FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO E NEGÓCIOS DE SERGIPE FANESE

ALMIR OLIVEIRA TOLENTINO

APLICAÇÃO DA ÁRVORE DE FALHA COMO FERRAMENTA DA QUALIDADE EM SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO DE REDUTORES EM SONDAS DE PERFURAÇÃO DE UMA INDÚSTRIA DE MINERAÇÃO

Aracaju – Sergipe

2012.1

ALMIR OLIVEIRA TOLENTINO

APLICAÇÃO DA ÁRVORE DE FALHA COMO FERRAMENTA DA QUALIDADE EM SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO DE REDUTORES EM SONDAS DE PERFURAÇÃO DE UMA INDÚSTRIA DE MINERAÇÃO

Monografia apresentada a , Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe - Fanese, como um dos Pré-requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenheiro de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Fábio de Melo Resende

Coordenador: Prof: Dr. Jeferson Arllen Freitas

Aracaju – Sergipe

2012.1

ALMIR OLIVEIRA TOLENTINO

APLICAÇÃO DA ÁRVORE DE FALHA COMO FERRAMENTA DA QUALIDADE EM SISTEMAS DE LUBRIFICAÇÃO DE REDUTORES EM SONDAS DE PERFURAÇÃO DE UMA INDÚSTRIA DE MINERAÇÃO

Monografia apresentada como exigência parcial para obtenção do grau ou título de Engenheiro de Produção à comissão julgadora da Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe - FANESE.

Aprovada em-----/------/------

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fábio de Melo Resende
FANESE

Prof. Esp. Kleber Andrade Souza
FANESE

Prof. Dr. Andrés Manuel Villafuerts Oyola
FANESE

Dedicatória

Aos meus pais:

José C. Tolentino (*in memorian*) e **Matilde de F. Oliveira.**

À minha esposa e filhos:

Aos meus irmãos:

Aos meus familiares:

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao **Criador** por ter me dado forças para chegar até aqui, mantendo minha fé;

À Faculdade de Administração e negócios de Sergipe pelo direcionamento, e por ter me dado a chance de conhecer novas pessoas, foi uma boa experiência;

À minha família pelas palavras de conforto, em alguns momentos de desânimo;

Aos professores que dedicaram seu tempo para transmitir todos seus conhecimentos;

À vale por ter me dado todo apoio necessário para conclusão desta jornada;

Ao professor e orientador Fábio de Melo Resende pelo honroso apoio;

Emfim, a todos aqueles que de alguma forma contribuíram com esse sucesso;

RESUMO

O presente estudo objetiva abordar a aplicação de um método para análise de falhas no sistema de lubrificação dos redutores das sondas perfuratrizes que trabalham em mina subterrânea, utilizando, como ferramenta de análise, a árvore de falha. A partir desse contexto, efetuou-se um estudo bibliográfico em que se constatou aumento da disponibilidade dos equipamentos para produzir a partir da elevação da confiabilidade da manutenção. Pode ser verificado que após a aplicação do plano de ação foram realizadas mudanças no redutor da Sonda K, permitindo maior disponibilidade do equipamento para a produção. Contudo, é necessário que a melhoria no processo, verificada no segundo período de análise, após a aplicação do plano de ação, tenha continuidade para que a empresa possa atingir as metas traçadas no planejamento estratégico.

Palavras-chave: Engenharia de Confiabilidade. Engenharia de Manutenção. Disponibilidade. Plano de Ação.

LISTA DE FIGURAS

xx

Figura 01 – Tipos de curvas de desgaste..... 19
Figura 02- Simbologia básica para construção de árvore de falhas..... 24
Figura 03 – Árvore de falha..... 24
Figura 04 – Formulário FMEA..... 26
Figura 05 – Diagrama lógico de decisão..... 27
Figura 06 - Resultado em função dos tipos de manutenção..... 33
Figura 07 – Diagrama de blocos dos equipamentos de pesquisa..... 41
Figura 08- Ilustração de uma praça de Sondagem..... 42
Figura 09 – Unidade hidráulica..... 43
Figura 10 – Unidade de comando..... 44
Figura 11 – Unidade de perfuração: vista superior e frontal..... 45
Figura 12 - Bomba MT 200 tríplex pistão alternativo com acionamento por motor diesel..... 46
Figuras 13(a) e 13(b) - Vista posterior e frontal do redutor..... 47
Figuras 14(a) e 14(b) - Circuito de lubrificação do redutor (vista frontal e vista posterior)..... 47
Figura 15- Redutores, circuito e Bomba de Lubrificação..... 48
Figura 16 – Diagrama Simplificado do Sistema de Lubrificação..... 50
Figura 17 – FTA do Sistema de Lubrificação..... 51

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Custo da manutenção preditiva.....…….. 32
Tabela 02 - Dados dos Indicadores de manutenção primeiro período…. 49
Tabela 03 - Indicadores de manutenção do equipamento (SD-K)..... 53
Tabela 04 – Indicadores de Desempenho do equipamento (SD-K)..... 56

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Evolução das técnicas de manutenção.....……..... 29

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Taxa de Falhas do Equipamento Sonda K.....……..... 52
Grafico 02 – Tempo Médio de Reparo do Equipamento Sonda K..... 53
Gráfico 03- Tempo Médio Entre Falhas do Equipamento Sonda K..... 53
Gráfico 04 – Disponibilidade do Equipamento Sonda K..... 54
Gráfico 05 - Consolidação dos Indicadores de Desempenho (SD-K)..... 56

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO..... 12

1 INTRODUÇÃO..... 13
1.1 Objetivos..... 14
1.1.1 Objetivo geral..... 14
1.1.2 Objetivos específicos..... 14
1.2 Justificativa..... 15
1.3 Caracterização da Empresa..... 15

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... 18
2.1 Falhas..... 18
2.1.2 Causas fundamentais da falha..... 20
2.1.3 Análise de falhas..... 22
2.1.4 Árvorede análise de falhas (AFT)..... 22
2.1.5 Análise do modo e efeitos de falha (FMEA)..... 25
2.2 Diagrama lógico de decisão..... 26
2.3 Manutenção..... 27
2.3.1 Histórico da manutenção..... 28
2.3.2 Tipos de manutenção..... 29
2.3.3 Manutenção corretiva..... 30
2.3.4 Manutenção preventiva..... 30
2.3.5 Manutenção preditiva..... 31
2.3.6 Manutenção detectiva..... 32
2.4 Engenharia de manutenção..... 32
2.5 Manutenção produtiva total (TPM)..... 33
2.6 Manutenção centrada em confiabilidade – MCC..... 34
2.7Confiabilidade..... 35
2.8 Manutenabilidade..... 36
2.9 Disponibilidade..... 36

3 METODOLOGIA..... 38

3.1 Abordagem da Metodologia..... 38
3.2 Caracterização da Pesquisa..... 38
3.2.1 Objetivos..... 38
3.2.2 Objeto..... 39
3.2.3 Abordagem dos dados..... 39
3.3 Técnicas da pesquisa..... 39
3.5 Variáveis da pesquisa..... 40
3.6 Análise dos dados..... 40

4 ANÁLISE E RESULTADOS..... 41

4.1 Descrição dos equipamentos de pesquisa geológica da mina subterrânea Taquari-Vassouras..... 42
4.2 Descrição do subconjunto (redutor) onde será aplicado o método da AFT no sistema de lubrificação..... 46
4.3 Descrição do sistema de lubrificação que foi analisado..... 47
4.4 Indicadores de manutenção dos equipamentos de pesquisa geológica 48

4.5 Identificação das anomalias no Sistema de Lubrificação do Redutor 49
4.6 Plano de ação..... 52

4.7 Comparativo dos indicadores de manutenção do primeiro e segundo períodos após implantação do plano de ação..... 52
4.8 Indicadores de Desempenho do equipamento Sonda K..... 55

5 CONCLUSÃO..... 58

REFERÊNCIAS..... 59

ANEXOS..... 61

APRESENTAÇÃO

Este trabalho está obedecendo a seguinte estrutura: primeiro a parte introdutória, os objetivos que serão alcançados, a justificativa da escolha do tema proposto, a caracterização da empresa.

Na segunda parte, está apresentada a fundamentação teórica do trabalho, com toda a abordagem bibliográfica levantada a partir do tema proposto com base nas literaturas existentes, onde foram abordados temas relacionados com a Manutenção.

A terceira parte encontra-se a metodologia utilizada no trabalho, abordando as etapas necessárias para aplicação neste estudo.

Análise e Resultados compõe a quarta parte desta obra, onde está representada toda a parte de aplicação da ferramenta Árvore de Falhas, viabilizando os objetivos propostos na primeira parte.

Na quinta e última parte estão abordadas as conclusões, onde são apresentadas de acordo com as observações realizadas, a contribuição da obra para a gestão da manutenção, e outras áreas afins.

1 INTRODUÇÃO

A evolução do mercado mundial pressionou as empresas a investirem em seus parques industriais, alterando o seu comportamento produtivo em função do desenvolvimento tecnológico que começou a surgir a partir de 1960, iniciando-se a produção em larga escala com o objetivo de suprir a demanda gerada pelo crescimento populacional em todas as classes sociais, nascendo a concorrência, provocando também mudanças de cultura dentro das organizações.

Para atender a todas essas expectativas, as empresas perceberam, em seus ativos, a necessidades de aplicar inovações em seus projetos para acompanhar uma demanda crescente em todo o cenário mundial. Com isso, práticas de manutenção mais avançadas foram sendo implantadas nos setores industriais, saindo da manutenção corretiva para uma gestão de manutenção em que as ações eram programadas e, posteriormente, as tarefas sendo executadas pelas equipes de manutenção, seguindo um cronograma de monitoramento preditivo sobre os equipamentos.

A engenharia de manutenção foi criada para promover melhorias nos ativos, aumentando a disponibilidade para o setor produtivo, deixando os equipamentos mais competitivos, com significativo aumento na confiabilidade, avanços nas metas de produção e redução dos custos do setor. A partir de 1980 começa a busca por melhores resultados; o aprimoramento da cadeia produtiva; qualidade nos processos produtivos, a preocupação pela saúde e segurança do profissional em seu ambiente de trabalho; além da conscientização em preservar o meio ambiente, criando o desenvolvimento sustentável.

Para manter uma maior disponibilidade dos seus ativos, as empresas proporcionaram à área da manutenção uma ocupação de destaque em seu ambiente corporativo. A engenharia da confiabilidade foi incorporada, à medida que os equipamentos começaram a ficar mais complexos, obrigando a gestão de manutenção das grandes empresas interagirem com ações significativas de melhorias na redução ou eliminação das falhas, disponibilizando os ativos para o setor produtivo com maior garantia operacional. Com isso, a gestão de manutenção passou a implementar melhorias voltadas para a Manutenção Centrada na Confiabilidade.

Nesse contexto, é imprescindível que a todo o momento se questione as estratégias de manutenção, para se verificar a necessidade de revisão nos procedimentos adotados pela empresa. Por isso, é indispensável a verificação e melhoramento das técnicas de manutenção, buscando sempre a prevenção para minimizar a ocorrência de falhas, aumentando sempre a disponibilidade dos equipamentos para o processo produtivo atendendo ao planejamento estratégico de produção.

Os equipamentos de pesquisa geológica da mina subterrânea da Unidade Operacional Taquari-Vassouras (UOTV), as sondas de perfuração horizontal e seus equipamentos auxiliares como, por exemplo, as bombas de injeção de fluido, bombas hidráulicas, bombas de lubrificação dos redutores, e seus subconjuntos, sofrem algum tipo de falha que, por sua vez, geram as paradas dos equipamentos. As paradas não programadas comprometem as metas de produção, elevando o custo do produto final.

O propósito deste trabalho é utilizar uma árvore de falhas como ferramenta na identificação das possíveis causas de anomalias em uma bomba do sistema de lubrificação do redutor de uma unidade de perfuração.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Aplicar a análise de falhas no sistema de lubrificação dos redutores que compõe os equipamentos de pesquisa geológica da mina subterrânea da Unidade Operacional Taquari – Vassouras (UOTV).

1.1.2 Objetivos específicos

✓ Identificar as anomalias que comprometam a confiabilidade operacional do sistema de lubrificação dos redutores;
✓ Analisar através da ferramenta árvore de falhas – AFT, anomalias identificadas no sistema de lubrificação;
✓ Propor um plano de ação visando melhorar o planejamento dos programas de manutenção para um sistema de lubrificação em redutores.

1.2 Justificativa

A escolha do tema proposto neste trabalho está fundamentada em observações feitas pelo autor, por este atuar diretamente com os equipamentos de pesquisa geológica.

Foi observado que as falhas ocorridas no sistema de lubrificação dos redutores das sondas de perfuração, estavam comprometendo o desempenho destes equipamentos elevando os custos operacionais e de manutenção.

Com base nas anomalias ocorridas nos sistema de lubrificação dos redutores, optou-se pela escolha de uma ferramenta que pudesse analisar as falhas de forma mais técnica e que gerasse informações com eficiência para o setor de manutenção A aplicação da árvore de falhas como ferramenta na análise de anomalias contribui para redução de paradas não previstas, tornando o setor de pesquisa mais produtivo e competitivo, gerando novas reservas de minério, além de aperfeiçoar a redução dos custos de manutenção.

1.3 Caracterização da Empresa

A mina subterrânea da Unidade Operacional Taquari-Vassouras está localizada na cidade de Rosário do Catete, no Estado de Sergipe, é a única produtora de Cloreto de Potássio em atividade no Brasil, com reserva estimada para 20 anos quando foram feitas as primeiras pesquisas geológicas na fazenda Taquari-Vassouras. O Complexo Industrial é de propriedade da Petrobras, mas é administrado pela VALE através da concessão firmada por um contrato de arrendamento, que foi renovado com a Petrobras por mais três décadas. A VALE é uma empresa privada que tem como missão “transformar recursos minerais em riqueza e desenvolvimento sustentável” visando ser uma das maiores empresa mineradora do mundo e superar os padrões consagrados de excelência em pesquisa, desenvolvimento, implantação de projetos e operação de seus negócios. Emprega aproximadamente 1.200 pessoas, sendo 900 empregados próprios e 300 terceirizados. O método de extração é lavra subterrânea com profundidade variando entre 430 e 640 metros, lavra por câmaras e pilares, abertas por mineradores

contínuos e “*shuttle cars*”. O minério é transportado por correias até o poço de extração.

Para que o minério seja lavrado e necessário obter informações de uma área ainda desconhecida, através da perfuração, onde são coletadas amostras da formação geológica, sendo armazenadas em caixas específicas e encaminhadas para o setor de geologia. Neste setor, essas amostras são analisadas por uma equipe de geólogos que identificam os intervalos mineralizados pela silvinita (intervalo rochoso com alto teor de Cloreto de Potássio). Identificados os blocos de minério, as galerias para escavação são projetadas em mapas que contêm informações e procedimentos detalhados, que são essenciais para o setor de lavra, onde é feito o desmonte das áreas de interesse. A lavra é realizada com mineradores contínuos do tipo Marieta. O minério é carreado por caçambas (*Shutle-cars*) até outro equipamento, um quebrador, que o descarrega nas correias transportadoras que o levam para os silos principais onde é estocado temporariamente.

Dos silos de estocagem o minério é colocado em silos intermediários, que descarregam novamente nas correias transportadoras, sendo levado para o poço de içamento, e estocado em local adequado na superfície. Dessa praça de estocagem o produto é encaminhado para a usina de beneficiamento, passando por um processo de britagem para conformar os fragmentos rochosos em pelotas com aproximadamente 10 mm de diâmetro, facilitando com isso a moagem e peneiramento.

Após a moagem, o passo seguinte é a separação do cloreto de potássio (KCl) pelas linhas de flotação. Feito isso, o KCl é encaminhado para secagem em fornos específicos controlados por supervisórios. Saindo dos fornos, o minério passa por um minucioso processo de granulometria, gerando produtos de acordo com a necessidade do mercado.

Dos galpões, o potássio é transportado por carretas para fábricas de fertilizantes do próprio Estado, e é também destinado ao TMIB (Terminal Marítimo Inácio Barbosa), onde é transportado de navio para outras regiões do país.

De produto final, o KCl produzido no Estado de Sergipe passa a ser matéria-prima importantíssima para o desenvolvimento, não só da agricultura nacional, principal fonte consumidora, como de outros setores industriais, como por exemplo, da indústria química, alimentícia e farmacêutica.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão abordados conceitos relacionados aos tipos de manutenção, a sua evolução histórica desde o Pós–Guerra, do século XX até os dias atuais, e revelar a sua importância fundamental dentro dos grandes parques industriais. A partir do seu planejamento são montados planos estratégicos para a boa aplicabilidade e execução das tarefas, onde se deseja reduzir ao máximo as falhas sobre os equipamentos.

Ferramentas de análise de falhas como Análise dos Modos de Falhas e Efeitos (FMEA), Diagrama de Decisão e Árvore de Análise de Falhas (AFT), como tema proposto neste trabalho também serão abordados neste capítulo.

2.1 Falhas

O desempenho de um equipamento ou sistema, geralmente, está relacionado à função para qual foi projetado, ou de que modo este é colocado em funcionamento. Quando um item não se encontra desempenhando suas funções, diz-se que ele está apresentando algum tipo de falha, mas se seu desempenho é abaixo do especificado e, assim, continua em operação, isso pode ser entendido ou não como falha. Portanto, a identificação de uma falha deve estar associada a fatos mensuráveis, contemplados dentro de um programa de manutenção (XENOS, 2004, p. 68). Nepomuceno (1989, p. 61), uma falha pode ser descrita como “qualquer enguiço num circuito ou sistema que permanece até que sejam tomadas providências corretivas”.

Siqueira (2005, p. 51) define falha como “interrupção ou alteração da capacidade de um item em desempenhar uma função requerida ou esperada”.

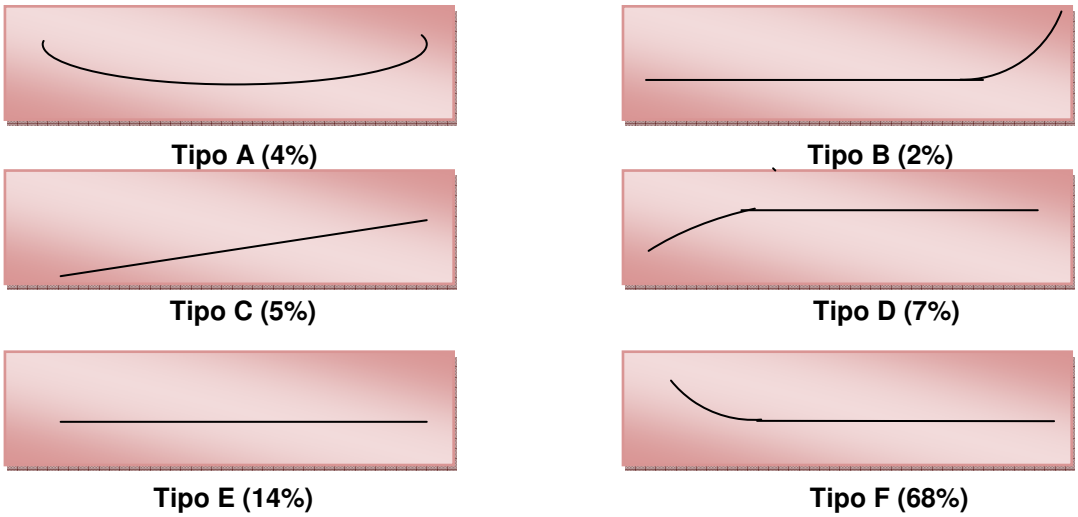
As falhas geralmente ocorrem devido a diversos fatores. Um alto grau de complexidade é exigido para a identificação de uma possível falha, principalmente quando a sua origem ainda é desconhecida. Lafraia (2001, pg. 75) relata que: “manutenções programadas podem na realidade, aumentar a taxa de falhas através da introdução de falhas prematuras que não existiriam no sistema”. Nesse sentido, a MCC tem função primordial no estudo de análise de falhas, com o objetivo da correção e prevenção, aumentando assim a confiabilidade do sistema.

A Figura 01 mostra alguns tipos de falhas por desgaste. Desses itens, 11% apresentam falhas de acordo com a idade (A - 4%; B - 2% e C - 5%), confirmando sua troca ou recuperação por intervenção preventiva, mas dentre estes tipos de falhas apenas (4%) dos ítens representam a tradicional curva da banheira onde inicialmente a taxa de falha é decrescente devido à contribuição dos componentes do sistema por mortalidade infantil (SIQUEIRA, 2005, p. 86).

Esse período de mortalidade infantil é caracterizado por algum tipo de falha introduzida no sistema como: mão de obra deficiente, erros de projeto, deficiência na inspeção, fabricação, transporte e armazenamento. A curva na parte central é constante em boa parte da vida útil do equipamento proveniente de falha aleatória desses ítens. E por fim, a curva se torna ascendente representando aumento na taxa de falha em função de fatores como envelhecimento, desgaste ou fadiga, fim da vida útil do equipamento (SIQUEIRA, 2005, p. 87).

Quase em todos os casos, com exceção da curva C, que representa (5%) e tem crescimento linear, os outros (95%) dos componentes apresentam taxa de falha constante em boa parte de sua vida útil. Sendo assim, vale salientar que qualquer tipo de intervenção poderá não alcançar o resultado desejado podendo ocorrer a introdução de algum tipo de defeito, causando falhas prematuras (mortalidade infantil) do componente, como é ocaso dos sistemas modernos que, em sua maioria, são eletroeletrônicos (SIQUEIRA, 2005, p. 87).

Figura 01 – Tipos de curvas de desgaste



Fonte: Siqueira, (2005, p. 86).

2.1.2 Causas fundamentais das falhas

As falhas estão associadas a diversos fatores e raramente são fundamentadas a uma causa específica, e sim a causas de relevância menores. Podemos atribuir a essas causas de falhas, o aspecto material e humano quando não são cumpridos os procedimentos corretos de manutenção e operação, ou seja, é a falha induzida pelas pessoas (XENOS, 2004, p. 73).

Segundo Nepomuceno (1989, p. 61), os equipamentos e ou sistemas apresentam falhas e, até mesmo, a sua parada total (pane), não obedecendo a uma ordem lógica, dificultando as ações que deverão ser tomadas.

Os motivos pelos quais os equipamentos ou sistemas falham são diversos, até mesmo porque vários fatores devem ser levados em consideração como, por exemplo, o ambiente onde se encontra instalado, se está dimensionado corretamente para aquela função, como está sendo operado, se a matéria prima utilizada na sua fabricação foi adequada, erros na montagem etc. (MMI, 2002, p. 99).

A falha humana, de um modo geral, deve ser levada em consideração até mesmo porque o ser humano é passivo de algum tipo de erro. Pode-se tomar como exemplo a simples elaboração de um projeto da sua fase inicial até a sua concepção, quando o mesmo é colocado em prática. Se todas as fases desse projeto não forem revisadas observando alguns critérios de padrões e procedimentos, com certeza falhas irão sempre existir (XENOS, 2004, p. 73).

Segundo Lafraia (2001, p. 133), a falha humana está atribuída à ações planejadas no alcance dos objetivos propostos. É no decorrer da execução ou no controle da tarefa que ocorre o problema. É importante deixar claro que inevitavelmente o erro acontece nas mãos dos operadores, e não nas mãos diretas dos gerentes e ou dos executivos.

Siqueira (2005, p.75) classifica o comportamento de falha humana em quatro categorias distintas:

A distração é entendida como falha de atenção, em que uma ação prevista não é executada ou é substituída por uma alternativa errada, por acidente, mesmo havendo a compreensão correta da situação e a formulação correta das intenções;

O lapso, quando uma ação prevista não é executada, por esquecimento do executante ou planejador;

O engano**,** falha de conhecimento, provocada por erro de interpretação na execução ou formulação de plano;

A violação é entendida como desvio intencional de regras, práticas, procedimentos e normas estabelecidas.

A ocorrência de falhas não pode mais ser tratada como um problema comum em uma era em que as empresas mudaram o seu comportamento, entendendo que seus ativos precisam desempenhar as suas funções de maneira satisfatória para que os objetivos sejam alcançados. Anos atrás, uma equipe de manutenção poderia achar vantajoso ter atendido um grande número de chamadas em um só turno. Nos dias atuais, para algumas empresas isso não acontece mais porque além de interferir na produção, toda parada gera um custo, tanto para o setor produtivo quanto para o departamento de manutenção, que certamente causa-impacto no produto final (XENOS, 2004, p. 75).

A falta de conhecimento, ou até mesmo a ausência de uma programação periódica nas atividades de lubrificação, são fatores que implicam na eminência de falhas entre peças ou componentes que estão em movimento e em atrito entre suas superfícies, e precisam ser lubrificadas para evitar o aquecimento, ou um possível desgaste prematuro.

Segundo Carreteiro e Belmiro (2006, p. 113), entende-se por lubrificação, “como o fenômeno da redução de atrito entre duas superfícies em movimento relativo, por meio da introdução de uma substância entre as mesmas.”

Na década de 1960, na Grã- Bretanha, ocorreu um aumento significativo no número de falhas mecânicas, provenientes de problemas por desgaste entre superfícies em atrito, provocando longas paradas, com perdas na produtividade, custos elevados, com prejuízos para as indústrias locais, do ponto de vista competitivo (CARRETEIRO e BELMIRO, 2006, p. 113).

Para Xenos (2004, p. 74), a atividade de lubrificar é bastante simples. Não requer nenhum conhecimento técnico, podendo ser realizada até mesmo pelo pessoal da operação. Para isso basta saber usar o lubrificante específico, seja sólido como graxas e outros, seja líquidos, como óleos lubrificantes, nos pontos essenciais dos equipamentos.

2.1.3 Análise de falhas

A análise de uma falha consiste no uso de ferramentas específicas, com o objetivo de identificar as causas fundamentais que deram origem a determinado tipo de anomalia. As ferramentas de análise de falhas que auxiliam as equipes de manutenção na solução de eventos indesejáveis mais utilizadas dentro das organizações são: árvore de análise de falha (AFT), diagrama lógico de decisão e análise do modo e efeitos de falhas - FMEA (SIQUEIRA, 2005, p. 9).

2.1.4 Árvore de análise de falha (AFT)

Introduzida nos sistemas operacionais desde 1961, a AFT passou a ser uma ferramenta para análise da confiabilidade bastante utilizada dentro dos setores industriais e concebida como de fundamental importância na busca de uma operação mais eficiente e segura para as áreas produtivas (SIMÕES, 2006, p. 43).

O método AFT caracteriza-se pela avaliação da ocorrência de um evento principal (não desejável), buscando identificar, em outras funções do sistema, a principal causa geradora da falha no evento topo ou principal, podendo ser aplicada a sistemas simples ou complexos. O modo pelo qual os sub-eventos são formados para construir o evento topo, pode ser representado no diagrama da árvore de falhas, obedecendo a uma ordem lógica, que pode ser usada para prevenir ocorrências futuras (PALADY, 1997, p. 229).

Segundo Simões (2006, p. 43), o método de avaliação de uma AFT consiste da elaboração de um diagrama lógico (árvore de falhas), tomando como referência a ocorrência de um evento não desejável, comumente relatado como evento topo, investigando as possíveis causas que são as causas básicas ou falhas básicas que levaram a tal evento.

De acordo com Siqueira (2005, p. 61), árvore de falhas “é uma ferramenta de análise de cima para baixo (*top-down*), que se inicia pela identificação de um evento indesejável, chamado de “evento raiz”, tal como uma falha funcional, prosseguindo pela determinação de todas as maneiras possíveis dela ocorrer”.

Ainda segundo Siqueira, (2005, p. 62) em 1962 foi desenvolvido, para o departamento da Força Aérea americana, pelos laboratórios da *Bell Telephone*, árvores de falhas como ferramentas para análise do controle de lançamento dos

mísseis *Minuteman,* com a finalidade de avaliar a confiabilidade de sistemas complexos que afetam vidas humanas, especialmente na indústria aeroespacial.

Para Nepomuceno (1989, p. 81), a árvore de falha é uma excelente ferramenta utilizada na análise de anomalias, onde informações significativas podem ser levantadas, dando respostas mais objetivas para equipe de manutenção em relação ao evento falha.

Ainda segundo Nepomuceno (1989, p. 83), a construção, planejamento e utilização de uma árvore de falhas, consiste na análise de sistemas bastante complexos, mas de maneira extremamente simples quando a ideia é identificar e quantificar as maneiras ou modos de falha e nos efeitos que estas podem provocar.

Já Lafraia (2001, p. 123), afirma que a árvore de análise de falhas pode ser do tipo qualitativa ou quantitativa. Na análise qualitativa, busca-se a identificação das possíveis causas que ocasionaram o evento principal. Na análise quantitativa, avalia-se quando poderá ocorrer outro evento.

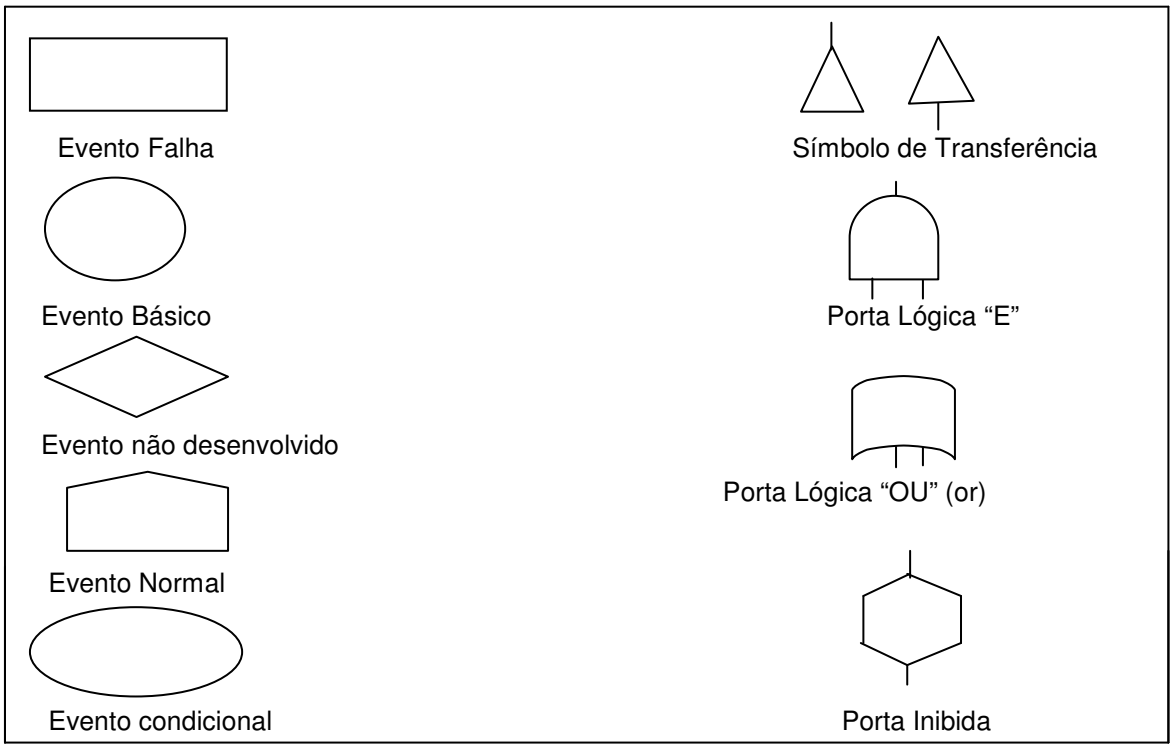
Ainda segundo Lafraia (2001, p. 123), o objetivo da Análise por Árvore de Falhas é utilizar um diagrama lógico para obter informações em um conjunto mínimo de anomalias, e com isso minimizar a ocorrências dessas falhas dando maior confiabilidade ao sistema.

Sendo uma representação gráfica elaborada na identificação dos eventos contribuintes, conhecidos também como eventos básicos, que conduz a um resultado não desejado ou evento topo, contribuindo também para a obtenção de probabilidades destas ocorrências, a Análise por Árvore de Falhas auxilia na tomada de decisões e ações complementares (SIMÕES, 2006, p. 44).

Como ferramenta da qualidade na avaliação de fatores críticos e também complexos que contribuem para ocorrência de anomalias ou eventos de não conformidade que afetam a confiabilidade de um item, a árvore de falhas tem sido abordada na literatura por vários autores como um diagrama lógico estruturado por uma simbologia que são as portas lógicas (E) ou *and,* (OR) ou OU, e eventos básicos que configuram na sua estrutura de diagramação (SIMÕES, 2006, p. 48).

A Figura 02 mostra os elementos básicos para construção de uma árvore de falhas, na qual se utilizam dois tipos principais de simbologia: os eventos e as portas lógicas (LAFRAIA, 2001, p. 125).

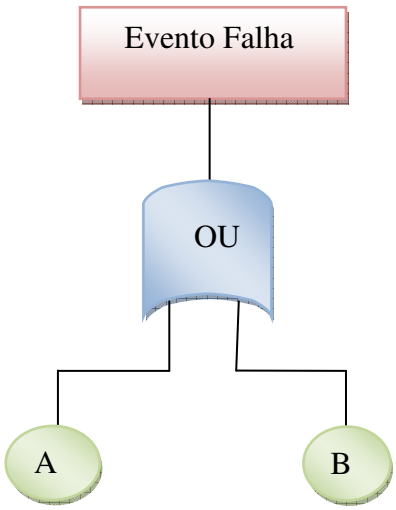
Figura 02 - Simbologia básica para construção de árvore de falhas



Fonte: adaptado de Lafraia (2001, p. 126)

A Figura 03 exemplifica uma estrutura básica de uma árvore de falha, onde (A e B) representam eventos básicos independentes, uma porta lógica "OU" ou (OR) como o elemento de ligação entre os eventos básicos e o evento topo ou principal.

Figura 03- Árvore de falha



Fonte: Lafraia (2001, p.126)

2.1.5 Análise do modo e efeitos de falhas (FMEA)

A análise do modo e efeitos de falhas (FMEA) consiste na geração de medidas prevencionistas, que são classificadas e documentadas de acordo com seu nível de criticidade, com o objetivo de analisar e avaliar as causas potenciais dos modos e efeitos das falhas.

Uma boa parte das organizações não considera o FMEA como uma ferramenta técnica na solução de problemas. Atualmente, esta é vista e utilizada apenas na aplicação da qualidade de produtos e/ou serviços, mas não é descartada a possibilidade de que o FMEA venha a ser padrão de qualidade em nível mundial em um futuro próximo (PALADY, 1997, p. 4).

Ainda segundo Palady (1997, p. 5), a FMEA é uma ferramenta que dispõe de três funções objetivas: como prognóstico na solução de problemas; como procedimento na elaboração, desenvolvimento e execução de projetos; e no uso como arquivo para posterior consulta de um projeto, processo e/ou serviço.

Siqueira (2005, p. 64) afirma que, na manutenção, “a Manutenção Centrada na confiabilidade utiliza a FMEA com o propósito de avaliar, documentar e priorizar o impacto potencial de cada falha funcional, visando definir formas de prevenção ou correção”.

O formulário FMEA é um documento onde todas as informações são registradas, podendo ser consultado quando necessário for. Sua elaboração obedece a critérios que são levantados e aplicados de forma ordenada. As falhas são analisadas para que se determine suas causas, dessa forma índices como ocorrência, severidade e detecção são pontuados para que se determine o grau de risco que a falha representa. E por último as ações serão implementadas de acordo com o grau de risco que cada falha foi avaliada (PALADY, 1997, p. 39).

A eficiência e eficácia da ferramenta FMEA, está condicionada ao cumprimento de algumas regras básicas, sendo sua compreensão de fundamental importância na fase de planejamento. A primeira regra é, não conceber e também não considerar todos os modos de falhas; a segunda regra prediz listar os modos de falhas e questiona-los como causas ou efeitos; a terceira regra seleciona uma abordagem para classificação dos modos ou causas de falhas; a quarta regra, destaca a importância do desenvolvimento individual de cada coluna com relação ao procedimento adotado (PALADY, 1997, p. 29).

A Figura 04 ilustra um modelo de formulário FMEA.

Figura 04 - Formulário FMEA

FMEA – Análise de Modos de Falhas e Efeitos

Sistemas:- ---------- Participantes:- ---------- Produto/Processo:_1_
Subsistema:- ---------- Data: _/_/_ Folha: _/_ Dados do Registro: _2_

Item	Compo-nente/ Proces-So	Funções	Mo-do de Fa-lhas	Efeito(s) Da Falha	Severidade	Causas	Ocorrência	Meios de Detecç ão	Detecção	RPN	Ações Corretivo-Preventiva
3	4	5	6	7	11	8	10	9	12	13	14

Fonte: Adaptado Lafraia (2001, p.103)

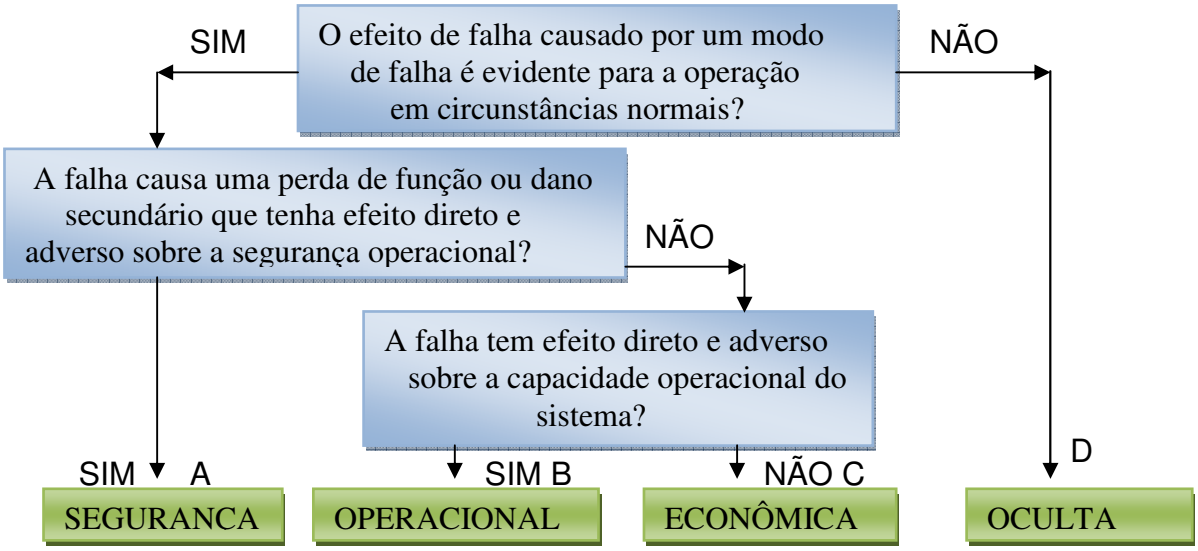
2.2 Diagrama lógico de decisão

O diagrama lógico de decisões foi criado com o propósito de facilitar a criação de outra ferramenta de diagramação que é a árvore de falhas, auxiliando na identificação dos efeitos causados pelas falhas, onde as atividades de manutenção são direcionadas com o objetivo de minimizar ou eliminar os impactos causados pelas possíveis anomalias (SIQUEIRA, 2005, p. 113).

É importante que todos os passos do diagrama sejam elaborados dentro de um procedimento para que as respostas apresentem bastante clareza. Caso isso ocorra de maneira ou modo deficiente, os objetivos jamais serão alcançados. As medidas a serem tomadas irão depender do efeito causado pela falha, obedecendo a uma sequência lógica de diagramação (LAFRAIA, 2001, p. 268).

Ainda conforme Lafraia (2001, p. 269), a falha tem efeito sobre a segurança, se essa for evidente para a operação causando perda de função ou dano secundário, se negativa o efeito é direto e adverso sobre a capacidade operacional, quando não, diz-se que é de ordem operacional ou econômica. Quando a perda da função requerida não é evidente para a operação em circunstancias normal, chamamos então de falha oculta.

Figura 05: Diagrama lógico de decisão



Fonte: Lafraia, (2001, p.268)

2.3 Manutenção

Consta, na Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR-5462, 1994), o conceito de manutenção como sendo “a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”.

Mas, com a evolução do setor industrial em detrimento às exigências da sociedade como um todo, a manutenção adotou conceitos modernos como relata Pinto e Xavier, (2001 p. 22) que: “manutenção é a garantia da disponibilidade da função dos equipamentos e instalações, de modo a atender a um processo de produção ou serviço, com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custos adequados”.

Segundo Fedelle, (2011, p. 5), a manutenção pode ser entendida como: “Intervenção gerada por um conjunto de ações que visa à eficiência das plantas industriais ao menor custo global possível”.

Conforme Nepomuceno (1989, p. 9), o conceito de manutenção norteia vários aspectos, assumindo papel de primeira grandeza no que diz respeito à satisfação da sociedade; embora a sua função principal seja garantir a disponibilidade e confiabilidade de um processo produtivo ao menor custo possível, contribuindo também na humanização do trabalho, favorecendo assim o profissional.

2.3.1 Histórico da manutenção

A evolução da manutenção está relacionada aos avanços tecnológicos que surgiram nos grandes parques industriais no final da Segunda Guerra Mundial. Pesquisas apoiadas pelos avanços da informática e telecomunicações da época foram de fundamental importância para a implementação de uma manutenção fundamentada na Confiabilidade, com o objetivo de manter os processos industriais a níveis mais elevados, para atender aos anseios da sociedade. Em paralelo, cresce a conscientização da preservação ambiental e a proteção à integridade física do trabalhador (SIQUEIRA, 2005, p.3).

A evolução da manutenção foi dividida em três gerações, a seguir:

Na Primeira geração por volta de 1940, o setor industrial era pouco desenvolvido, provido de equipamentos com configurações simples, e com características dimensionais aquém da sua função requerida. Nessa época, as exigências da comunidade social eram mínimas. Portanto, intervenções simples eram aplicadas quando surgia algum tipo de falha, como reparos, lubrificação de alguns componentes, ou algum outro tipo de intervenção. O tipo de manutenção requerida era a **corretiva**, sendo aplicada pelo próprio operador, sem qualificação, ou nenhum conhecimento técnico relacionado com a atividade de manutenção, (PINTO e XAVIER, 2001, p. 49).

A Segunda Geração (1960), nesta década, há um crescimento na demanda por produtos industrializados. Com isso, os equipamentos foram mais exigidos para atender às necessidades da população. A partir de então, a indústria começa a investir na tecnologia para atender aos anseios da sociedade. Por outro lado, se defrontou com a deficiência de mão-de-obra especializada, porque nesse momento a manutenção não tinha relevância dentro dos parques industriais. Surgem os custos elevados devido a paradas não programadas. Com isso, a função **manter** ganhou relevância dentro das organizações, tendo como objetivo a redução dos custos, maior tempo do equipamento em operação (disponibilidade), e aumento significativo da sua vida útil. Dessa forma, pesquisas voltadas para o avanço de técnicas de manutenção preventiva foram desenvolvidas com o objetivo de reduzir as falhas no meio produtivo, implicando em maior produtividade dos ativos em operação (SIQUEIRA, 2005, p.5).

A partir da Terceira Geração (1980), a economia ganha escala em nível mundial, e a sociedade diante de mudanças tecnológicas decorrentes do processo

de globalização, começa a exigir das organizações melhor qualidade dos seus produtos. A disponibilidade, a confiabilidade, e o prolongamento da vida útil dos equipamentos tornaram-se um grande desafio para as empresas diante da crescente concorrência. A tecnologia dos equipamentos impactou em uma crescente necessidade de se fazer manutenção com qualidade dentro dos grandes parques industriais (SIQUEIRA, 2005, p.6).

O Quadro 01 mostra a evolução das técnicas de manutenção mais aplicadas em cada geração:

Quadro 01: evolução das técnicas de manutenção

GERAÇÃO	EVOLUÇÃO
Terceira (1975 aos dias atuais)	**Manutenção Centrada na Confiabilidade** **Manutenção produtiva**
Segunda (1950 a 1975)	**Manutenção preditiva** **Manutenção preventiva**
Primeira (1940 a 1950)	**Manutenção Corretiva**

Fonte: Adaptado de Siqueira, (2005 p. 04)

2.3.2 Tipos de manutenção

Os tipos de manutenção são caracterizados de acordo com a intervenção em um sistema, em equipamentos ou em instalações. Embora os conceitos e métodos de manutenção sejam os mais variados, podem ser definidos como políticas de manutenção em função de uma decisão gerencial ou de uma diretriz global da empresa, fundamentada em dados ou relatórios técnicos, e são classificados nas seguintes categorias: corretiva, preventiva, preditiva e detectiva (PINTO e XAVIER, 2001, p. 35).

2.3.3 Manutenção corretiva

A manutenção corretiva pode ser entendida como a intervenção no momento em que a falha ocorre, ou quando o equipamento apresenta desempenho abaixo do esperado. Consta na Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR-5462, 1994, p.7), a definição da manutenção corretiva como: “manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida”.

A manutenção corretiva é classificada como planejada e não planejada.

A manutenção corretiva planejada está basicamente subordinada a uma decisão gerencial de continuar ou não com o equipamento em operação quando é detectada uma possível falha. Se a opção for manter o ativo operando, sabe-se que este tipo de evento pode comprometer por completo o desempenho e determina a elaboração de ações paralelas para reparar a falha no momento da sua ocorrência (PINTO e XAVIER, 2001, p. 36).

O planejamento das atividades neste tipo de manutenção assegura total controle dos recursos utilizados, implica em intervenções de menor tempo, e as tarefas executadas serão sempre de melhor qualidade, mesmo que a decisão gerencial seja de deixar o equipamento em operação até que ocorra sua parada total (PINTO e XAVIER, 2001, p. 38).

Na NBR-5462 (1994) a manutenção não planejada é conceituada da seguinte forma: “manutenção que não é feita de acordo com um programa preestabelecido, mas depois da recepção de uma informação relacionada ao estado de um item.”

2.3.4 Manutenção preventiva

A Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR-5462 (1994, p.7), define a manutenção preventiva como “a manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item”. A manutenção preventiva pode ser definida como intervenção programada, retendo o ativo da operação para correção de falhas, disponibilizando para a produção dentro

dos padrões especificados pelo fabricante.

Pinto e Xavier (2001, p. 39) afirmam que a manutenção preventiva é a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo. Para Siqueira (2005, p. 12), a manutenção preventiva tem o propósito de prevenir e evitar a consequência das falhas. Já Lafraia (2001, p. 173) enfatiza que a manutenção preventiva procura reter o sistema em estado operacional ou disponível através da prevenção de ocorrência de falhas.

Para Xenos (2004, p. 24), as empresas devem adotar como atividade principal a manutenção preventiva que engloba procedimentos indispensáveis, tais como: verificação das condições dos equipamentos, substituição de peças e reformas quando necessárias.

2.3.5 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva pode ser definida como uma ação proativa antecipando-se à falha, pela qual as medições de parâmetros indicam o desenvolvimento de um defeito ou falha, promovendo, dessa forma, a correção antes da quebra (SIQUEIRA, 2005, p. 13).

A primeira quebra de paradigma aparece com o desenvolvimento e a aplicação da manutenção preditiva. É a técnica que consiste na obtenção de dados no momento adequado sem que, necessariamente, o ativo seja retirado de operação, aumentando assim a sua disponibilidade. Esta técnica demanda certo conhecimento de profissionais altamente capacitados para interpretação de leituras dos instrumentos empregados nas medições (NEPOMUCENO, 1989, p. 13).

Ainda segundo Nepomuceno (1989, p. 37), ao contrário da manutenção clássica, a preditiva tem o objetivo de disponibilizar ao máximo o ativo para o setor produtivo, elevando os níveis de produção e produtividade, com redução dos custos na ordem de 15% e 20% com peças, mão-de-obra e materiais.

A Tabela 01 mostra um comparativo dos custos relacionados com cada tipo de manutenção em uma potência instalada. Observa-se um custo bastante elevado quando aplicado os métodos de manutenção corretiva não planejada e preventiva. Enquanto que, a aplicação dos métodos de intervenções preditivas traz um custo reduzido por potência instalada (PINTO e XAVIER, 2001, p. 49).

Tabela 01: Custo da manutenção preditiva

Tipo de Manutenção	Custo US$/HP/ ano
Corretiva não Planejada	17 a 18
Preventiva	11 a 13
Preditiva	7 a 9

Fonte: Adaptado de Pinto e Xavier et al. (2001, p. 49)

2.3.6 Manutenção Detectiva

A manutenção detectiva tem a finalidade de identificar falhas que ocorreram, mas não são percebidas pelos operadores no decorrer do expediente normal de trabalho, sendo tratadas como falhas ocultas (SIQUEIRA, 2005, p. 13). Pinto e Xavier (2001, p. 44) relatam que a manutenção detectiva é essencial na identificação de falhas ocultas, como garantia de uma manutenção com confiabilidade.

2.4 Engenharia de manutenção

A Engenharia de Manutenção é o elemento de ligação entre o homem, gestão e desempenho, através de pesquisa, planejamento, treinamento, envolvimento e compromisso de implementar a melhoria contínua, conforme comenta (FEDELE, 2011, p. 9).

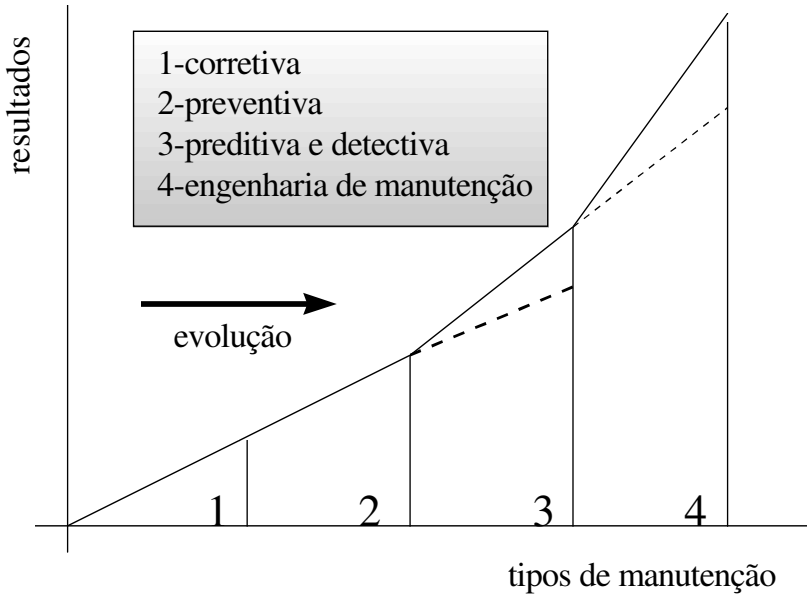
Com a crescente evolução tecnológica das plantas industriais, é cada vez mais elevado o nível de automação nas linhas de produção, ocupando posição importante dentro das organizações, gerando aumento significativo nos custos de manutenção. Assim, as mudanças requerem atitudes organizacionais importantes e, acima de tudo, informações altamente automatizadas e sistemas de gestão ligados à inspeção com sistemas projetados para monitorar e controlar dados fornecidos pela planta. Dessa forma, a Engenharia de Manutenção tem papel significativo na gestão dos resultados dentro de um parque industrial (FEDELE, 2011, p. 10).

Abaixo, a Figura 06 mostra essa evolução e faz uma relação entre os tipos de manutenção e os resultados alcançados.

Entre a manutenção corretiva e a preventiva houve pequena evolução; isso justifica a ausência de um plano de manutenção, as plantas industriais estavam

passando por processos de transformação nos seus setores produtivos. Da manutenção preventiva para a preditiva e detectiva ocorre um grande avanço nos resultados alcançados; isso retrata uma evolução da gestão de manutenção dentro das organizações, ou a quebra de paradigmas (antigos padrões de manutenção) com a Engenharia de Manutenção (PINTO e XAVIER, 2001, p. 47).

Figura 06: Resultados em função dos tipos de manutenção.



Fonte: Pinto e Xavier (2001, p. 47).

2.5 Manutenção produtiva total (TPM)

A manutenção produtiva total, é uma das mais recentes abordagens nos grandes parques industriais e busca atender às exigências impostas pela globalização onde as instalações e equipamentos precisam ser mantidos em pleno funcionamento. A abordagem global dos problemas dentro dos parques indústrias é elemento caracterizador da TPM, são gerenciados de forma unitária, com uma formulação típica e empreendedora da gestão dos custos (FEDELE, 2011, p. 39).

Para Pinto e Xavier (2001, p. 180), o objetivo da TPM é a eficácia da empresa através da maior qualificação das pessoas e melhorias introduzidas nos equipamentos. Com isso, o perfil dos empregados deve ser adequado através de treinamento e ou capacitação. Dessa forma, é possível fazer modificações nas máquinas e equipamentos, promovendo melhorias que aumentem a confiabilidade dos ativos, agregando valores positivos aos planos mestres de manutenção, e aos resultados finais das metas de produção.

A manutenção produtiva total envolve a aplicação de diversos métodos de manutenção em todo ciclo de vida do equipamento, com o objetivo de melhorar a utilização e produtividade desses ativos, e otimizar os custos de produção e manutenção. Outro papel fundamental da TPM é a estreita relação com outros setores da empresa, visando que as ações do departamento de manutenção são insuficientes para garantir um bom desempenho dos ativos (XENOS, 2004, p. 28).

2.6 Manutenção Centrada em Confiabilidade – MCC

De um modo geral, a MCC surgiu da necessidade de implantação de uma política de manutenção com altamente confiável para atender aos avanços tecnológicos e sociais do Pós-Guerra. Surge também a consciência de preservação da integridade física do ser humano como profissional, e a preservação da natureza como um todo (SIQUEIRA, 2005, p. 6).

Pinto e Xavier (2001, p. 95) afirmam que “em 1960, foi criado pela Federal Aviation Administration um grupo para estudo e desenvolvimento de um programa de confiabilidade para a indústria aeronáutica.”

A origem da MCC está basicamente nas mudanças adotadas pela indústria americana de aeronaves, na busca pela certificação exigida pelo Departamento de Defesa Americano, uma vez que o setor pretendia construir uma aeronave com tecnologias avançadas, pelas quais a aplicação de novos conceitos foi decisiva para a implantação de avançados métodos de manutenção, na busca pelo aprimoramento das suas atividades (SIQUEIRA, 2005, p. 6).

A condução do desenvolvimento da manutenção programada de uma aeronave tinha que estar composta de representantes dos operadores, compradores, dos fabricantes de sistemas e estruturas, além da Autoridade Regulatória da aviação; eram exigências do relatório do Terceiro Grupo de Acompanhamento de Manutenção criado em 1980 pelo Departamento de Defesa Americano (SIQUEIRA, 2005, p. 8).

Os resultados da aplicação da MCC nos programas de manutenção das aeronaves americanas ganharam uma adoção crescente, expandindo-se também pela marinha desse país, motivando a sua adoção pelo setor elétrico mundial. Logo, outros setores começaram programar projetos focados na MCC, dentre eles a construção civil, a indústria química, de refino e extração de petróleo, indústria de

gás, siderurgia, celulose, papel, alimentícia, mineração, transporte e até a área de saúde (SIQUEIRA, 2005, p. 9).

2.7 Confiabilidade

Após a Revolução Industrial, deu-se início ao desenvolvimento tecnológico na área da indústria com o objetivo de criar procedimentos e padrões para os equipamentos e instalações do setor. Mas foi através das Forças Armadas dos Estados Unidos que, na década de cinquenta, por meio de contratos, começou-se a exigir com obrigatoriedade que os novos armamentos fossem fabricados dentro de normas e padrões de confiabilidade (NEPOMUCENO, 1989, p. 63).

A confiabilidade está relacionada ao grau de segurança com o qual um determinado produto foi projetado para desempenhar as suas funções, sem que durante este período apresente falhas que comprometam o desempenho de um equipamento ou sistema. Seguindo estes conceitos, Lafraia (2001, p. 4) afirma que confiabilidade é “a probabilidade de que um componente ou sistema, funcionando dentro dos limites especificados de projeto, não falhe durante o período de tempo previsto para sua vida, dentro das condições de agressividade do meio”.

Confiabilidade de um sistema é a probabilidade de que, quando em operação sob condições ambientais estabelecidas, o sistema apresentará uma performance desejada (sem falhas) para um intervalo de tempo especificado. (PIAZZA, 2000, p. 14).

A confiabilidade de um equipamento está no desempenho satisfatório de suas funções por um determinado período de tempo, e pode ser expressa na equação 1.

$$\lambda = 1/ \text{MTBF} \qquad (1)$$

Na qual:

λ = número de anomalias ocorridas/quantidade de horas de operação de um determinado equipamento.

MTBF = Tempo Médio Entre Falhas

2.8 Manutenabilidade

A manutenabilidade é uma condição de projeto do equipamento que possibilita a execução da manutenção, seja ela preventiva ou corretiva, em um determinado período, sem exceder uma programação preestabelecida, sendo o item colocado em condições de funcionamento dentro das suas funções requeridas (LAFRAIA, 2001, p. 161).

O manual de manutenção industrial da vale, (MMI, 2002, p. 140) conceitua manutenabilidade como sendo “a probabilidade de restabelecer a um sistema suas condições de funcionamento normais, em um determinado tempo (t), utilizando-se condições e meios específicos”.

Então, atribui-se o tempo (t) às equações 2 e 3.

$$\mu = 1/MTTR \quad (2)$$

Logo, tem-se: $$MTTR = 1/\mu \quad (3)$$

MTTR = Tempo Médio para Reparo

μ = quantidade de reparos efetivados/tempo total de reparos

2.9 Disponibilidade

Para Nepomuceno (1989, p. 68), tempo disponível é aquele em que o equipamento está pronto para utilização, ou seja, em condições para desempenhar as suas funções para o qual foi projetado, sem que apresente nenhuma anomalia. Ao contrário, a ociosidade é o tempo que o equipamento encontra-se parado, sofrendo algum tipo de intervenção resultante de algum evento programado pela manutenção, ou até mesmo uma intervenção corretiva planejada ou não programada pelo setor de manutenção.

A disponibilidade pode ser entendida como o tempo em que um item desempenha as suas funções de modo satisfatório para o qual foi projetado, após ter sofrido intervenção para correção de alguma anomalia ou falha, de acordo com LAFRAIA (2001, p. 197).

Segundo Pinto e Xavier (2001, p. 103), disponibilidade é a relação entre o tempo em que o equipamento ou instalação ficou disponível para produzir em relação ao tempo total.

A disponibilidade está definida pela equação 4.

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF+MTTR}} \quad (4)$$

Sendo:

MTBF = Tempo Médio Entre Falhas - aplica-se a componentes reparáveis retornando à operação;

MTTR = Tempo Médio para Reparo – aplica-se a um intervalo de tempo entre várias intervenções.

3. METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado com base numa pesquisa bibliográfica para coletar todas as informações necessárias relacionadas ao tema em questão. De forma detalhada foram descritas as etapas de uma análise de falhas com a identificação dos resultados obtidos a partir dessa análise. Após identificação de todo o processo de manutenção, foi apresentada de forma prática uma situação de análise de falha, para evidenciar como o problema foi tratado e resolvido, fazendo a corelação entre os resultados obtidos antes e depois da aplicação da ferramenta de análise de falhas.

3.1 Abordagem da Metodologia

Conforme Lakatos (2001, p. 221) existe uma diferença entre método e métodos porque se localizam em diferentes níveis de abstração. Devido a essa diferença, o método tem um nível de abstração mais elevado e é denominado método de abordagem. O presente trabalho é caracterizado como uma pesquisa bibliográfica de caráter exploratório que irá abordar os principais tópicos do assunto como a aplicação de ferramentas da qualidade na solução de problemas proveniente de falhas nos sistemas operacionais das empresas.

3.2 Caracterização da Pesquisa

A pesquisa bibliográfica é executada em várias etapas e depende de muitos fatores, o que leva a entender essa pesquisa como arbitrária conforme relata Gil (2002, p. 59). Porém, é necessário delineá-la obedecendo aos aspectos quanto ao objetivo e abordagem dos dados bibliográficos.

3.2.1 Objetivos

Para atender aos objetivos, a pesquisa pode ser exploratória em que proporciona ao pesquisador maior familiaridade com o tema e seu planejamento permite considerar vários aspectos sobre o tema estudado; explicativa evidencia os

fatos mais próximos da realidade o que o caracteriza como mais complicado e delicado e descritiva caracteriza-se pela forma de descrever determinada população, conforme relata Gil (2002, p. 41). Nesse trabalho objetivou-se maior familiaridade com o tema, relatando-se fatos mais próximos da realidade, o que a caracteriza como exploratória e explicativa.

3.2.2 Objeto

De acordo com o objeto, pode-se caracterizar uma pesquisa como bibliográfica, laboratorial, documental, e outras. No trabalho em epígrafe utilizou-se a pesquisa bibliográfica com consulta em livros, artigos científicos e documentais. Para Gil (2002, p. 59) entende-se por pesquisa bibliográfica um processo composto de várias etapas, entre as quais se destaca o levantamento bibliográfico preliminar.

3.2.3 Abordagem dos Dados

Dentro desse escopo, uma pesquisa pode ser classificada como quantitativa, qualitativa ou poderá contemplar as duas. Nesse trabalho optou-se por utilizar a abordagem qualitativa e quantitativa.

3.3 Técnicas de Pesquisa

A técnica utilizada na pesquisa foi a consulta em livros, artigos científicos, documentos e bancos de dados contendo informações diárias sobre as atividades operacionais dos equipamentos de pesquisa geológica utilizados em mina subterrânea com o objetivo de analisar os dados de forma qualitativa e quantitativa. O material foi selecionado previamente de acordo com o tema abordado no presente trabalho.

3.4 Universo e Amostra da Pesquisa

Segundo Lakatos (2001, p. 162) a pesquisa deverá ser delimitada com o objetivo de estabelecer limites à investigação. Por isso, foi definido nesse trabalho

como universo do estudo os equipamentos de pesquisa geológica utilizados na Mina Subterrânea da Unidade Operacional Taquari-Vassouras, limitando-o ao sistema de lubrificação, o qual foi a base fundamental na elaboração do referido trabalho.

3.5 Variáveis da Pesquisa

Todas as variáveis que afetam o objeto de estudo devem ser levantadas e relatadas, mas é importante controlar essas variáveis para não correr o risco de invalidar a pesquisa, conforme relata Lakatos (2001, p. 162). Todas as variáveis foram identificadas e consideradas para que a pesquisa possa apresentar o resultado esperado.

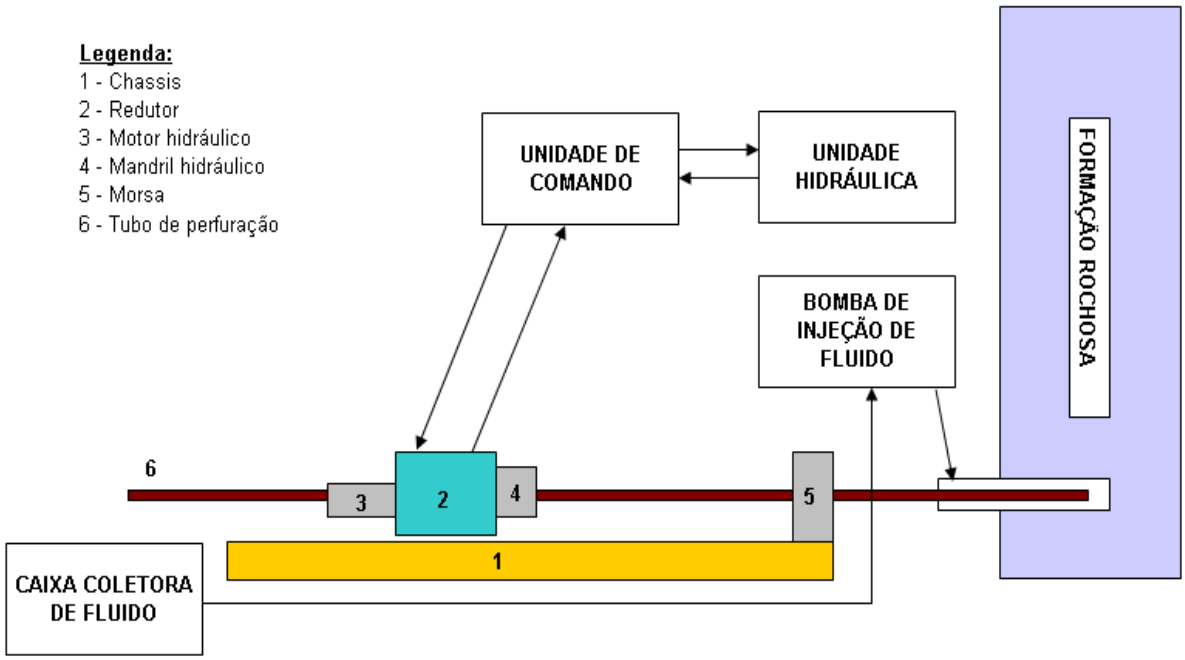
3.6 Análises dos Dados

Segundo Lakatos (2001, p. 167) “a análise (ou explicação) é a tentativa de evidenciar as relações existentes entre o fenômeno estudado e outros fatores”. No decorrer desse trabalho foi utilizada a forma descritiva para expor a opinião sobre o tema abordado com base na bibliografia utilizada.

4. ANÁLISE E RESULTADOS

Para a elaboração deste capítulo, fez-se necessário o detalhamento dos equipamentos de pesquisa geológica da Mina Subterrânea da Unidade Operacional Taquari-Vassouras caracterizados como universo da pesquisa. A Figura 07 mostra um diagrama simplificado desses equipamentos e também como são distribuídos em uma praça de sondagem, os quais serão especificados individualmente logo abaixo.

Figura 07 – Diagrama de blocos dos equipamentos de pesquisa



Fonte: Dados da pesquisa

A Figura 08 detalha melhor o entendimento do processo de pesquisa geológica da Unidade Operacional Taquari-vassouras. Podemos observar uma unidade de perfuração com todos os elementos ou subconjuntos descritos na legenda da figura 07 e a presença de dois colaboradores nas atividades operacionais, como também a formação rochosa onde temos um furo na posição horizontal com seus respectivos elementos de composição. Observa-se uma haste (tubo de perfuração) passando pelo interior desses elementos, daí por diante esses (tubos) são enroscados em série pelo próprio equipamento ou com o auxilio dos colaboradores dependendo do tipo de operação a ser realizada. A posição desta figura está oposta à figura acima.

Figura 08 – Figura Ilustrativa de uma praça de Sondagem

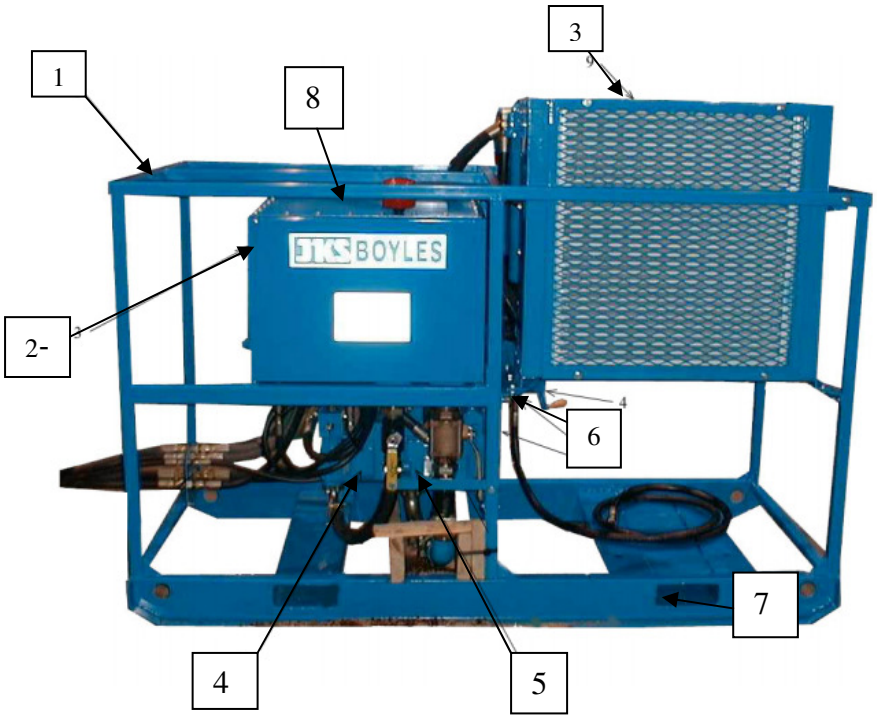
Fonte: Cortesia Vale Potássio do Nordeste

4.1 Descrição dos equipamentos de pesquisa geológica da mina subterrânea Taquari-Vassouras.

A pesquisa geológica da mina subterrânea Taquari-Vassouras dispõe dos seguintes equipamentos: unidade hidráulica, unidade de comando, unidade de perfuração, bomba para injeção de fluido, os quais são descritos detalhadamente na sequência.

A unidade hidráulica é responsável pela distribuição do óleo hidráulico no sistema. Acionadas por um motor elétrico de 75 HP, bombas hidráulicas de 50 e 15 gpm (galão por minuto), conforme indicação 4 e 5, bombeiam o óleo até uma unidade de comando, que através de um banco de válvulas reguladoras de fluxo e pressão controlam as variáveis do sistema. Na unidade de comando, todas as variáveis são controladas e monitoradas pelo operador através de instrumentos (manômetros). Como se trata de um circuito fechado, o óleo percorre todo o sistema, passando por um trocador de calor (indicação 3), sendo em seguida armazenado no tanque hidráulico (indicação 2).

Figura 09– Unidade hidráulica



Fonte: Vale (2011)

Legenda:

1- Estrutura
2- Tanque óleo hidráulico
3- Trocador de calor
4- Bomba hidráulica de 15 gpm
5- Bomba hidráulica de 50 gpm
6- Bomba manual para abastecimento
7- Base ou trenó
8- Tampa de visita

Pelas bombas de 50 e 15 gpm (galão por minuto), o óleo hidráulico é transportado através de mangueiras até a unidade de comando, onde o operador controla todas as funções do equipamento através de válvulas reguladoras de fluxo e pressão. É também na unidade de comando, que através de um circuito de elétrico por partida-direta por botoeiras (botões liga/desliga), que o operador tem acesso à partida elétrica dos motores que acionam as bombas de injeção de fluido, conforme descrito na figura 12 deste capítulo.

Figura 10 – Unidade de comando

Fonte – Vale (2011)

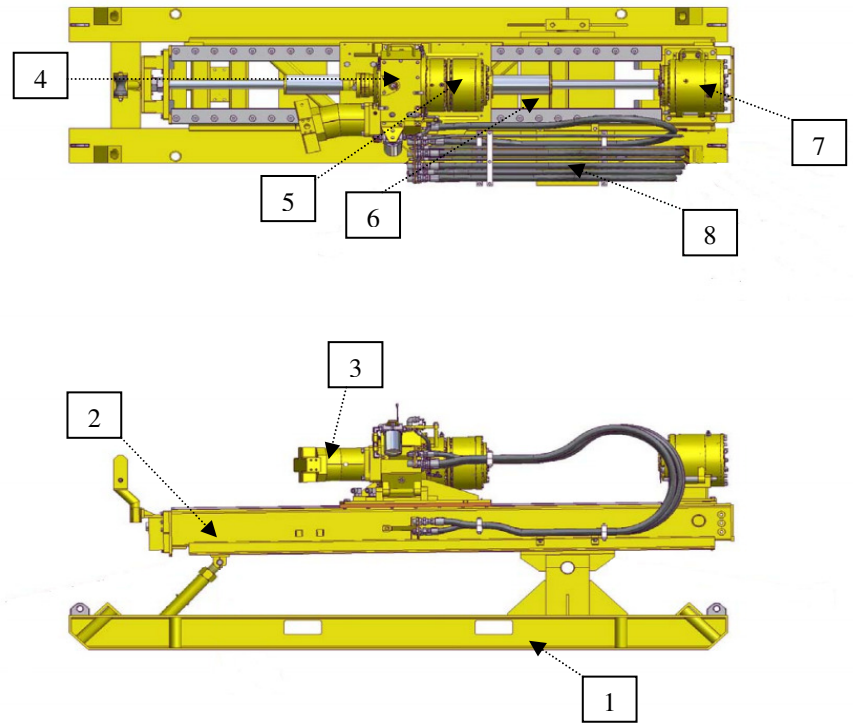
A unidade de perfuração é fixada sobre uma base de concreto por hastes (tirantes) com comprimento de 1,6m, estrutura composta por uma base ou trenó, chassis e cilindro de sustentação, cilindro hidráulico de 6 polegadas, redutor onde estão acoplados um motor hidráulico e o mandril hidráulico, conhecido também como “cabeça de corte”; à frente está a morsa hidráulica.

Os elementos da unidade de perfuração estão na figura 10 e descritos conforme legenda abaixo.

Através da unidade de comando o motor hidráulico é acionado, e por transferência de torque é dada rotação ao mandril. Em seguida, o cilindro hidráulico também é submetido a uma pressão de avanço, onde há deslocamento do conjunto (motor, redutor, mandril) ou “cabeça de corte”, conseguindo-se com isso a perfuração da formação rochosa com *dril pipes* (tubos de perfuração), que têm comprimento de 3,0m, e passam através de um fuso (eixo central do redutor), mandril e morsa, que prendem esses tubos por mordentes de acordo com a pressão nominal do sistema.

A figura abaixo mostra uma unidade de perfuração e seus elementos conforme descrição na legenda da própria figura.

Figura 11 – Unidade de perfuração: vista superior e lateral



Fonte – Vale (2011)

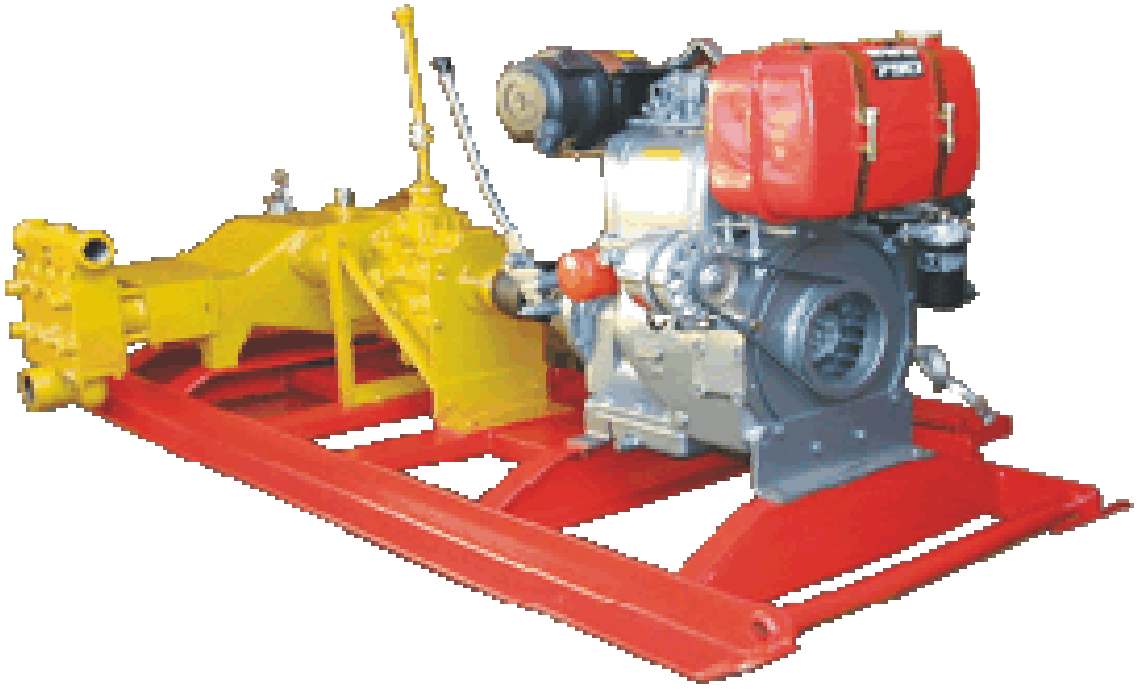
Legenda:

1- Base ou trenó
2- Chassis
3- Motor hidráulico
4- Redutor
5- Mandril hidráulico
6- Cilindro hidráulico (principal)
7- Morsa hidráulica
8- *Manifold* de mangueiras

Equipamento utilizado para injeção de fluido nos furos de sonda, o fluido é injetado através do anular do furo e sua principal finalidade é fazer com que chegue até o final do furo com uma pressão nominal média de 1000psi, resfriando e lubrificando toda a coluna de rotação e retorne pelo interior da composição, carreando o material (amostras) produzido pelo corte da coroa até uma peneira coletora.

A bomba MT 200, pode ser acionada por motores a diesel, hidráulico ou elétrico acoplando-se ao seu eixo de comando.

Figura 12- Bomba MT 200 tríplex, pistão alternativo com acionamento por motor diesel



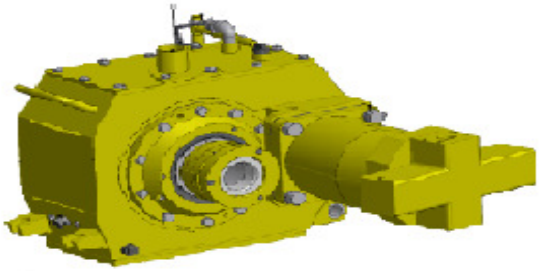
Fonte: Macsonda (2011)

4.2 Descrição do subconjunto (redutor) onde será aplicado o método da AFT no sistema de lubrificação

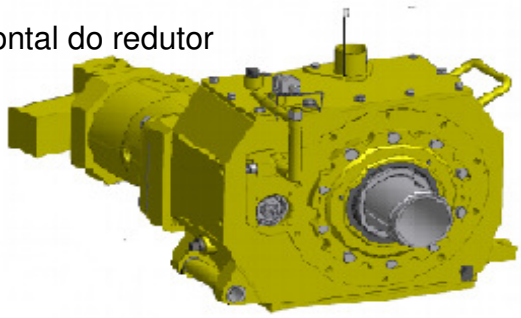
Um dos subconjuntos que compõe a unidade de perfuração, o redutor, também conhecido como “cabeça de corte”, é composto por elementos deslizantes como rolamentos, cremalheiras ou engrenagens. Um eixo vazado ou “fuso”, no qual as engrenagens ou cremalheiras estão presas, está acoplado por anéis metálicos a dois rolamentos, um na parte frontal do redutor e o outro na parte posterior do mesmo, como mostrado nas figuras 13(a) e 13(b) abaixo.

Nestas mesmas figuras, observa-se também que o motor hidráulico está acoplado a um eixo, onde este eixo está engastado a dois rolamentos, como descrito no parágrafo anterior. Na Figura 13(b) é possível visualizar a parte frontal do redutor, no qual um dos rolamentos do eixo do motor hidráulico está acoplado. Este eixo possui duas engrenagens que, através de uma alavanca seletora, são acopladas às engrenagens do fuso, e com o acionamento do motor inicia-se um processo de rotação por transferência de torque.

Figuras 13(a) e 13(b) – Vista posterior e frontal do redutor



(a – vista posterior do redutor)



(b – vista frontal do redutor)

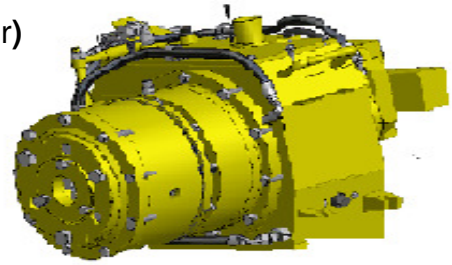
Fonte: Vale (2011)

4.3 Descrição do sistema de lubrificação que foi analisado

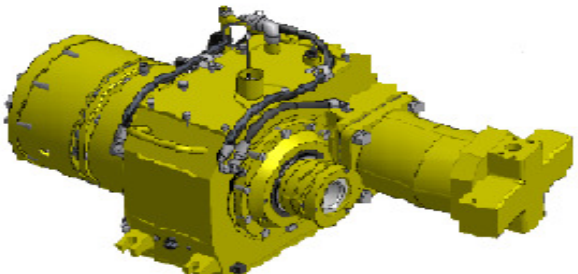
O sistema de lubrificação dos rolamentos e engrenagens do redutor, que são elementos fundamentais para o funcionamento do equipamento, é bastante simples, mas de grande importância quando passamos a entender que superfícies em atrito geram desgastes excessivos, são sobre-aquecidas, apresentando dessa forma defeitos ou falhas quando não há lubrificação adequada por qualquer tipo de anomalia que ocorra no sistema.

Ao mesmo eixo ao qual está acoplado o motor hidráulico tem-se também acoplada uma bomba de lubrificação com pequena vazão, que é acionada a partir do momento em que o motor hidráulico entra em funcionamento, (figura 14 b). A bomba succiona o óleo lubrificante depositado no cárter do redutor, passando por um circuito ou *manifold;* em seguida esse óleo é distribuído através de mangueiras para os pontos específicos como mostrado nas figuras 14 (a) e 14 (b), retornando ao cárter e assim o ciclo se repete.

Figura 14(a) e 14(b) – Circuito de lubrificação do redutor (vista frontal e posterior**)**



(a – vista frontal)



(b – vista posterior)

Fonte: Vale (2011)

Figura 15 – Redutor com pontos de lubrificação e Bomba de lubrificação (Ilustração)

Fonte: Cortesia Vale Potássio do Nordeste

4.4 Indicadores de manutenção dos equipamentos de pesquisa geológica

Durante os turnos de trabalho, as atividades desenvolvidas na pesquisa geológica ou todo e qualquer evento que aconteça nesse período são registrados pelos técnicos e operadores em relatórios de produção com seus tempos específicos de ocorrência. Todas essas informações são transferidas para um banco de dados que são Índice de Controle e Disponibilidade (ICD) dos equipamentos de pesquisa geológica da Mina Subterrânea da Unidade Operacional Taquari-Vassouras, onde cada atividade é analisada em função do impacto que afeta na disponibilidade do equipamento. Para se obter os valores dos indicadores de manutenção, utilizou-se os dados de manutenção corretiva constantes nos ICDs. Os modelos dos relatórios e de uma planilha com esses dados conforme Anexo 01, ajudam na compreensão dos dados da Tabela 2.

Os indicadores calculados foram: Tempo Médio Entre Falhas (MTBF), Tempo Médio para Reparo (MTTR = 1/μ), Taxa de Falhas (λ = 1/ MTBF), e Disponibilidade, conforme é mostrado na Tabela 2.

Tabela 02 - Dados dos Indicadores de manutenção: primeiro período

Equipamento Sonda k	Mês	MTBF	MTTR	Taxa falha λ	Disponibilidade
	Janeiro	31,25753	11,66667	0,03199	0,73242
	Fevereiro	53,10025	12,88333	0,01883	0,80474
	Março	25,86667	11,60010	0,03865	0,69039
	Abril	22,91667	18,63333	0,04363	0,55154
	Maio	20,42000	19,58333	0,04897	0,51021
	Junho	19,60056	24,40100	0,05101	0,44545
	Julho	17,58333	31,61667	0,05687	0,35738

Fonte: (VALE,2011)

A coleta de dados compreende os meses de janeiro a julho, referente ao ano de 2011, correspondente ao primeiro período de análise, onde se constata um aumento na taxa de falhas a partir do mês de março, e consequentemente um declínio na disponibilidade do equipamento.

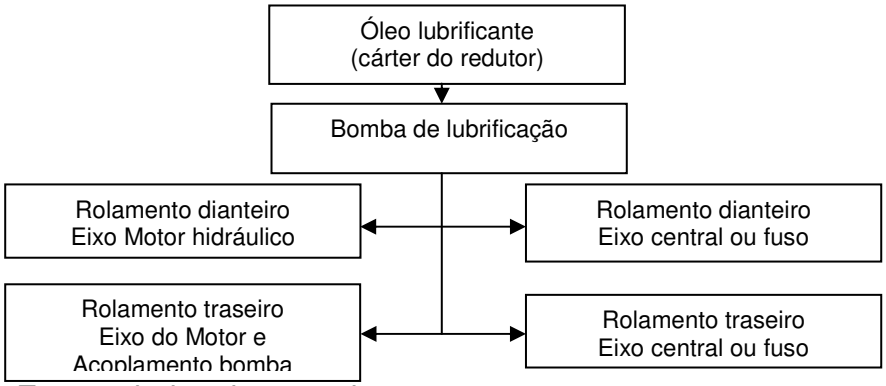
Os meses de Janeiro e Fevereiro estão com resultados satisfatórios nos indicadores de manutenção, em função da mudança de praça de sondagem a partir da segunda quinzena de Janeiro, onde não houve atividade operacional constante.

4.5 Identificação das anomalias no Sistema de Lubrificação do Redutor

O sistema de lubrificação do redutor é caracterizado como um sistema de lubrificação direta, ou seja, a bomba distribui o óleo que está armazenado no cárter do redutor através de um circuito de mangueiras, fazendo com que esse lubrificante chegue diretamente nos pontos específicos que são os rolamentos dianteiro e traseiro do eixo central (redutor), dianteiro e traseiro eixo do (motor hidráulico) como mostra o diagrama da Figura 16, sem passar por algum tipo de componente que faça qualquer tipo de controle ou restrição do fluido.

O regime de trabalho da bomba depende diretamente do regime de trabalho do Motor Hidráulico do redutor, qualquer tipo de anomalia nesse subconjunto a bomba não funcionará. Contudo, os (rolamentos), citados no parágrafo acima também não irão sofrer danos porque só entram em funcionamento quando o motor estiver em regime de trabalho.

Figura 16 - Diagrama simplificado do Sistema de Lubrificação



Fonte: dados da pesquisa

Para a identificação das falhas no sistema de lubrificação do redutor, fez-se necessária a utilização de dados gerados nos relatórios de Índices de Controle e Disponibilidade (ICD), como também, consulta nos relatórios diários de operação nos quais estão registradas todas as paradas para manutenções corretivas e preventivas dos equipamentos, conforme figuras contidas no Anexo I, e com o auxílio de um profissional da área de manutenção, observou-se:

a) Falha primária da bomba ou defeito do fabricante;

b) Nível baixo de óleo no cárter do redutor provocará cavitação da bomba quando esta entrar em funcionamento, com isso perderá seu rendimento uma vez que o nível do óleo está abaixo da sua linha de sucção. A esse tipo de anomalia, podemos atribuir à falha humana por não ter feito a inspeção do equipamento antes de iniciar as operações;

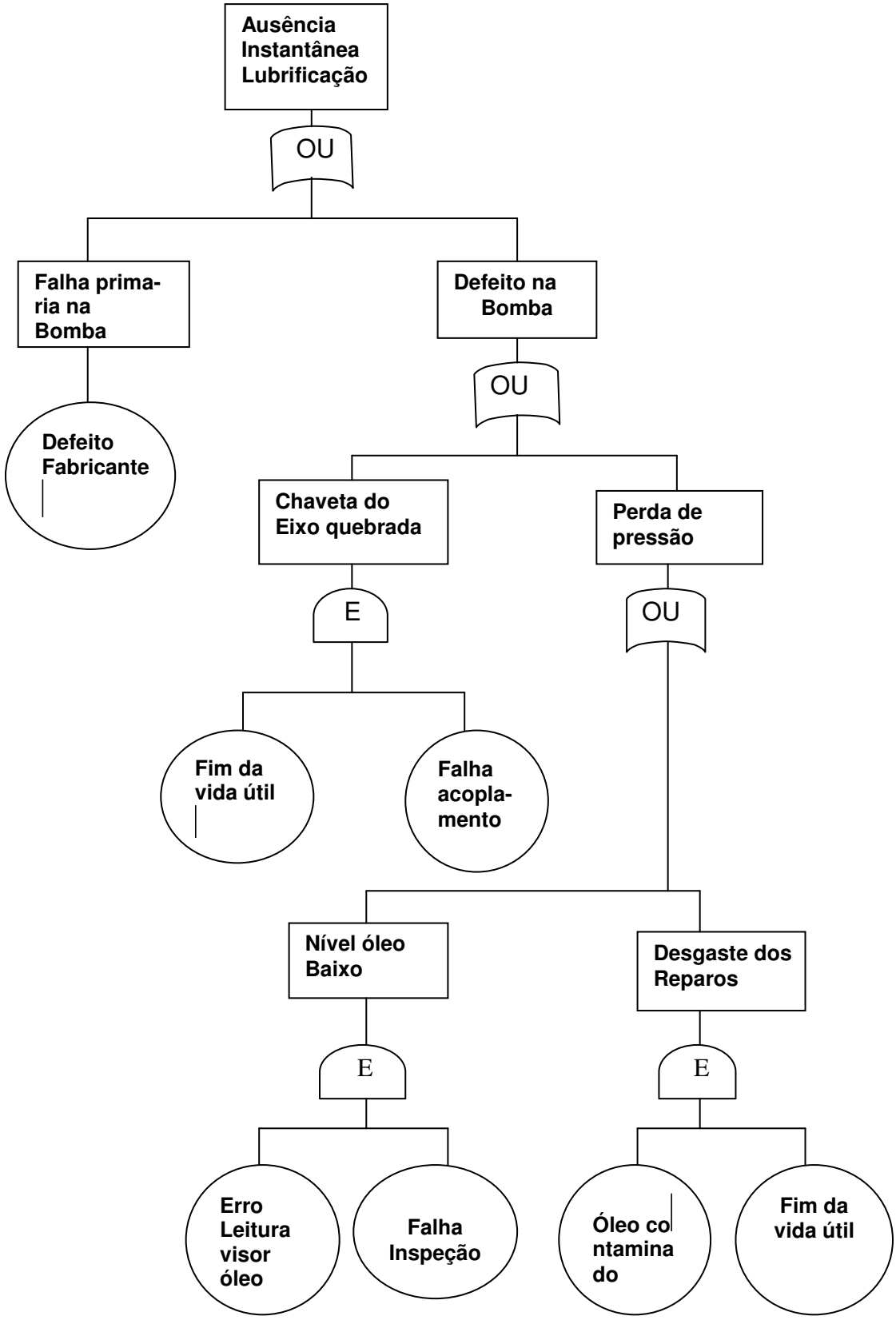
c) Quebra da chaveta do eixo da bomba, o sistema ficará sem lubrificação. Esse tipo problema pode ocorrer se houver um evento falha no motor hidráulico, sendo que a bomba está acoplada a esse mesmo eixo;

d) Baixo rendimento da bomba provocado pelo desgaste dos retentores interno. Anomalia pode ocorrer devido ao longo período de trabalho do equipamento, ou quando óleo estiver contaminado por impurezas do próprio circuito;

e) Desgaste do acoplamento da chaveta do eixo da bomba.

A partir das falhas analisadas no sistema de lubrificação do redutor, aplicou-se a ferramenta Árvore de Falhas para diagnosticar tecnicamente todas as anomalias com o objetivo de reduzi-las e auxiliar as equipes de manutenção nas execuções das atividades.

Figura 17- FTA do Sistema de Lubrificação



Fonte: dados da pesquisa

4.6 Plano de ação

De posse dos dados da análise da árvore de falhas do Sistema de Lubrificação do redutor da Sonda – K elaborou-se o seguinte Plano de Ação:

- ✓ Intensificou-se a troca do óleo lubrificante no cárter do redutor, com a finalidade de melhorar o desempenho do lubrificante, retirando com isso as impurezas acumuladas;
- ✓ Foi instalado elemento filtrante na linha de sucção da bomba, com o objetivo de fazer a filtragem do lubrificante antes de ser aplicado no sistema, com isso, evita-se desgaste interno dos retentores da bomba e obstrução do circuito;
- ✓ Instalado visor de fluxo na linha de recalque da bomba, facilitando ao operador a visualização do fluido quando em regime de trabalho;
- ✓ Instalado bastão magneto (imantado) no cárter do redutor com o objetivo de capturar fragmentos metálicos (limalhas) provenientes do sistema rotativo de engrenagens e rolamentos;
- ✓ Instalado instrumento de medição (manômetro) no recalque da bomba para medir a pressão do óleo aplicada ao sistema;

4.7 Comparativo dos indicadores de manutenção do primeiro e segundo períodos após implantação do plano de ação

Os dados da Tabela 03, foram extraídos com base no banco de dados dos ICDs e dos relatórios diários de operação, observa-se uma queda progressiva na disponibilidade e produtividade do equipamento até o mês de julho que compreende o primeiro período de análise, com exceção dos meses de janeiro e fevereiro quando se iniciou o processo de mudança da praça de sondagem, provocando a parada dos equipamentos por motivos dissociados de manutenção.

Após a implantação do plano de ação, a partir do mês de agosto, que compreende o segundo período de análise, houve um aumento progressivo na disponibilidade do equipamento, até novembro, última coleta de dados, demonstrado na tabela abaixo. Os resultados positivos começaram a surgir a partir do momento que mudanças foram feitas no sistema de lubrificação do redutor do equipamento, conforme plano de ação baseado na análise da árvore de falhas.

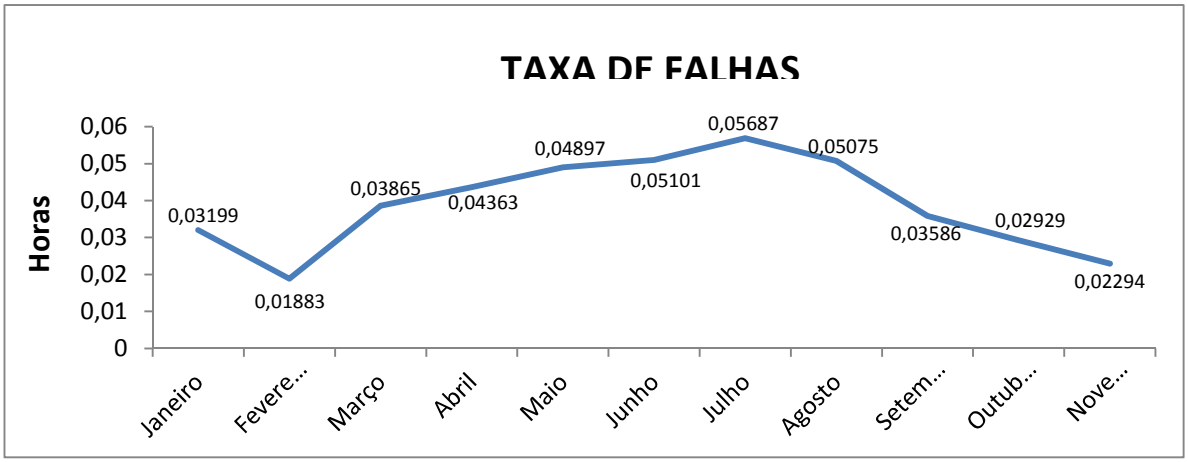
Tabela 03 – Indicadores de manutenção do equipamento (SD-K)

Equipamento Sonda k	Mês	MTBF	MTTR	Taxa falha λ	Disponibilidade
	Janeiro	31,25753	11,66667	0,03199	0,73242
	Fevereiro	53,10025	12,88333	0,01883	0,80474
	Março	25,86667	11,60010	0,03865	0,69039
	Abril	22,91667	18,63333	0,04363	0,55154
	Maio	20,42000	19,58333	0,04897	0,51021
	Junho	19,60056	24,40100	0,05101	0,44545
	Julho	17,58333	31,61667	0,05687	0,35738
	Agosto	19,70300	11,23333	0,05075	0,63685
	Setembro	27,88333	11,11667	0,03586	0,71495
	Outubro	34,13333	10,21667	0,02929	0,76963
	Novembro	40,58333	9,63333	0,02294	0,80816

Fonte: Vale (2011)

A análise dos gráficos evidencia de forma abrangente o comportamento do equipamento no que se refere ao período de estudo destes indicadores de manutenção como demonstrado na tabela acima.

Gráfico 01- Taxa de Falhas do Equipamento Sonda K

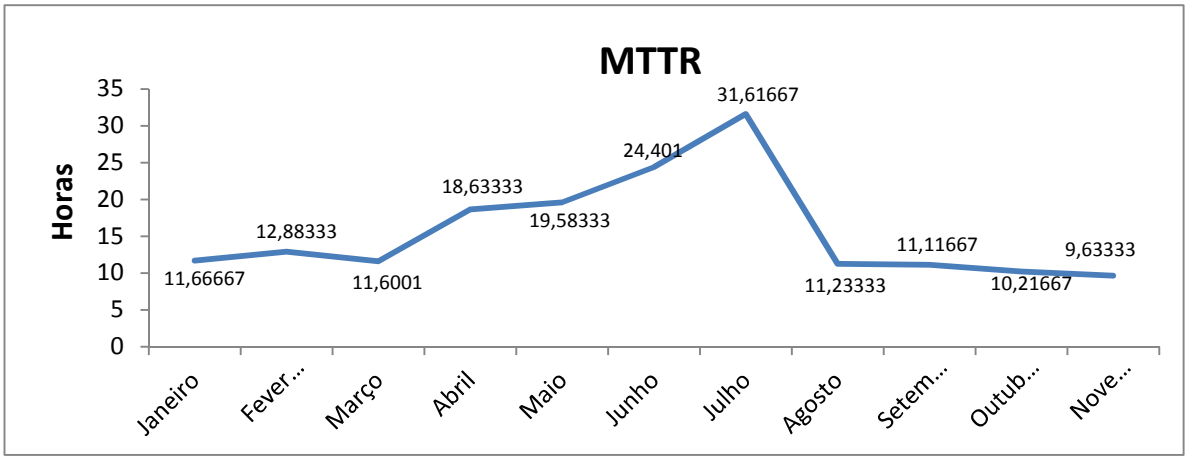


Fonte: dados da pesquisa

Com exceção dos meses de janeiro e fevereiro quando a sonda (K) estava fora do ciclo operacional, ou seja, em processo de mudança de área de pesquisa, a taxa de falhas se manteve crescente entre os meses de março a julho.

Com a análise das anomalias através da ferramenta árvore de falhas, a taxa de falhas começou a cair a partir do mês de agosto, como demonstra o gráfico 01. Isso implicou em um aumento do MTBF e um decréscimo do MTTR uma vez que as ocorrências de não conformidades ficaram mais previsíveis para o setor de manutenção.

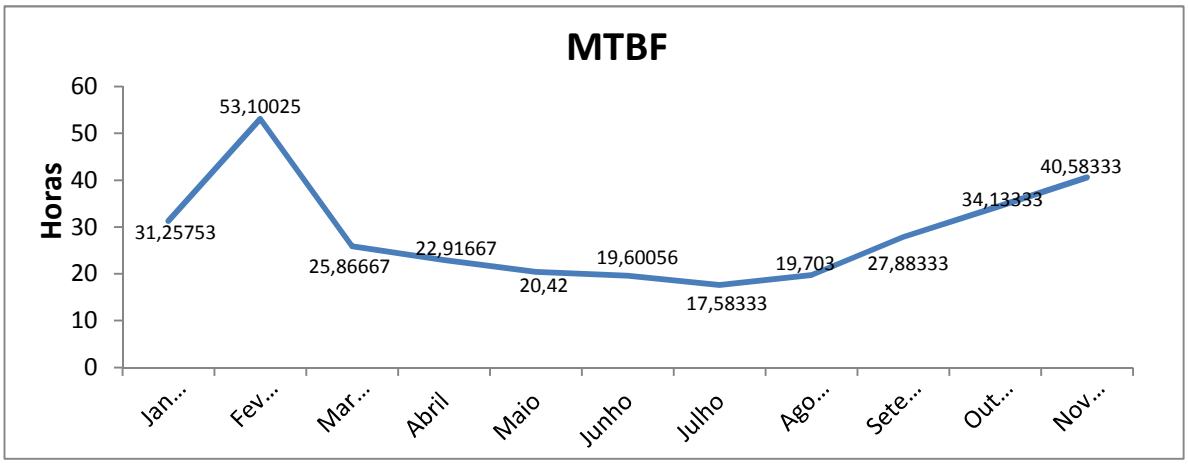
Gráfico 02- Tempo médio de Reparo do Equipamento Sonda K



Fonte: dados da pesquisa

Como demonstra o gráfico acima, o Tempo Médio de Reparo (MTTR) tem seu valor mais alto no mês de julho, admitindo-se que o equipamento passou um tempo maior com a equipe de manutenção na solução das anomalias e, a partir do mês de agosto esse tempo de reparo começou a diminuir. Tal fato é atribuído a uma maior previsibilidade das anomalias pela equipe de manutenção com a implantação do método de análise por diagrama de Árvore de Falhas.

Gráfico 03- Tempo Médio Entre Falhas do Equipamento Sonda K

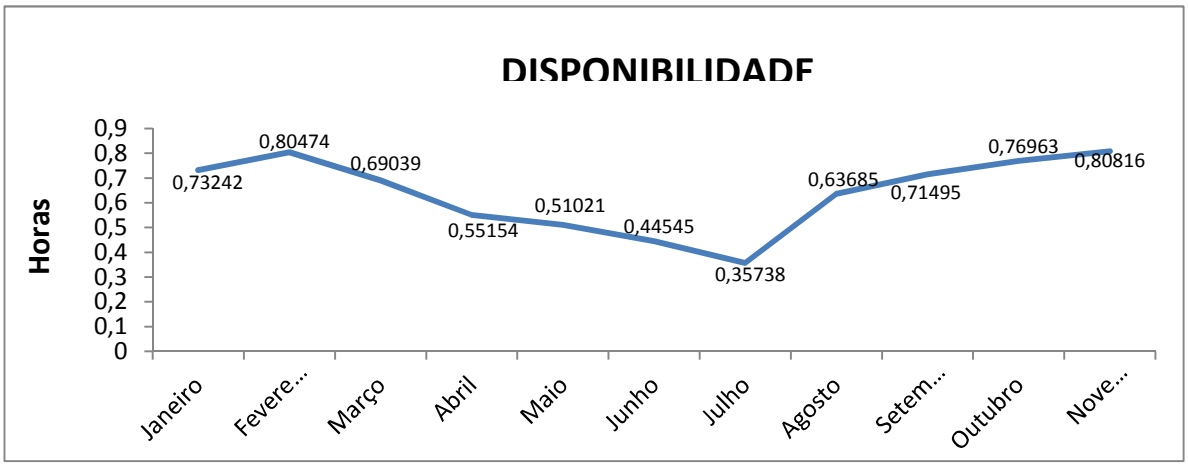


Fonte: dados da pesquisa

Verifica-se uma queda progressiva do Tempo Médio Entre Falhas (MTBF) de março a julho, ou seja, o equipamento apresentou falhas com maior frequência,

elevando os valores de taxas de falhas. A partir do mês de Agosto, com a implantação do método de análise por árvore de falhas, o Tempo Médio Entre Falhas (MTBF) teve aumento significativo, até o mês de Novembro, em que foi realizada a última coleta de dados, saindo de 19,7 h para 40,5h. Com isso a disponibilidade do equipamento para o setor de produção também aumentou, otimizando o processo produtivo.

Gráfico 04- Disponibilidade do Equipamento Sonda K



Fonte: dados da pesquisa

Pode ser observado no gráfico acima que a disponibilidade do equipamento estava em curva descendente até o mês de julho, e a partir do mês seguinte, ocorreu inversão da curva em virtude da implementação de medidas decorrentes da aplicação da ferramenta de análise de árvore de falhas.

Com a disponibilidade favorável, o equipamento permanece por mais tempo em operação aumentando a sua produtividade.

4.8 Indicadores de Desempenho do Equipamento Sonda K

Na tabela 04 estão registrados os dados de metas, produção e produtividade do equipamento Sonda K, esses dados foram retirados dos relatórios diários de produção conforme Anexo 01. Com base nesses valores de meta e produção mensal calculou-se a Produtividade do equipamento conforme equação abaixo.

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Produção mensal (m)}}{\text{Meta mensal (m)}} \times 100 \qquad (5)$$

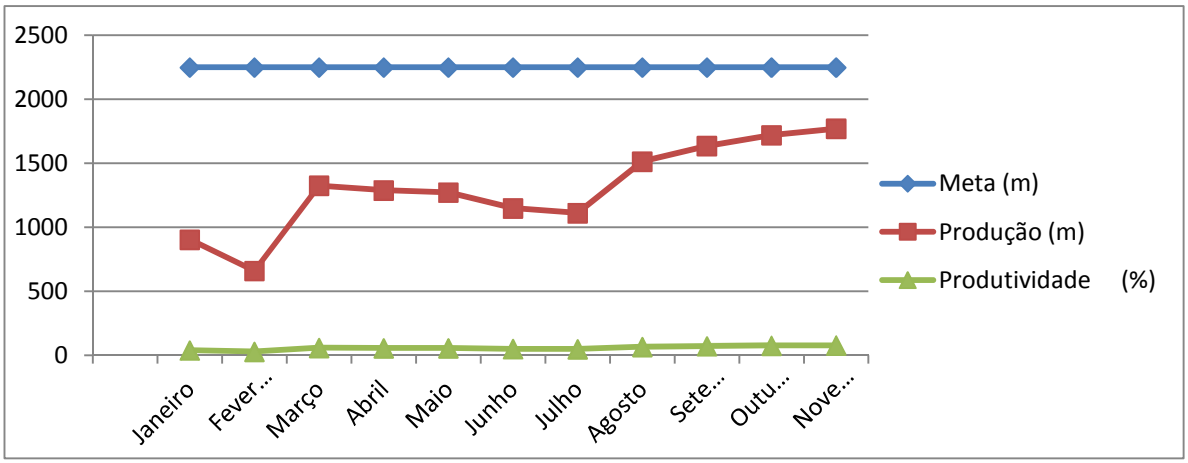
Tabela 04 – Indicadores de Desempenho do equipamento (SD-K)

Equipamento	Mês	Meta (m)	Produção (m)	Produtividade (%)
Sonda k				
	Janeiro	2250	904,8	40,213
	Fevereiro	2250	660,4	29,351
	Março	2250	1326,6	58,96
	Abril	2250	1289,7	57,32
	Maio	2250	1273,3	56,591
	Junho	2250	1150	51,111
	Julho	2250	1112,6	49,448
	Agosto	2250	1514,45	67,308
	Setembro	2250	1636,6	72,737
	Outubro	2250	1720,9	76,484
	Novembro	2250	1771,4	78,728

Fonte: Vale (2011)

É observado na tabela acima que entre os meses de março a julho a produtividade do equipamento se comporta de modo decrescente, neste período o equipamento apresentava falhas significativas no sistema de lubrificação do redutor, afetando assim a sua utilização. Com a aplicação da ferramenta Análise por Árvore de Falhas a partir do mês de agosto, a produtividade foi retomada gradativamente até novembro onde foi realizada a última coleta de dados. Janeiro e fevereiro foi período de mudança de praça, com baixa utilização dos ativos.

Gráfico 05 – Consolidação dos Indicadores de Desempenho (Sonda K)



Fonte: Vale (2011)

O gráfico acima faz uma correlação desses indicadores. Demonstrando uma recuperação satisfatória na produção em metros perfurados, com isso a produtividade também ganha valores significativos quando comparados com o primeiro período de análise.

Os resultados mostram graficamente o comportamento do equipamento antes e depois da aplicação da ferramenta árvore de falhas, evidenciando aumento no desempenho do equipamento para o desenvolvimento de suas atividades. A ferramenta também promoveu subsídios com informações significativas para o setor de manutenção, facilitando a elaboração de futuros planos de manutenção, além de gerar dados confiáveis na investigação de novas anomalias que por ventura venham a ocorrer.

5. CONCLUSÃO

Com este trabalho, verificou-se que as atividades de manutenção continuam se aprimorando e, com isso, novos desafios serão alcançados a partir das metas implantadas dentro das organizações. O estudo bibliográfico possibilitou a constatação de um grande avanço nas técnicas de manutenção acompanhado de mudanças de cultura dentro das organizações em consonância com um cenário globalizado.

A prática adequada das atividades de manutenção vem sendo o caminho mais curto na eliminação das falhas e dos riscos que tanto comprometem a disponibilidade dos ativos de uma pequena empresa até grandes parques industriais. Por outro lado, garantir a disponibilidade desses ativos é, sem dúvida, a melhor maneira de reduzir os custos relacionados com a manutenção e produção, assegurando que os equipamentos ou sistemas não parem em momentos inoportunos comprometendo as metas estabelecidas dentro do setor produtivo.

As análises de falhas através da ferramenta árvore de falhas mostraram o quanto é possível investigar e avaliar, de forma clara e objetiva, a origem de determinadas anomalias, gerando dados mensuráveis, facilitando com isso a atuação do setor de manutenção.

Com a identificação das falhas foi necessário efetuar um procedimento de melhoria para as atividades de manutenção do equipamento através de plano de ação aplicado. Com isso, foram realizadas mudanças no sistema de lubrificação do redutor da Sonda K que proporcionaram ao equipamento uma maior disponibilidade para o ciclo operacional, com maior produtividade e otimização dos custos de manutenção.

É importante salientar que as falhas identificadas nos equipamentos através de ferramentas da qualidade como a árvore de falhas permite, também, avaliar o desempenho da gestão da manutenção. Porém, é fundamental que ocorra mudança de cultura em todos os níveis da organização para permitir o desenvolvimento de melhorias contínuas no processo de manutenção.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-5462:** Confiabilidade e Mantenabilidade. Rio de Janeiro, 1994.

CARRETEIRO E BELMIRO, Ronald P. E Pedro Nelson A. **Lubrificantes e Lubrificação Industrial.** Rio de Janeiro: Interciência: IBP, 2006.

FEDELE, LORENZO: **Metodologias e Técnicas para Avanço da Manutenção.** Londres, 2011.

GIL, **A. C**.: Como Elaborar Projetos de Pesquisa, São Paulo: Atlas, 2002.

LAFRAIA, **J. R. B**.: **Manual de Confiabilidade, Mantenabilidade, e Disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2001.

LAKATOS, **E. M.**: Metodologia do trabalho científico, São Paulo: Atlas, 2001.

MMI- Manual da Manutenção Industrial, 2002. VALE.

NEPOMUCENO, **L. X.**: **Técnicas de Manutenção Preditiva,** Ed. – São Paulo, SP: 1989.

PALADY, **P**.: **FMEA: Análise dos Modos de Falha e Efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram.** São Paulo: IMAM, 1997.

PIAZZA, **G.**: **Introdução à Engenharia de Confiabilidade.** Caxias do Sul: EDUCS, 2000.

PINTO E XAVIER, Alan Kardec e Júlio Aquino Nascif. **Manutenção Função Estratégica,** Qualitymark Editora, 2001.

SIMÕES **F. S.**: **Análise de Árvore de Falhas Considerando Incertezas na Definição dos Eventos Básicos.** Rio de Janeiro, RJ: 2006.

SIQUEIRA, Iony Patriota de. **Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação.** Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2005, 408p.

Manual do SGM: **Sistema de Gerenciamento da Manutenção**, 1994. Vale.

XENOS, Harilaus Georgius d'Philippos. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**, Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2004.

ANEXOS

ANEXO 01 – ÍNDICES DE CONTROLE DE DISPONIBILIDADE (ICD)

Data Inicial	Hora Inicial	Hora Final	Tipo de Parada	Descrição	Duração	Sonda	Ordem
12/01/2011	15:50	18:00	Mecânica	Corret. Mecânica	2:10	Sonda K	2
13/01/2011	18:30	21:50	Mecânica	Corret. Mecânica	3:20	Sonda K	2
15/01/2011	6:20	16:40	Mecânica	Corret. Mecânica	10:20	Sonda K	2
19/01/2011	1:20	12:00	Mecânica	Corret. Mecânica	10:40	Sonda K	2
19/01/2011	17:20	18:00	Mecânica	Corret. Mecânica	0:40	Sonda K	2
20/01/2011	20:50	6:00	Mecânica	Corret. Mecânica	9:10	Sonda K	2
22/01/2011	14:40	6:00	Mecânica	Corret. Mecânica	15:20	Sonda K	2
22/01/2011	0:00	2:00	Mecânica	Corret. Mecânica	2:00	Sonda K	2
22/01/2011	2:30	3:00	Mecânica	Corret. Mecânica	0:30	Sonda K	2
23/01/2011	12:00	18:00	Mecânica	Corret. Mecânica	6:00	Sonda K	2
23/01/2011	7:00	7:40	Mecânica	Corret. Mecânica	0:40	Sonda K	2
24/01/2011	2:00	4:20	Mecânica	Corret. Mecânica	2:20	Sonda K	2
26/01/2011	14:10	15:40	Mecânica	Corret. Mecânica	1:30	Sonda K	2
07/02/2011	13:50	14:30	Mecânica	Corret. Mecânica	0:40	Sonda K	2
13/02/2011	9:50	13:40	Mecânica	Corret. Mecânica	3:50	Sonda K	2
14/02/2011	21:50	22:40	Mecânica	Corret. Mecânica	0:50	Sonda K	2
16/02/2011	18:20	18:50	Mecânica	Corret. Mecânica	0:30	Sonda K	2
22/02/2011	19:00	24:00	Mecânica	Corret. Mecânica	5:00	Sonda K	2
22/02/2011	15:30	18:00	Mecânica	Corret. Mecânica	2:30	Sonda K	2
23/02/2011	0:40	18:00	Mecânica	Corret. Mecânica	17:20	Sonda K	2
23/02/2011	23:00	24:00	Mecânica	Corret. Mecânica	1:00	Sonda K	2
24/02/2011	4:00	4:30	Mecânica	Corret. Mecânica	0:30	Sonda K	2
25/02/2011	2:40	12:00	Mecânica	Corret. Mecânica	33:20	Sonda K	2
26/02/2011	18:00	24:00	Mecânica	Corret. Mecânica	6:00	Sonda K	2
27/02/2011	11:00	18:00	Mecânica	Corret. Mecânica	7:00	Sonda K	2
20/03/2011	18:00	20:40	Mecânica	Corret. Mecânica	2:40	Sonda K	2
20/03/2011	0:00	1:30	Mecânica	Corret. Mecânica	1:30	Sonda K	2
20/03/2011	7:20	8:20	Mecânica	Corret. Mecânica	1:00	Sonda K	2
23/03/2011	10:30	18:00	Mecânica	Corret. Mecânica	7:30	Sonda K	2
23/03/2011	6:20	9:40	Mecânica	Corret. Mecânica	3:20	Sonda K	2
24/03/2011	4:10	6:00	Mecânica	Corret. Mecânica	1:50	Sonda K	2
26/03/2011	12:20	18:00	Mecânica	Corret. Mecânica	5:40	Sonda K	2
27/03/2011	12:00	17:00	Mecânica	Corret. Mecânica	5:00	Sonda K	2

Fonte: VALE (2011)

ANEXO 02 – RELATÓRIO DE OPERAÇÃO DE SONDAGEM - FRENTE

RELATÓRIO DE OPERAÇÃO DE SONDAGEM

PRAÇA DA SONDA	FURO	TURMA	TURNO	PRODUÇÃO METROS			DATA
				INICIAL	FINAL	TOTAL	
							____/____/____

TEMPO		EQUIPAMENTO	CÓDIGO	DESCRIÇÃO
INÍCIO	TÉRMINO			

COMENTÁRIO TÉCNICO			EQUIPE			
INFORME			NOME	PRESENTE	AUSENTE	MOTIVO
COROA	ESTABILIZADOR					
	DESCER	SUBIR				

TÉC. FRENTE	SUPERVISOR	COORDENADOR	DIGITAÇÃO

Fonte: VALE (2011)

ANEXO 03 – RELATÓRIO DE OPERAÇÃO DE SONDAGEM - VERSO

LISTA DE CÓDIGOS DE PARADA

PROBLEMAS EM EQUIPAMENTOS	Código Geral Não Identificado	Mecânico	Elétrico	Operacional	Mobilização	Preventiva	Inspeção	Gaosk (Almoxarifado)	Ventilação Principal	Outro Problemas Com Equipamentos
GAEXK										
Sonda	00	01	02	03	04	05	06	07	XX	09
Bomba mt200	10	11	12	13	14	15	16	17	XX	19
GATIK										
Refrigeração / Ventilação	60	61	62	63	64	65	XX	XX	68	69
Sistema Elétrico	70	XX	72	73	74	75	XX	XX	XX	79
Poços	80	81	82	83	xx	85	86	xx	xx	89

PROBLEMAS DIVERSOS		
Apoio	90	Apoio e Limpeza da Sonda / Colocação de Dutos
Equipamento Auxiliar	100	Falta de Equipamento para Limpeza
Transporte de Pessoal	110	Falta de Transporte de Pessoal
CLT	140	Descanso Legal
Ag. Instrução de Trabalho	150	Operacional
Manobrando	160	Retirando ou Colocando ferramenta (Haste)
Ancoragem	170	Ancorando Revestimento e Aguardando Cura
Troca de Turno	180	Atraso em Troca de Turno
Lubrificação	190	Preventiva e Corretiva
Falta de Pessoal	200	Falta de Pessoal para Operação
Mobilização	210	Mobilização da Praça de sondagem
Outros	220	Outros não Ligados à Equipamentos
Perfilagem	230	Perfilagem ou Aguardando Resultado
Pescaria	240	Pescaria

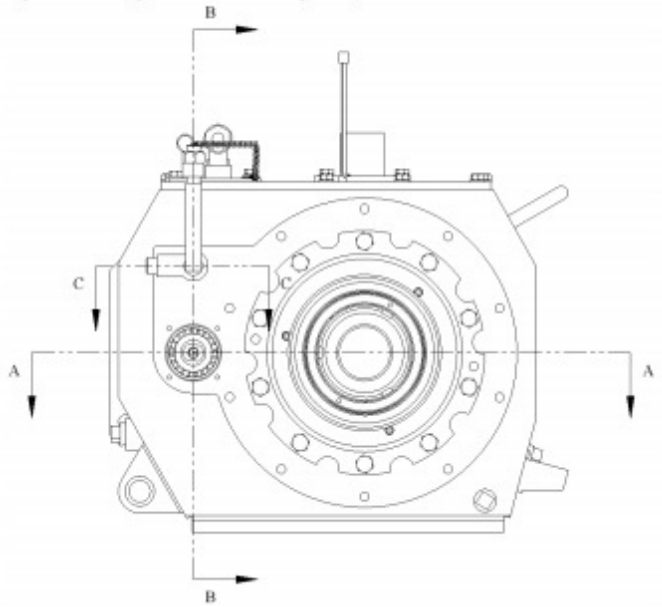
COMENTÁRIO DO GERENTE TÉCNICO:

Fonte: VALE (2011)

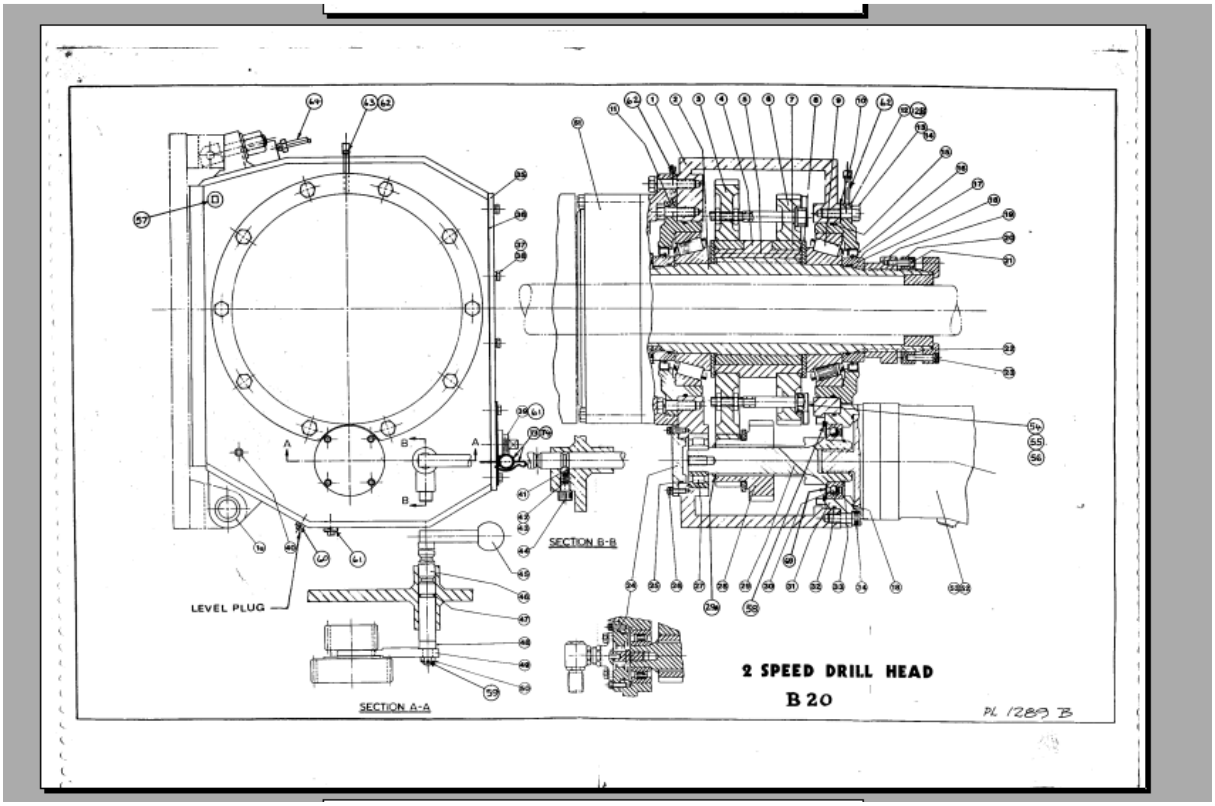
ANEXO 04 – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO REDUTOR

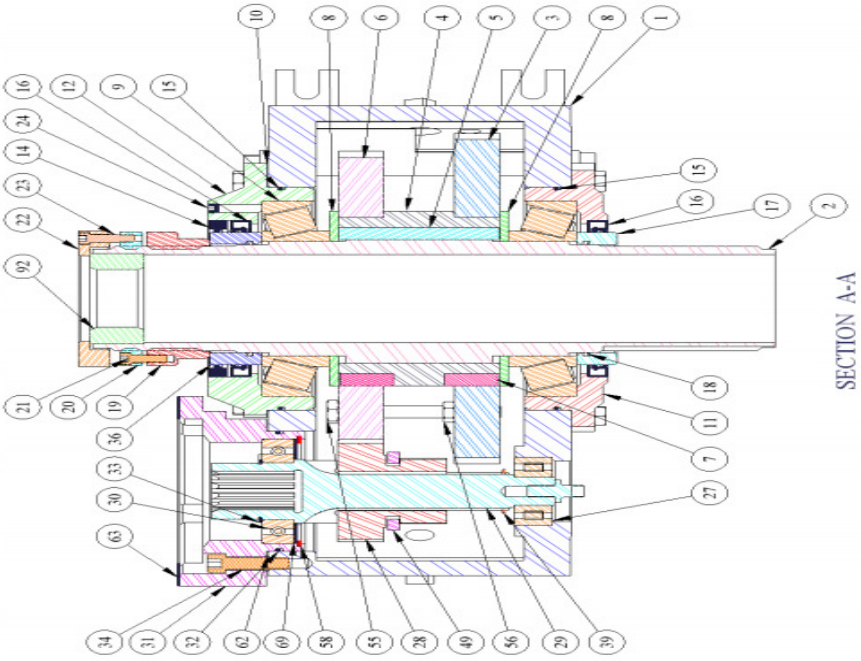
ITEM	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY
71	5119203	HHCS 3/4 - 10 UNC x 2 LG	4
73	2920428	SHIFTER LEVER GUIDE	1
74	2920430	HITCH PIN CLIP ASSY	1
75	5170910	NYLON LOCKNUT 5/8 - 11 UNC	1
81	5200128	1/4 NPT PIPE PLUG	2
83	5180069	3/4 DOWTY SEALED WASHER	1
85	2920476	MAGNETIC SENSOR - 7" LEAD	1
86	2925468	TACH PICKUP GUARD	1
88	5200816	1/8 GREASE FITTING	1
91	5020126	BUSHING	2
*92	3506911	SPINDLE BUSHING - JKT/AW/AO ROD, EW CASING	1
	3506913	SPINDLE BUSHING - BW/BWL/BO ROD, AW CASING	
	3506915	SPINDLE BUSHING - NW ROD	
	3506916	SPINDLE BUSHING - NWL/NO ROD	
	3506917	SPINDLE BUSHING - BW CASING	
93	5202615	HOOK SPANNER	1

*NOTE: Item #92 - Spindle Bushing must be ordered seperately



Fonte: VALE (2011)


LEVEL PLUG
SECTION A-A
SECTION B-B
2 SPEED DRILL HEAD
B 20
PL 1289 B


SECTION A-A