foi reincidente. A falha de desalinhamento teve um valor considerável nos meses de agosto e setembro, porém a causa não foi a projeção irregular de material, corrigida com o plano de ação. O motivo dessa perda foi o tambor que estava desgastado e nos dias de chuva ele desalinhava a correia, porém ele foi trocado no final do mês de setembro sanando a falha. A perda relacionada à vulcanização foi alta nos meses

de setembro e outubro, pois a limpeza na região do transportador continua deficiente e este problema só será corrigido assim que for projetada uma estrutura móvel para que a limpeza possa ser feita com segurança.

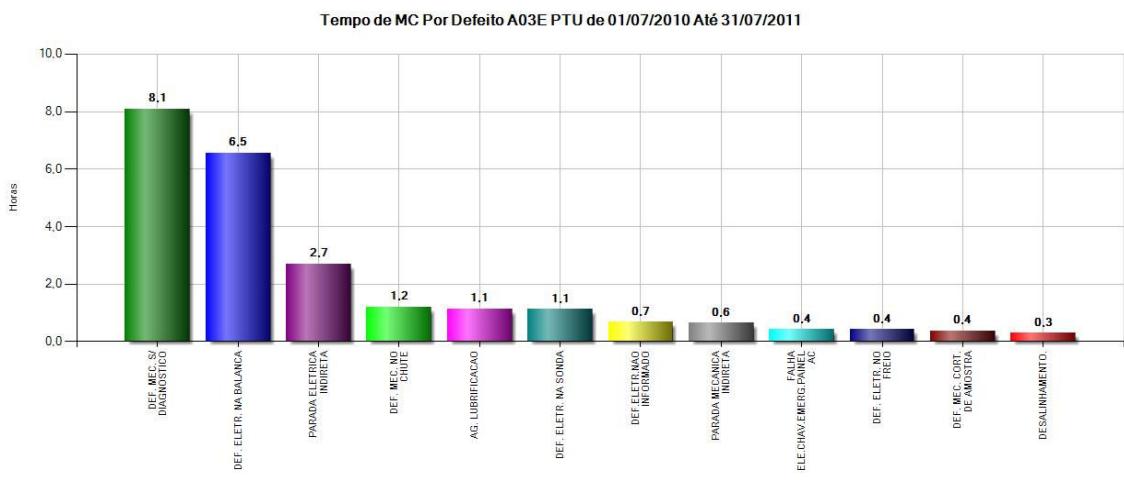
Figura 38 - Evolução da Manutenção Corretiva da A03D



3.6.3 Análise do Transportador A03E

Através da utilização do SGR, foi gerado, conforme a Figura 39, o gráfico do tempo de corretiva por defeito do transportador A03E entre os dias 01/07/10 a 31/07/11.

Figura 39 - Gráfico do tempo de Manutenções Corretivas da A03E Jul/2010 a Jul/2011



Fonte: SGR – VALE, (2011)

A partir do gráfico do tempo de manutenções corretivas da A03E foi criada uma tabela, conforme a Figura 40, com o tempo de manutenção corretiva, a porcentagem de cada evento e a porcentagem acumulada.

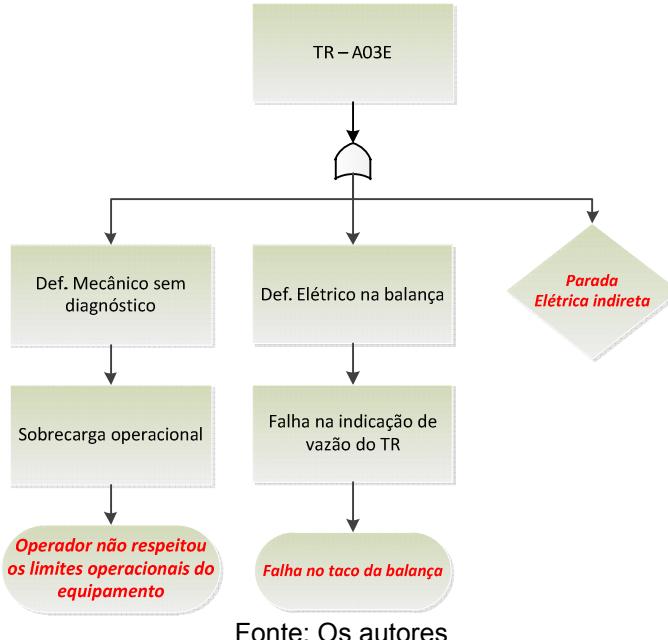
Tabela 8 - Tabela do tempo de Manutenções Corretivas da A03E Jul/2010 a Jul/2011

| Tópicos da estratificação | N.º de Ocorrências | % Acumulado | % Unitário |
|-----------------------------------|--------------------|-------------|-------------|
| DEF. MEC. S/ DIAGNOSTICO | 8,1 | 34% | 34% |
| DEF. ELETR. NA BALANCA | 6,5 | 62% | 28% |
| PARADA ELETR. INDIRETA | 2,7 | 74% | 11% |
| DEF. MEC. NO CHUTE | 1,2 | 79% | 5% |
| AG. LUBRIFICACAO | 1,1 | 83% | 5% |
| DEF. ELETR. NA SONDA | 1,1 | 88% | 5% |
| DEF. ELETR. NÃO INFORMADO | 0,7 | 91% | 3% |
| PARADA MECANICA INDIRETA | 0,6 | 94% | 3% |
| FALHA ELEV. CHAV. EMERG.PAINEL AC | 0,4 | 95% | 2% |
| DEF. ELETR. NO FREIO | 0,4 | 97% | 2% |
| DEF. MEC. CORT. DE AMOSTRA | 0,4 | 99% | 2% |
| DESALINHAMENTO | 0,3 | 100% | 1% |
| Total | 23,5 | | 100% |

Fonte: SGOP – VALE, (2011)

Com a tabela do tempo de manutenção corretiva da A03E foram listadas as falhas que mais impactaram na Disponibilidade Física do equipamento e a partir dessas perdas foi criada uma árvore de falhas, junto com a engenharia e as equipes de manutenção, para análise das causas básicas das falhas.

Figura 40 - Árvore de Falhas da A03E



Fonte: Os autores

Conforme a árvore de falhas e a tabela de manutenções corretivas da A03E foram verificadas que as maiores perdas são relacionadas ao defeito mecânico sem diagnóstico, defeito elétrico na balança e à parada elétrica indireta. Esse defeito mecânico sem diagnóstico foi uma sobrecarga operacional, onde o operador não respeitou os limites operacionais do equipamento.

O defeito elétrico na balança ocorreu devido à falha do tacho da balança. A parada elétrica indireta é um apontamento errado do SGOP, pois pode ser qualquer tipo de falha.

A partir destas análises e da árvore de falhas, foi criado o seguinte plano de ação:

Figura 41 - Plano de Ação da A03E

| ID | CAUSA | O QUE | COMO | QUEM | ONDE | QUANDO | | | |
|----|--|---|---|----------------------|----------|--------|-----|-----|-----|
| | | | | | | Mês | Jul | Ago | Set |
| 1 | Operador não respeitou o limite do equipamento | Treinar operadores para a correta operação do equipamento | Realizando treinamentos com os turnos da operação | Operação | Operação | P | | 15 | |
| | | | | | | R | | S | |
| 2 | Falha no tacho da balança | Trocá-lo | Conforme parada programada | Equipe de Manutenção | A03E | Mês | Jul | Ago | Set |
| | | | | | | P | | 15 | |
| | | | | | | R | | S | |

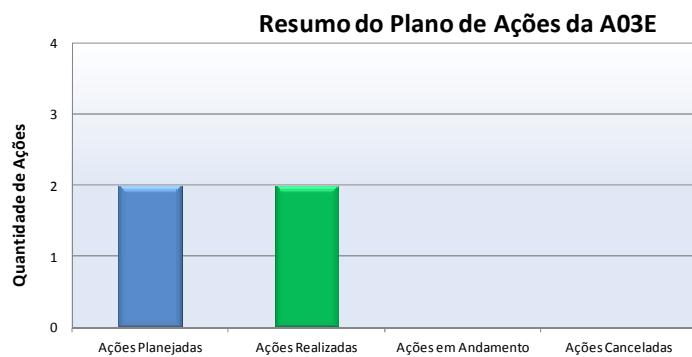
Fonte: Os autores

Ganhos obtidos a partir da execução das ações do plano:

- ✓ Redução das sobrecargas operacionais
- ✓ Eliminação do defeito elétrico na balança a partir da substituição do tacho avariado por um novo.

De acordo com a Figura 42, das duas ações planejadas as duas foram realizadas.

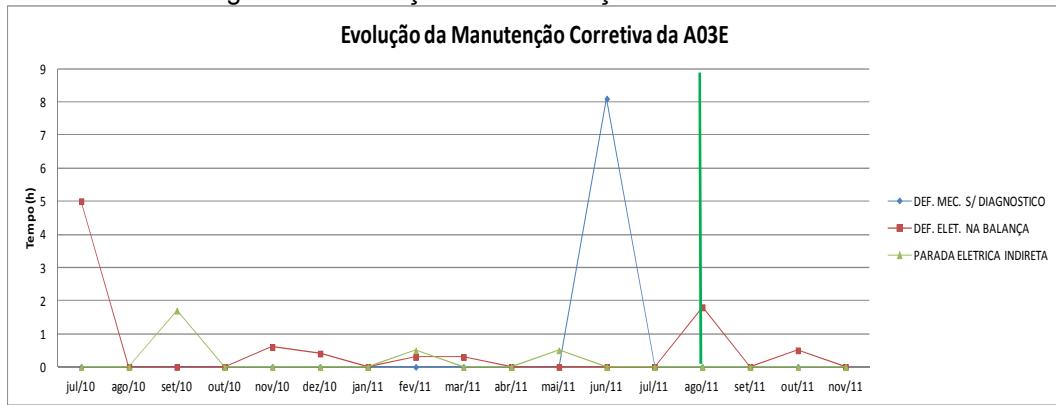
Figura 42 - Resumo do Plano de Ação da A03E



Fonte: Os autores

Conforme a Figura 43, nota-se que as ações executadas tiveram resultados satisfatórios devido ao fato das falhas não serem reincidentes, exceto o defeito elétrico na balança, porém a causa raiz não foi relacionada ao tacho da balança.

Figura 43 - Evolução da Manutenção Corretiva da A03E

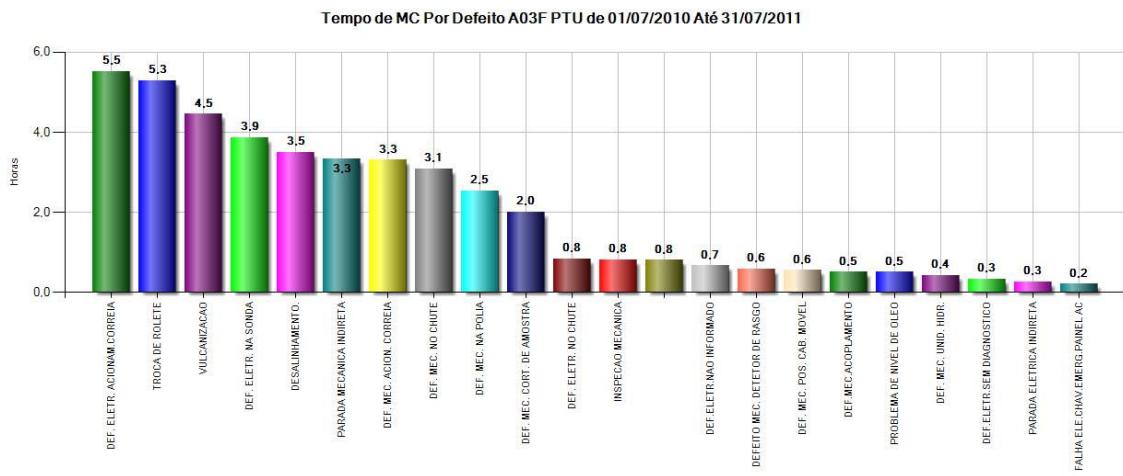


Fonte: Os autores

3.6.4 Análise do Transportador A03F

Através da utilização do SGR, foi gerado, conforme a Figura 44, o gráfico do tempo de corretiva por defeito do transportador A03F entre os dias 01/07/10 a 31/07/11.

Figura 44 - Gráfico do tempo de Manutenções Corretivas da A03F no período jul/2010 a Jul/2011



Fonte: SGR – VALE, (2011)

A partir do gráfico do tempo de manutenções corretivas da A03F foi criada uma tabela, conforme a Tabela 9, com o tempo de manutenção corretiva, a porcentagem de cada evento e a porcentagem acumulada.

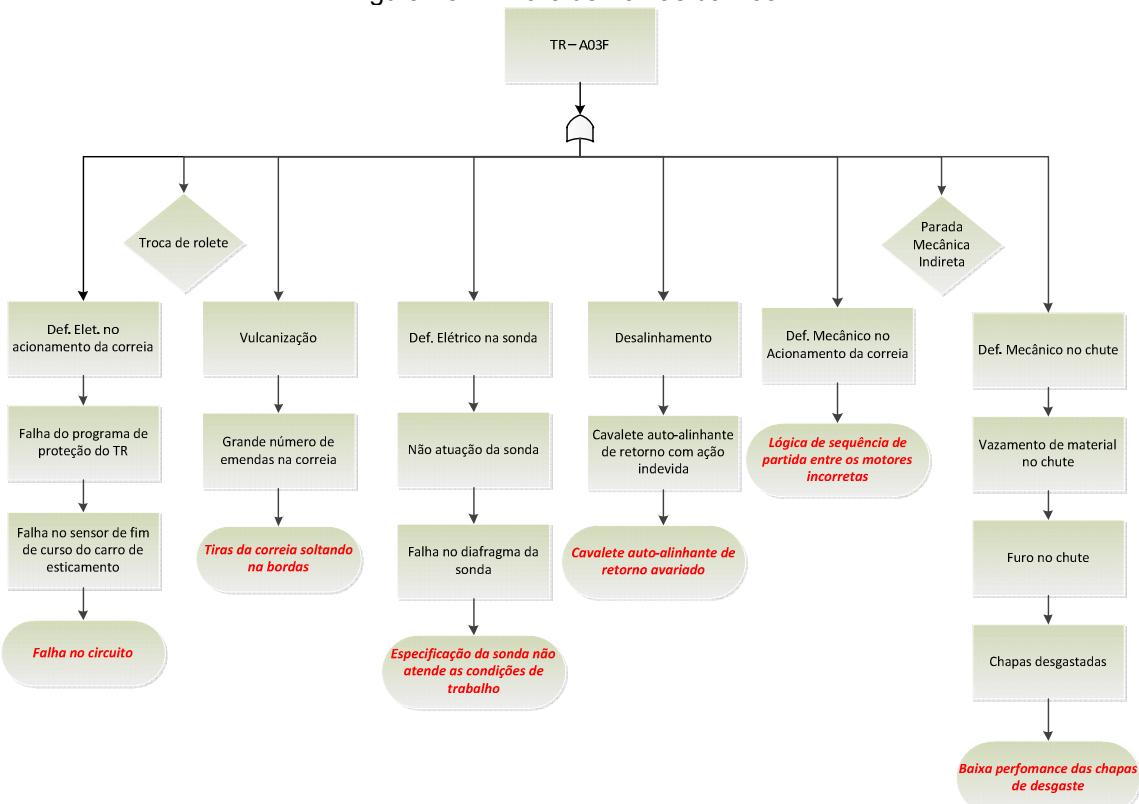
Tabela 9 - Tabela do tempo de Manutenções Corretivas da A03F no período de Jul/2010 a Jul/2011

| Tópicos da estratificação | Tempo de Ocorrências | % Acumulado | % Unitário |
|-----------------------------------|----------------------|-------------|-------------|
| DEF. ELETR. ACION. CORREIA | 5,5 | 13% | 13% |
| TROCA DE ROLETE | 5,3 | 25% | 12% |
| VULCANIZACAO | 4,5 | 36% | 11% |
| DEF. ELETR. NA SONDA | 3,9 | 45% | 9% |
| DESLINHAMENTO | 3,5 | 53% | 8% |
| PARADA MECANICA INDIRETA | 3,3 | 61% | 8% |
| DEF. MEC. ACION. CORREIA | 3,3 | 69% | 8% |
| DEF. MEC. NO CHUTE | 3,1 | 76% | 7% |
| DEF. MEC. NA POLIA | 2,5 | 82% | 6% |
| DEF. MEC. CORT. DE AMOSTRA | 2,0 | 87% | 5% |
| DEF. ELETR. NO CHUTE | 0,8 | 88% | 2% |
| INSPECACAO MECANICA | 0,8 | 90% | 2% |
| DEF ELETR. NÃO INFORMADO | 0,7 | 92% | 2% |
| DEF. MEC. DETETOR DE RASGO | 0,6 | 93% | 1% |
| DEF. MEC. POS. CAB. MOVEL | 0,6 | 95% | 1% |
| DEF. MEC.ACOPLAGAMENTO | 0,5 | 96% | 1% |
| PROBLEMA DE NIVEL DE OLEO | 0,5 | 97% | 1% |
| DEF. MEC. UNID. HIDR. | 0,4 | 98% | 1% |
| DEF. ELETR. SEM DIAGNOSTICO | 0,3 | 99% | 1% |
| PARADA ELETRICA INDIRETA | 0,3 | 100% | 1% |
| FALHA ELEV. CHAV. EMERG.PAINEL AC | 0,2 | 100% | 0% |
| Total | 42,6 | | 100% |

Fonte: SGOP – VALE, (2011)

Com a tabela do tempo de manutenção corretiva da A03F foram listadas as falhas que mais impactaram na Disponibilidade Física do equipamento e a partir dessas perdas foi criada uma árvore de falhas, junto com a engenharia e as equipes de manutenção, para análise das causas básicas das falhas.

Figura 45 - Árvore de Falhas da A03F



Fonte: Os autores

Conforme a árvore de falhas e a tabela de manutenções corretivas da A03F foram verificadas que as maiores perdas são relacionadas ao defeito elétrico no acionamento da correia, troca de rolete, vulcanização, defeito elétrico na sonda, desalinhamento, parada mecânica indireta, defeito mecânico no acionamento da correia e ao defeito mecânico no chute.

O defeito elétrico no acionamento da correia ocorreu devido a uma falha no sensor de fim de curso do carro de esticamento do transportador. A falha de troca de rolete não foi analisada, pois é uma falha pontual em que o fornecedor admitiu uma falha de fabricação do componente. A falha de vulcanização ocorreu devido às várias tiras de borracha que se soltaram da correia por causa do grande número de emendas.

A causa do defeito mecânico na sonda foi devido a não atuação da sonda, onde houve falha no diafragma. O desalinhamento ocorreu, pois o cavalete auto-alinhante de retorno estava avariado e a parada mecânica indireta é um apontamento errado do SGOP, pois pode ser qualquer tipo de falha.

O defeito mecânico no acionamento da correia teve sua causa básica ocasionada pela lógica incorreta de seqüência de partida entre motores e o defeito mecânico no chute ocorreu devido à baixa performance das chapas de desgaste.

A partir destas análises e da árvore de falhas, foi criado o seguinte plano de ação:

Figura 46 - Plano de Ação da A03F

| ID | CAUSA | O QUE | COMO | QUEM | ONDE | QUANDO | | | | |
|----|--|---|--|----------------------|------|--------|-----|-----|-----|-----|
| | | | | | | Mês | Ago | Set | Out | Nov |
| 1 | Tiras de borracha soltando nas bordas | Mapear as emendas da correia do transportador e se necessário realizar a substituição da correia. | Realizando análise sensitiva em campo. | Equipe de Manutenção | A03F | P | 30 | | | |
| 2 | Cavalete auto-alinhante de retorno avariado | Mapear todos os cavaletes auto-alinhantes de retorno do transportador avariados e realizar a troca dos mesmos | Realizando análise sensitiva em campo. | Equipe de Manutenção | A03F | P | | 30 | | |
| 3 | Falha no circuito | Verificar os parâmetros e os componentes de atuação do circuito | Planejando e Executando | Equipe de Manutenção | A03F | P | 30 | | | |
| 4 | Especificação da sonda não atende as condições de trabalho | Modificar o modelo da sonda para Eletrosil | Planejando e Executando | Equipe de Manutenção | A03F | P | | | | 30 |
| 5 | Lógica de sequência de partida entre motores incorretos | Ajustar os parâmetros | Planejando e Executando | Equipe de Manutenção | A03F | P | | | 15 | |
| 6 | Baixa performance das chapas de desgaste | Substituir chapas desgastadas | Conforme parada programada | Equipe de Manutenção | A03F | P | | | S | |
| | | | | | | R | | | | |

Fonte: Os autores

Ganhos obtidos a partir da execução das ações do plano:

- ✓ Cavaletes auto-alinhantes foram substituídos reduzindo as falhas de desalinhamento.
- ✓ Redução da manutenção corretiva nos chutes com a substituição das chapas de desgaste.
- ✓ Parâmetros do motor ajustados evitando as falhas de defeito mecânico no acionamento.

De acordo com a Figura 47, das seis ações planejadas, cinco foram realizadas e somente uma está em andamento no que se refere à mudança do modelo de sonda que ocorrerá até o final de novembro.

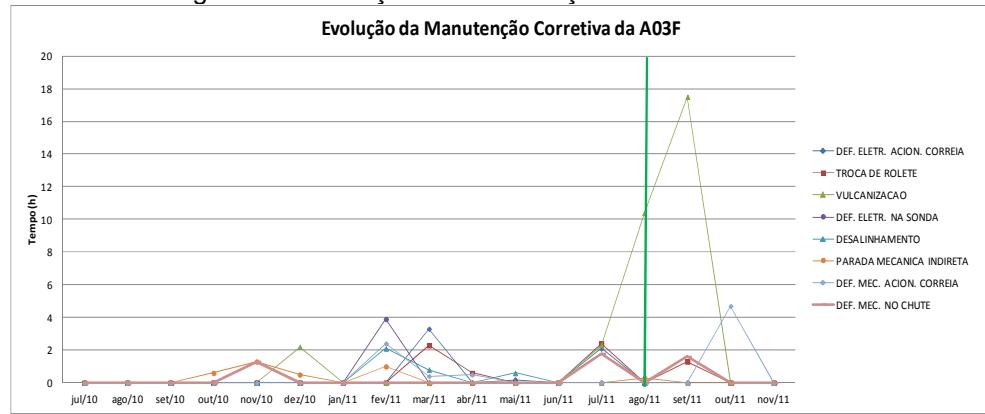
Figura 47 - Resumo do Plano de Ação da A03F



Fonte: Os autores

Conforme a Figura 48, nota-se que as ações executadas tiveram resultados satisfatórios, exceto as falhas correspondentes à vulcanização, que ocorreu devido ao projeto inadequado do chute, na qual o material se projeta com grande impacto sobre correia, fragilizando a emenda e causando a abertura da mesma, e ao defeito elétrico no acionamento da correia, que foi uma sobrecarga do motor ocasionada pela sobrecarga operacional.

Figura 48 - Evolução da Manutenção Corretiva da A03F

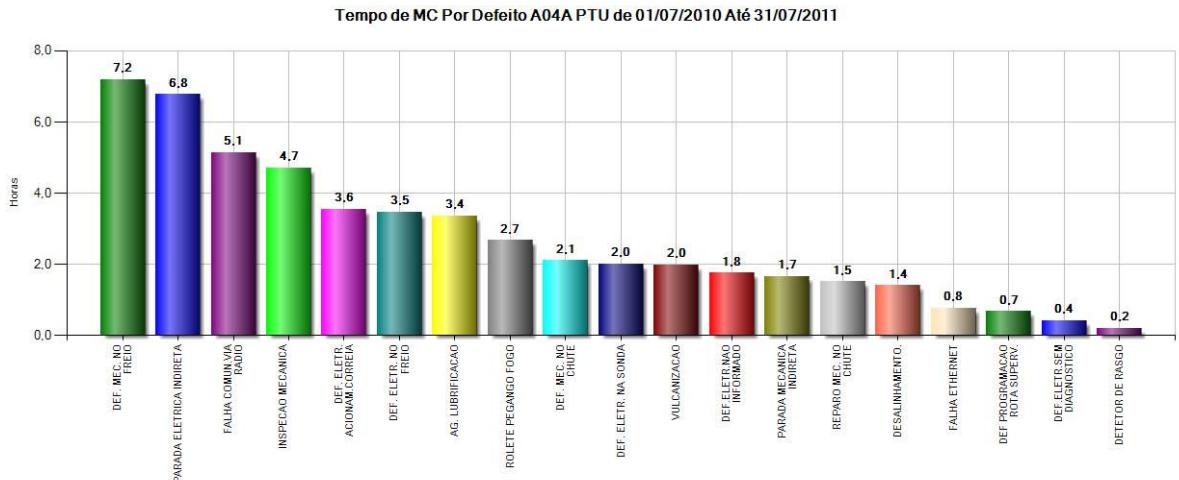


Fonte: Os autores

3.6.5 Análise do Transportador A04A

Através da utilização do SGR foi gerado, conforme a Figura 49, o gráfico do tempo de corretiva por defeito do transportador A0A4 entre os dias 01/07/2010 a 31/07/2011.

Figura 49 - Gráfico do tempo de Manutenções Corretivas da A04A no período de Jul/2010 a Jul/2011.



Fonte: SGR – VALE, (2011)

A partir do gráfico do tempo de manutenções corretivas da A04A foi criada uma tabela, conforme a Tabela 10, com o tempo de manutenção corretiva, a porcentagem de cada evento e a porcentagem acumulada.

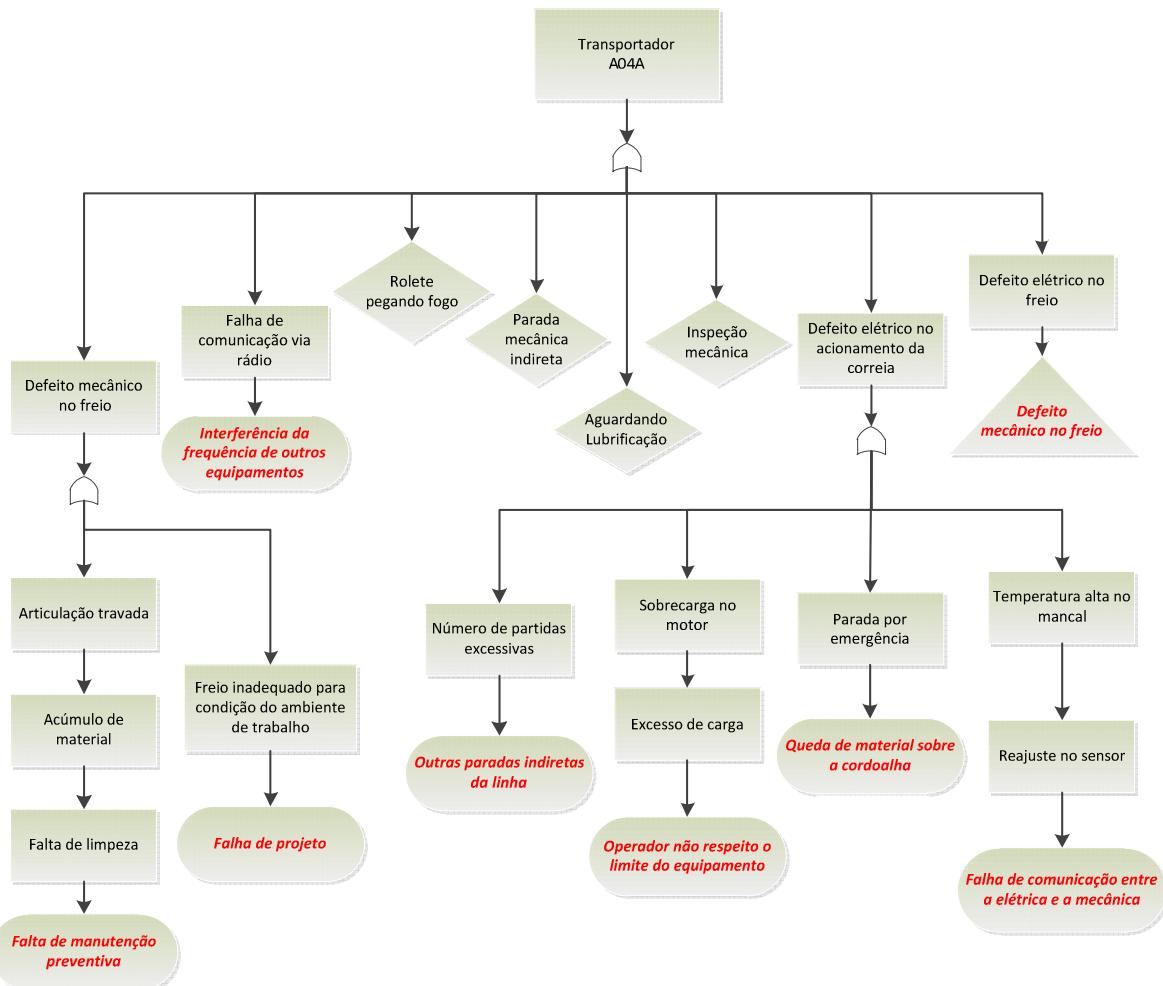
Tabela 10 - Tabela do tempo de Manutenções Corretivas da A0A4 no período Jul/2010 a Jul/2011

| Tópicos da estratificação | Tempo de Ocorrências | % Acumulado | % Unitário |
|-----------------------------|----------------------|-------------|-------------|
| DEF. MEC. NO FREIO | 7,2 | 14% | 14% |
| PARADA ELETRICA INDIRETA | 6,8 | 27% | 13% |
| FALHA COMUN.VIA RADIO | 5,1 | 37% | 10% |
| INSPECÃO MECÂNICA | 4,7 | 46% | 9% |
| DEF. ELETR. ACION. CORREIA | 3,6 | 53% | 7% |
| DEF. ELETR. NO FREIO | 3,5 | 60% | 7% |
| AG. LUBRIFICACAO | 3,4 | 66% | 7% |
| ROLETE PEGANDO FOGO | 2,7 | 72% | 5% |
| DEF. MEC. NO CHUTE | 2,1 | 76% | 4% |
| DEF. ELETR. NA SONDA | 2,0 | 80% | 4% |
| VULCANIZACAO | 2,0 | 84% | 4% |
| DEF. ELETR. NÃO INFORMADO | 1,8 | 87% | 3% |
| PARADA MECÂNICA INDIRETA | 1,7 | 90% | 3% |
| REPARO MEC. NO CHUTE | 1,5 | 93% | 3% |
| DESALINHAMENTO | 1,4 | 96% | 3% |
| FALHA ETHERNET | 0,8 | 97% | 2% |
| DEF. PROGRAMACAO ROTA SUP. | 0,7 | 99% | 1% |
| DEF. ELETR. SEM DIAGNOSTICO | 0,4 | 100% | 1% |
| DETECTOR DE RASGO | 0,2 | 100% | 0% |
| Total | 51,6 | | 100% |

Fonte: SGOP – VALE, (2011)

Com a tabela do tempo de manutenção corretiva da A04A foram listadas as falhas que mais impactaram na Disponibilidade Física do equipamento e a partir dessas perdas foi criada uma árvore de falhas, junto com a engenharia e as equipes de manutenção, para análise das causas básicas das falhas.

Figura 50 - Árvore de Falhas da A0A4



Fonte: Os autores.

Conforme a árvore de falhas e a tabela de manutenções corretivas da A04A foram verificadas que as maiores perdas são relacionadas ao defeito mecânico no freio, à parada elétrica indireta, à falha de comunicação via rádio, à inspeção mecânica, ao defeito elétrico no acionamento da correia, ao defeito elétrico no freio, à falha de aguardando lubrificação e ao rolete pegando fogo.

A causa do defeito mecânico no freio foi o travamento da articulação que ocorreu devido ao acúmulo de material e pelo fato do freio ser inadequado para a condição do ambiente de trabalho. A parada elétrica indireta é um apontamento errado do SGOP, pois pode ser qualquer tipo de falha.

A falha de comunicação via rádio ocorreu devido à interferência da freqüência de outros equipamentos. Para a falha de inspeção mecânica não se sabe ao exato a causa e por isso não foi analisada. O defeito elétrico no acionamento da correia ocorreu por diversas causas, tais como: número de partidas excessivas, sobrecarga no motor, paradas por emergência e a temperatura alta no mancal.

A falha de defeito elétrico no freio, de acordo com a descrição da ocorrência do sistema informatizado (SGOP) e investigação, foi na verdade um defeito mecânico no freio, simbolizado pelo triângulo por ser uma causa repetida. As falhas de aguardando lubrificação e rolete pegando fogo foram falhas pontuais e não tiveram causas fundamentadas impossibilitando a sua investigação.

A partir destas análises e da árvore de falhas, foi criado o seguinte plano de ação:

Figura 51 - Plano de Ação da A0A4

| ID | CAUSA | O QUE | COMO | QUEM | ONDE | QUANDO | | | | | | |
|----|---|---|--|----------------------|--|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | | | | | Mês | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago |
| 1 | Falta de manutenção preventiva no freio | Criar MP para realizar a limpeza da articulação | Inserindo plano de manutenção no sistema informatizado Máximo | Engenharia | Todos acionamentos dos TR's da linha A | P | | | | | | 30 |
| | | | | | | R | | | | | | S |
| 2 | Falha de projeto do freio | Caso seja executada a MP e a falha seja reincidente, abrir Servtec para Engenharia. | Abindo Servtec para Engenharia | Equipe de Manutenção | Todos acionamentos dos TR's da linha A | Mês | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago |
| | | | | | | P | | | | | | |
| | | | | | | R | | | | | | |
| 3 | Interferência da freqüência de outros equipamentos | Mudar a freqüência de 2.4 GHz para 5.8 GHz | Modificando o parâmetro de freqüência conforme o Projeto para 2012 | Equipe de Manutenção | Embarque e Descarga | Mês | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago |
| | | | | | | P | 30 | | | | | |
| | | | | | | R | | | | | | |
| 4 | Operador não respeitou o limite do equipamento | Treinar operadores para a correta operação do equipamento | Realizando treinamentos com os turnos da operação | Operação | Operação | Mês | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago |
| | | | | | | P | | | | | | 15 |
| | | | | | | R | | | | | | S |
| 5 | Queda de material sobre a cordoalha | Inspecionar os transportadores para verificar o tensionamento das cordoalhas | Inspecionando os transportadores | Equipe de Manutenção | Equipamentos da Linha A | Mês | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago |
| | | | | | | P | | | | | | 30 |
| | | | | | | R | | | | | | S |
| 6 | Falha de comunicação entre as equipes elétrica e mecânica | Reciclar em DSS a importância da comunicação entre as equipes | Conversando entre as equipes através da DSS | Equipe de Manutenção | Embarque e Descarga | Mês | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago |
| | | | | | | P | | | | | | 15 |
| | | | | | | R | | | | | | S |

Fonte: Os autores

Ganhos obtidos a partir da execução das ações do plano:

- ✓ Limpeza da articulação do freio é realizada periodicamente reduzindo as chances de falhas por travamento da mesma;
- ✓ Redução da sobrecarga de material devido à correta operação do equipamento através do treinamento dos operadores;
- ✓ Redução das paradas por emergência através da inspeção do tensionamento das cordoalhas;

- ✓ Foi integrada a equipe elétrica com a equipe mecânica para a execução correta da manutenção do mancal.

De acordo com a Figura 52, das seis ações planejadas, quatro foram realizadas, uma está em andamento, que se refere à mudança da freqüência e só será executada em 2012, por fazer parte de um projeto de investimento. Somente uma ação foi cancelada, pois com criação da manutenção preventiva de limpeza da articulação do freio, esta falha não voltou a ocorrer sendo desnecessária outra especificação de freio de acordo com o estudo da engenharia.

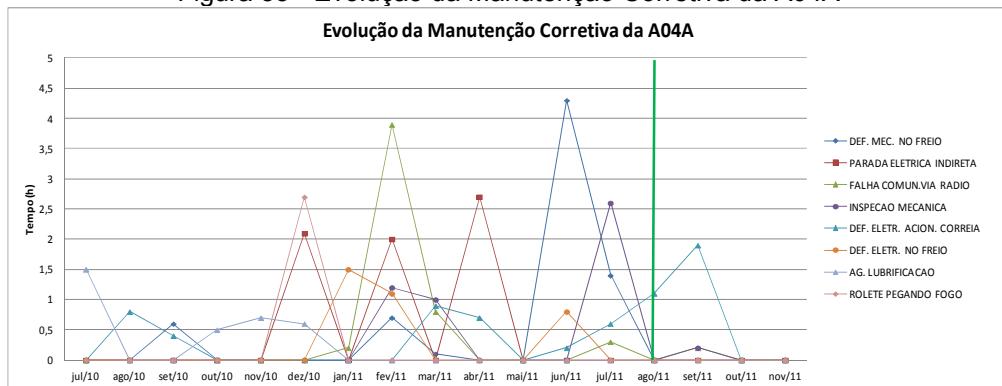
Figura 52 - Resumo do Plano de Ação da A04A



Fonte: Os autores

Conforme a Figura 53, nota-se que as ações executadas tiveram resultados satisfatórios, principalmente em relação ao defeito mecânico no freio que com a criação da manutenção preventiva para limpeza da articulação do freio a falha parou de ocorrer.

Figura 53 - Evolução da Manutenção Corretiva da A04A



Fonte: Os autores

3.6.6 Análise dos Resultados

A partir da execução das ações geradas dos planos de ações e acompanhamento das falhas de cada transportador da Linha A, foi reduzido conforme esperado as horas de manutenções corretivas da linha, como pode ser observado a partir dos gráficos de evolução das falhas tratadas para cada equipamento. Algumas falhas de mesmo apontamento no SGOP (*Sistema Gestão Operação Portuárias*) que voltaram tiveram causas básicas diferentes das que foram tratadas nos planos de ações. Assim o objetivo de propor a melhoria do indicador de Disponibilidade da Linha A através da utilização das ferramentas de ciclo de melhoria contínua e análise de causas com o uso do FTA foi alcançado com resultados satisfatórios, visto que as falhas foram tratadas não voltaram a ocorrer dentro do período analisado.

4 CONCLUSÃO

A metodologia utilizada para análise e melhoria dos indicadores de Produtividade e Disponibilidade foi baseada em algumas ferramentas anteriormente aplicadas pelas equipes de engenharia e manutenção do Porto de Tubarão.

As ferramentas utilizadas no projeto para melhoria dos indicadores, como o FTA e o PDCA, tiveram um resultado satisfatório, pois tornaram a análise da produtividade e da disponibilidade eficaz e eficiente.

A metodologia de análise de causas para os problemas que influenciaram negativamente os indicadores estudados foi escolhida diferentemente das ferramentas atuais utilizadas na gestão das perdas do Porto de Tubarão. Foi dado a preferência para o uso da ferramenta FTA, ao invés dos métodos de Diagrama de Ishikawa e 5W – H, para facilitar a identificação das causas raízes dos problemas de uma forma mais clara.

O FTA, que usualmente é aplicado na identificação das causas de uma falha depois que esta foi ocorrida, foi utilizado um pouco diferente no estudo de caso para analisar os possíveis fatores que levavam a baixa produtividade dos transportadores de correia. A utilização do FTA nesse caso tornou a análise da produtividade organizada e assim foi possível identificar mais claramente as causas do problema.

O presente trabalho teve uma limitação ocasionada pela mudança do sistema de gerenciamento de operações portuárias que inviabilizou em parte a análise dos resultados obtidos, pois os apontamentos gerados pelo novo sistema GPV (*Gestão de Produção Vale*) estão inconsistentes devido à má execução da transferência do banco de dados do sistema anterior SGOP (*Sistema de Gestão de Operações Portuárias*). Não possibilitando assim, a aferição com exatidão os indicadores de Produtividade e Disponibilidade, após a implantação das ações propostas.

Na produtividade, as ações executadas apresentaram um aumento em média de 7% desse indicador, valor inferior ao que foi estipulado, de 30%, caso todas as ações fossem executadas. O motivo desse fato é reflexo de algumas ações críticas relativas à implantação das modificações nos projetos dos chutes que não foram implantadas ainda.

Em relação ao indicador de Disponibilidade da Linha A foi reduzida em média 139 horas de manutenções corretivas, visto que as falhas tratadas não voltaram a ocorrer dentro do período analisado. Porém, algumas falhas voltaram a ocorrer por causas básicas diferentes da relação que foi analisada, resultando em 86 horas de manutenção corretiva.

A sugestão para trabalhos futuros seria a utilização da metodologia estabelecida no presente trabalho para um estudo de caso, referente a uma rota compreendendo desde a recuperação do minério até seu embarque no navio, tendo assim os seguintes ganhos:

- Aumento da produtividade;
- Redução do tempo gasto em manutenções corretivas;
- Prática de uma manutenção moderna.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 KARDEC, Alan; NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
- 2 NAKAJIMA, Seiichi. **Introdução ao TPM - Total Productive Maintenance.** São Paulo: IMC Internacional Sistemas Educativos Ltda.
- 3 SIQUEIRA, I.P. **Manutenção Centrada na Confiabilidade - Manual de Implementação,** QualityMark, 2005.
- 4 GAVI, Jones de P. – **Manual de Inspeção e Manutenção de Correias Transportadoras.** Espírito Santo, 2001.
- 5 SOUZA, Victor M. **Estudo de caso – Engenharia de Manutenção aplicada ao caso do Carregador de Navios 04 e análise de eficácia das ações utilizando confiabilidade.** Espírito Santo, 2010.
- 6 SCAPIN, Carlos A. **Análise de Sistêmica de Falhas.** Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda; 2007.
- 7 GERÊNCIA DE ENGENHARIA DE DESENVOLVIMENTO TÉCNICO DE EQUIPAMENTOS PORTUÁRIOS - VALE. **Plano Diretor de Manutenção dos Equipamentos Portuários.** Vitória, 2011.
- 8 TAKAHASHI, Y.; OSADA, T. **Manutenção Produtiva Total.** São Paulo, IMAMSP, 1993.
- 9 PADRÕES, VALE:
PSG-000712 – DIID, Indicadores Operacionais de Portos, 2010.
PSG -0002 – GAMNG, Indicadores de Performance da Manutenção, 2010.
- 10 RELATÓRIOS, VALE:
Análise do chute de transferência do TR - A03F sobre TR - C04A Terminal Portuário de Tubarão – GAMTG, 2011.
Relatório de cálculo mecânico transportador de correia – Píer I, código do acervo VALE - MC-3545TU-M-00744, 2011.