



**FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO E NEGÓCIOS DE SERGIPE - FANESSE**  
**CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**LUIZ FERNANDO BRITO SANTOS**

**MANUTENÇÃO ORIENTADA PARA O NEGÓCIO: ANÁLISE DE**  
**CONFIABILIDADE EM UNIDADE DE PERFURAÇÃO DE SONDA DA MINA DA**  
**VALE EM SERGIPE**

**ARACAJU**  
**2020**

**LUIZ FERNANDO BRITO SANTOS**

**MANUTENÇÃO ORIENTADA PARA O NEGÓCIO: ANÁLISE DE  
CONFIABILIDADE EM UNIDADE DE PERFURAÇÃO DE SONDA DA MINA DA  
VALE EM SERGIPE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Engenharia de Produção da Fanese  
como requisito parcial e obrigatório para a  
obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia de  
Produção.

Orientador: Prof. Dr. Eudes de Oliveira Bomfim

**ARACAJU  
2020**

S237m SANTOS, Luiz Fernando Brito

Manutenção orientada para o negócio Análise de confiabilidade em unidade de perfuração de sonda da mina da Vale em Sergipe / Luiz Fernando Brito Santos; Aracaju, 2020. 73p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe. Coordenação de Engenharia de Produção.

Orientador(a) : Prof. Dr. Eudes de Oliveira Bomfim.

1. Desempenho 2. Manutenção 3. Performance 4. Performance.

658.581:658.567(813.7)

**LUIZ FERNANDO BRITO SANTOS**

**MANUTENÇÃO ORIENTADA PARA O NEGÓCIO: ANÁLISE DE  
CONFIABILIDADE EM UNIDADE DE PERFURAÇÃO DE SONDA DA MINA  
DA VALE EM SERGIPE**

Monografia apresentada à Coordenação do curso de Engenharia de Produção da FANESE, como requisito parcial e elemento obrigatório para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Produção, no período de 2020.1.

**Aprovado (a) com média: 9,5**



---

**Prof. Dr. Eudes de Oliveira Bomfim**  
1º Examinador (Orientador)

---

**Profa. Dra. Heloísa Thais Rodrigues de Souza**  
2º Examinadora

---

**Prof. Esp. Williams Alves Azevedo**  
3º Examinador

**Aracaju (SE), 10 de junho de 2020.**

## **AGRADECIMENTOS**

A realização deste trabalho só foi possível graças:

A Deus, por tudo que ele tem me proporcionado nesta vida.

À FANESE pelos ensinamentos adquiridos naquela instituição que me capacitou na realização deste trabalho.

À Vale, empresa que me recebeu como estagiário para que eu pudesse preencher mais este requisito necessário à minha formação acadêmica.

Ao meu orientador de estágio na Vale, Olavo Pinto, pela oportunidade e apoio incondicionais.

Ao meu orientador, professor Eudes Bomfim, pela ajuda na elaboração deste trabalho, pelas dicas e pelo seu profissionalismo.

A minha família, pelo apoio e compreensão em todos os momentos desta jornada.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

Atualmente a manutenção está passando por mais uma evolução e nesta nova fase as empresas estão assimilando as boas práticas e a utilização de sistemas de informação de alto desempenho, nos quais são gerados dentre outros, indicadores que balizam a confecção de planos de manutenção. E mesmo estando em evolução, continua a serviço das organizações, dando sua contribuição para manter o processo produtivo funcionando, de maneira satisfatória, contribuindo para agregar mais valor, na conservação e melhoria dos seus ativos. O presente trabalho foi desenvolvido usando-se os conceitos mais atuais para uma melhor gestão e tratamento de falhas e baseado em uma aplicação prática num equipamento de uma mineradora no estado de Sergipe. O trabalho teve como objetivo avaliar os ganhos de um modelo de manutenção baseado na análise da confiabilidade e disponibilidade na operação de sondagem, motivado pela busca de redução de custos e aumento da utilização e disponibilidade dos equipamentos. Foram observadas perdas operacionais em função das falhas e propostas melhorias. Apesar dos resultados se apresentarem satisfatórios, a consolidação do novo modelo de gestão da manutenção depende de mudança cultural, com o uso contínuo das ferramentas de análise de falhas e ferramentas da qualidade, além de um banco de dados confiável. A gestão da manutenção voltada para a confiabilidade, a produtividade e a redução de custos, utilizando-se de indicadores confiáveis na geração de um banco de dados valioso, mostra resultados satisfatórios.

Palavras-Chave: Desempenho, Manutenção, Performance.

## **ABSTRACT**

Currently, maintenance is undergoing yet another evolution and in this new phase, companies are assimilating good practices and the use of high performance information systems, in which, among others, indicators are generated that guide the preparation of maintenance plans. And even though it is evolving, it continues to be of service to organizations, making its contribution to keeping the production process running, in a satisfactory manner, contributing to add more value, in the conservation and improvement of its assets. The present work was developed using the most current concepts for a better management and treatment of failures and based on a practical application in equipment of a mining company in the state of Sergipe. The work aimed to evaluate the gains of a maintenance model based on the analysis of reliability and availability in the drilling operation, motivated by the search for cost reduction and increased use and availability of equipment. Operational losses were observed due to the failures and proposed improvements. Although the results are satisfactory, the consolidation of the new maintenance management model depends on cultural change, with the continuous use of failure analysis tools and quality tools, in addition to a reliable database. Maintenance management focused on reliability, productivity and cost reduction, using reliable indicators in the generation of a valuable database, shows satisfactory results.

Keywords: Performance, Maintenance, Performance.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 - Estrutura da manutenção centralizada</b>	<b>14</b>
<b>Figura 2 – Estrutura da manutenção descentralizada</b>	<b>15</b>
<b>Figura 3 – Enfoque da manutenção</b>	<b>16</b>
<b>Figura 4 – Resultados x Tipos de manutenção</b>	<b>17</b>
<b>Figura 5 – Questionamentos da manutenção</b>	<b>18</b>
<b>Figura 6 – Manutenção corretiva não planejada</b>	<b>20</b>
<b>Figura 7 – Manutenção preventiva</b>	<b>21</b>
<b>Figura 8 – Manutenção preditiva</b>	<b>23</b>
<b>Figura 9 – Enfoque moderno da manutenção</b>	<b>25</b>
<b>Figura 10 – Curva da banheira</b>	<b>26</b>
<b>Figura 11 – Curva normal</b>	<b>28</b>
<b>Figura 12 – Exemplo de Diagrama de Ishikawa</b>	<b>36</b>
<b>Figura 13 – Tempo Médio entre Falhas MTBF</b>	<b>40</b>
<b>Figura 14 – Localização da UOTV</b>	<b>43</b>
<b>Figura 15 – Fluxograma operacional do subsolo</b>	<b>44</b>
<b>Figura 16 – Modelo de mapa de painel de lavra</b>	<b>46</b>
<b>Figura 17 – Foto das mangueiras conectando as unidades</b>	<b>47</b>
<b>Figura 18 – Unidades das sondas</b>	<b>48</b>
<b>Figura 19 – Unidade de perfuração</b>	<b>49</b>
<b>Figura 20 – Maiores paradas da sondagem</b>	<b>53</b>
<b>Figura 21 – Vista lateral conjunto mandril e morsa</b>	<b>54</b>
<b>Figura 22 – Mandril e redutor vazamento</b>	<b>55</b>
<b>Figura 23 – Bloco e válvula do mandril</b>	<b>60</b>
<b>Figura 24 – Vista explodida do mandril</b>	<b>61</b>
<b>Figura 25 – Sistema SAP</b>	<b>63</b>
<b>Figura 26 – Diagrama Ishikawa para efeito vazamento</b>	<b>65</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 – Perda financeira com as paradas</b>	<b>57</b>
<b>Tabela 2 – Dados para MTBF e MTTR</b>	<b>58</b>
<b>Tabela 3 – Cálculo de MTBF e MTTR mandril</b>	<b>58</b>
<b>Tabela 4 – Cálculo da confiabilidade do mandril</b>	<b>59</b>

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1 – Ficha de modelo FMEA</b>	<b>31</b>
<b>Quadro 2 – O MASP e suas ferramentas</b>	<b>33</b>
<b>Quadro 3 – Ciclo PDCA</b>	<b>34</b>
<b>Quadro 4 – Exemplo de Plano de Ação</b>	<b>37</b>
<b>Quadro 5 – Banco de dados usado na pesquisa</b>	<b>52</b>
<b>Quadro 6 – Banco de dados com filtro operacional</b>	<b>56</b>
<b>Quadro 7 – Banco de dados orçado produção sonda</b>	<b>57</b>
<b>Quadro 8 – Resultado FMEA modo de falha vazamento</b>	<b>62</b>
<b>Quadro 9 – Resultado do <i>Brainstorming</i></b>	<b>64</b>
<b>Quadro 10 – Técnica dos 5 Porquês na sondagem</b>	<b>66</b>
<b>Quadro 11 – Plano de ação de bloqueio</b>	<b>67</b>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>12</b>
2.1 Manutenção	12
2.1.1 Conceitos de manutenção	12
2.1.2 Evolução histórica da manutenção	13
2.1.3 Tipos de manutenção	19
2.1.3.1 Manutenção Corretiva não Planejada	19
2.1.3.2 Manutenção Corretiva Planejada	20
2.1.3.3 Manutenção Preventiva	21
2.1.3.4 Manutenção Preditiva	22
2.1.3.5 Engenharia de Manutenção	24
2.2 Confiabilidade	25
2.2.1 Estatística da confiabilidade	27
2.3 Disponibilidade	28
2.4 Produtividade	29
2.5 Análise do modo e efeito de falhas – FMEA	29
2.6 Método de análise e solução de problemas – MASP	32
2.6.1 PDCA	33
2.6.2 <i>Brainstorming</i>	35
2.6.3 Diagrama de causa e efeito	35
2.6.4 Técnica dos “5 Porquês”	36
2.6.5 Plano de ação	37
2.7 Indicadores	37
2.7.1 Utilização de Mão de Obra	38
2.7.2 Aderência à Programação	38
2.7.3 Custo Horário de Manutenção	39
2.7.4 Tempo Médio Entre Falhas - MTBF	39
2.7.5 Tempo Médio para Reparo - MTTR	40
<b>3 METODOLOGIA</b>	<b>42</b>
3.1 Caracterização da área de estudo e abordagem da pesquisa	42
3.2 Etapas do desenvolvimento do trabalho	49
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>51</b>
4.1 Preparação e Tratamento dos Dados	51
4.2 Análise de Falhas e da Confiabilidade	58
<b>5 CONCLUSÕES</b>	<b>69</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>70</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A área de manutenção das empresas durante muito tempo foi vista somente como um centro de custos, com impactos diretos e indiretos nos meios de produção. Com o advento da globalização, o aumento da competitividade nas empresas e o poder de negociação dos clientes e consumidores, fizeram com que as empresas buscassem na manutenção não somente uma fonte de redução de custos (materiais e mão de obra), mas também aumento de desempenho (disponibilidade, qualidade e atendimento) (TAVARES, 2005).

Esses fatores são primordiais para se entender que o maior custo que a manutenção insere numa empresa não é pela compra de materiais, investimento em novos equipamentos ou pela mão de obra, mas sim pelas horas paradas de equipamentos, pela falta de controle e qualidade nos produtos, ou pelo não atendimento de prazos para com os clientes.

Por isso, a implantação de um sistema confiável de manutenção para máquinas e equipamentos é de fundamental importância para empresas que possuem altas escalas e/ou valor agregado na sua produção. A Companhia Vale, em sua unidade em Sergipe, decidiu atuar na sua área de manutenção utilizando alguns indicadores reconhecidos como de classe mundial, objetivando melhorar o controle do seu processo produtivo, evitando paradas inesperadas e não programadas, aumentando a sustentabilidade do negócio. Nesse sentido, a presente pesquisa traz o seguinte questionamento: **Como aumentar a disponibilidade e reduzir os tempos de falhas na manutenção das sondas da Vale na Unidade Operacional Taquari Vassouras (UOTV) em Sergipe?**

Diante do exposto, o objetivo geral do presente estudo foi avaliar os ganhos de um modelo de manutenção em máquinas e equipamentos da sondagem na mina de Taquari Vassouras em Sergipe, operada pela Vale na extração de potássio, baseado na confiabilidade e disponibilidade, com a tecnologia adequada. Para tanto foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- ✓ Levantar o histórico das manutenções na sondagem subterrânea.
- ✓ Aplicar técnicas e ferramentas na análise e estudo das falhas (FMEA).
- ✓ Utilizar na gestão da manutenção o método MASP (Metodologia de Análise e Solução de Problemas) para identificação e solução das causas das falhas.

O sistema confiável de manutenção permite um acompanhamento contínuo das condições de máquinas e equipamentos de um processo industrial, proporcionando rapidez nos diagnósticos e na execução, gerando economia para as empresas e aumentando o padrão de qualidade no processo produtivo. Esse conjunto de vantagens permite ao corpo gerencial da empresa tomar decisões mais acertadas sobre assuntos que podem comprometer a competitividade.

Uma boa gestão dos ativos por meio da manutenção está voltada para o aumento da disponibilidade dos equipamentos que afetam o processo produtivo da Mina Subterrânea de Potássio da Unidade Operacional Taquari Vassouras, em Rosário do Catete, SE. Por meio do uso de indicadores e de ferramentas adequadas é possível um acompanhamento mais aproximado do processo produtivo, tanto na área operacional como na de manutenção.

A presente pesquisa apresenta estratégias e práticas de manutenção que possibilita uma melhor gestão dos equipamentos, mais especificamente das sondas de perfuração utilizadas pela Vale em Sergipe.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

As organizações industriais existem em função do lucro, fazendo uso de equipamentos e mão-de obra para transformar materiais ou insumos de algum valor em produtos acabados ou semiacabados de maior valor.

As atividades executadas pelas equipes de manutenção aumentam o desempenho e a disponibilidade dos equipamentos para a operação. Os custos de produção também são acrescidos com a contribuição da manutenção. Maximizar a rentabilidade da empresa com disponibilidades cada vez mais altas é o grande desafio da área de manutenção.

O presente trabalho se fundamenta nas técnicas de manutenção com uso de indicadores e ferramentas adequadas visando uma melhoria no processo produtivo atual, evitando erros e aproveitando oportunidades.

### **2.1 Manutenção**

#### **2.1.1 Conceitos de manutenção**

A manutenção é conhecida no meio industrial como um conjunto de ações padronizadas objetivando a conservação dos ativos e aumento da disponibilidade no processo produtivo. Num conceito mais moderno, garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender um processo de produção e a preservação do meio ambiente, com confiabilidade, segurança e custos adequados (PINTO; XAVIER, 2003).

A manutenção pode ser definida, de acordo com a ABNT NBR 5462, como 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.

Para Cícero (2009), a manutenção tem de estar subordinada a objetivos claramente definidos e coerentes com os objetivos globais da empresa. Para isso deve desenvolver-se alinhada com os seguintes pilares:

- ✓ **Segurança:** A segurança (das pessoas, dos equipamentos, da comunidade, etc.) deve ser uma referência onipresente e inegociável.

- ✓ **Qualidade:** Um dos objetivos da Manutenção é conseguir o melhor rendimento das máquinas, um mínimo de defeitos de produção, melhores condições de higiene e melhor tratamento do meio ambiente.
- ✓ **Custo:** A manutenção procura soluções que minimizem os custos globais, custos próprios e de terceiros, contribuindo para a lucratividade da empresa.
- ✓ **Disponibilidade:** Disponibilizar para a operação os equipamentos o máximo de tempo possível, reduzindo as intervenções e avarias e prolongando a vida útil dos ativos.

### **2.1.2 Evolução histórica da manutenção**

Segundo Tavares (2005), a evolução da manutenção é confundida com a história da industrialização. As necessidades dos primeiros reparos surgiram no final do século XIX com o advento da mecanização das indústrias. No início do século XX a manutenção era realizada pelo próprio pessoal da operação, pois, essa atividade não era considerada relevante para as indústrias.

Henry Ford, no início do século XX provocou, com sua Revolução Administrativa e Industrial, uma sistematização dos processos de produção que passaram a obedecer alguns programas mínimos (produção em série) de prazo que atendessem um mercado que era crescente. Com isso houve a necessidade de se criar equipes de manutenção corretiva, subordinadas à operação, com o intuito de reduzir o tempo que as máquinas ficavam paradas por falhas recorrentes (TAVARES, 2005).

Com a necessidade do aumento da produção e com a segunda guerra mundial surgiram as primeiras preocupações em evitar que as falhas ocorressem, e dessa forma começaram a surgir as equipes de manutenção preventiva que, juntamente com as equipes de corretiva, passaram a ter importância similar às equipes de operação (LAFRAIA, 2001)

Na década de 1950 os gerentes de manutenção perceberam que havia a necessidade de criar uma nova equipe que desenvolvesse padrões de execução de manutenção, com o intuito de reduzir o tempo e melhorar a qualidade dos diagnósticos e de execução da manutenção, essa necessidade resultou nas primeiras equipes de engenharia de manutenção, que já na década de 60, passou a desenvolver critérios de predição ou previsão de falhas visando a melhoria da qualidade da manutenção (TAVARES, 2005).

Para Pinto e Xavier (2003), a estrutura da manutenção nas empresas têm aspectos distintos em função das atividades que lhe são pertinentes. Esta estrutura pode variar um pouco de uma empresa para outra, mas de uma maneira geral, apresentam-se de três formas: Manutenção Centralizada tipo em Linha, Manutenção Descentralizada Matricial e Mista.

A estrutura de Manutenção Centralizada tipo em Linha apresenta uma hierarquia mais verticalizada e convencional. Nesse modelo o número de cargos hierárquicos é maior, favorecendo uma estrutura mais cara para a empresa. Por outro lado, temos um nível de especialização maior das equipes de manutenção e um tempo de resposta menor às solicitações de intervenção.

A Figura 1 ilustra o modelo de Estrutura de Manutenção centralizada tipo em Linha.

**Figura 1: Estrutura de Manutenção Centralizada**

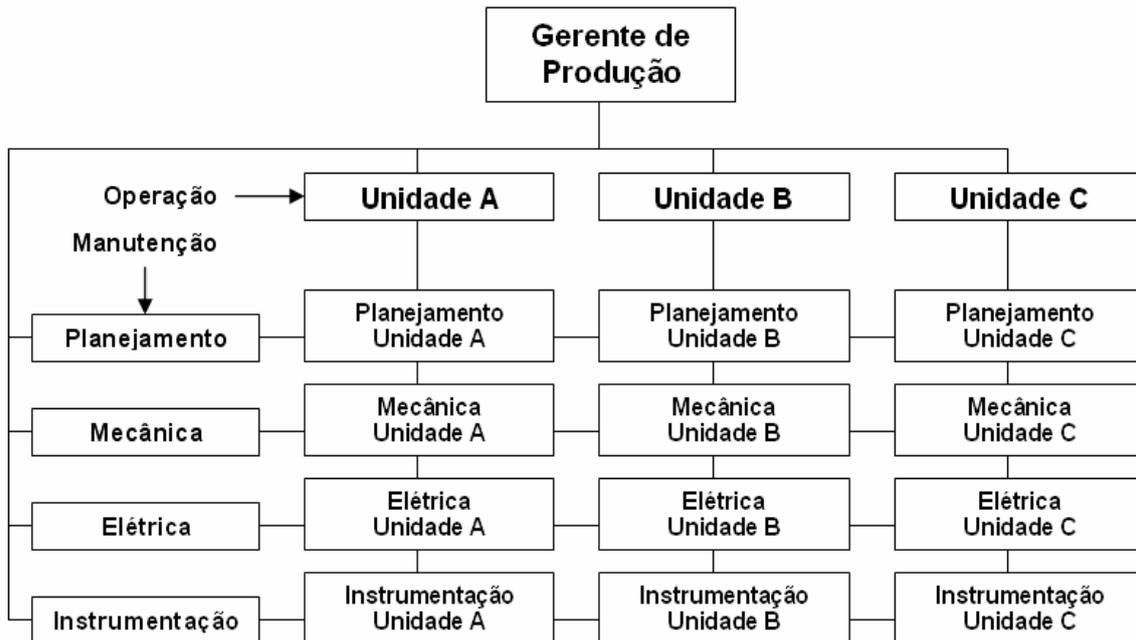


Fonte: Moura; Cícero (2009).

A estrutura de Manutenção Descentralizada Matricial apresenta uma estrutura hierárquica menos verticalizada e menos cara para a empresa. Pode-se ter, no entanto, uma tendência em sobre dimensionar as equipes e aumentar a burocracia dentro dos processos da manutenção.

A Figura 2 a seguir ilustra o modelo de Estrutura de Manutenção descentralizada tipo Matricial.

**Figura 2: Estrutura de Manutenção Descentralizada**



Fonte: Moura e Cícero (2009)

A estrutura de manutenção tipo Mista apresenta características dos modelos em Série e Matricial. Neste modelo, as empresas aproveitam melhor as vantagens que as duas estruturas oferecem, adaptando a situações ou períodos. Em regime normal adotam o modelo Descentralizado Matricial com seus times de manutenção, minimizando os custos. Quando ocorrem grandes paradas em suas plantas, adotam o modelo em Série, mais eficiente e adequado para ser utilizado nestas ocasiões.

Durante muito tempo as empresas, principalmente as ocidentais, buscavam simplesmente obter de seus ativos a maior rentabilidade possível (TAVARES, 2005).

Ainda segundo Tavares (2005), com o crescimento da indústria oriental em meados da década de 80, os consumidores começaram a perceber e exigir mais qualidade dos produtos, e estas exigências fizeram com que muitas empresas começassem a buscar padrões de qualidade com a expectativa de se manterem competitivas.

Além disso, desde 1975, a Organização das Nações Unidas (ONU) já considerava que a atividade fim das organizações é definida como “Produção = Operação + Manutenção”, logo a redução de paradas e do tempo de reparo dos equipamentos que afetam a operação são fatores essenciais para garantia de qualidade de produtos e serviços dentro de padrões pré-definidos.

A manutenção tinha como missão manter ou restabelecer as condições de operação de um equipamento, e por isso sempre foi considerado como um centro de custos para as empresas.

A Figura 3 apresenta a mudança no enfoque da manutenção quando se compara o ontem com o hoje e o futuro. Na figura, a visão do ontem da manutenção representava um universo restrito às equipes, estas preocupadas apenas com os reparos. Na visão atual a manutenção também participa das estratégias das empresas, pela sua importância na disponibilidade operacional e na redução de custos.

**Figura 3: Enfoque da Manutenção**

<b>ONTEM</b>	<b>HOJE - FUTURO</b>
 <b>EFICIÊNCIA</b>	 <b>EFICÁCIA</b>
<b>Reparar o equipamento o mais rápido possível</b>	<b>Manter o equipamento disponível para operar</b>
<b>Preocupação limitada à Manutenção</b>	<b>Preocupação com a Empresa</b>
	

Fonte: Pinto e Xavier (1998)

Segundo Tavares (2005), no contexto atual, a manutenção tem como missão garantir a disponibilidade operacional, com equipamentos que atendam o volume de produção, com a qualidade exigida pelo mercado, preservando o meio ambiente, à segurança das pessoas e dos ativos da empresa, contribuindo com a perpetuidade e com o aumento da riqueza dos acionistas. A busca pela vantagem competitiva tem mostrado que os custos da manutenção ainda não estão plenamente controlados havendo, portanto muitas oportunidades de melhorias (metas).

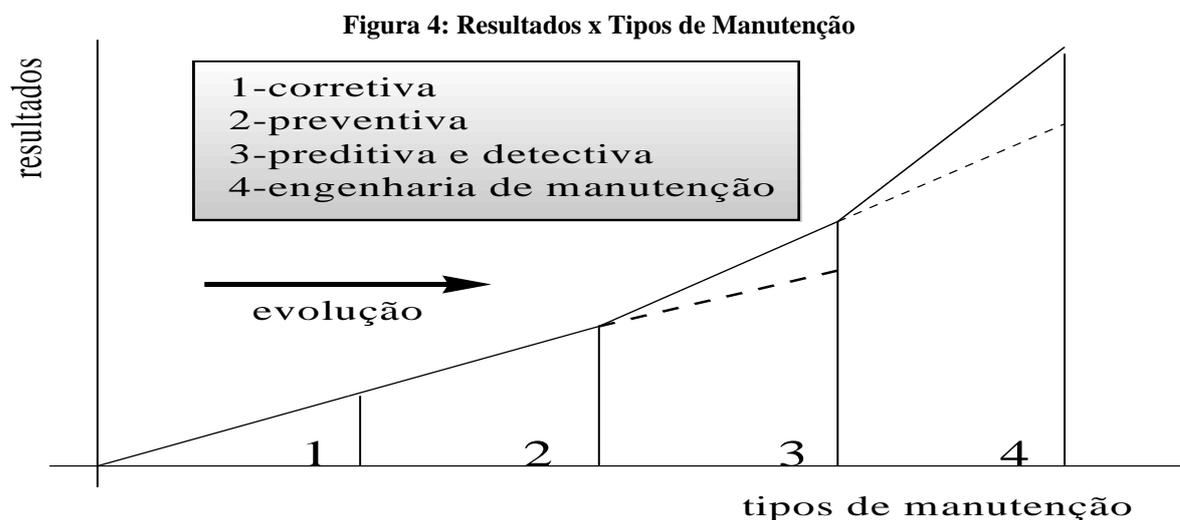
Para que essas metas sejam alcançadas é necessário que as empresas busquem no seu modelo de gerenciamento o conhecimento e a implementação das melhores práticas de manutenção de forma eficaz e rápida, pois, se a implantação na sua empresa for muito lenta não trará o retorno que o acionista espera do conjunto de sua organização.

O nível de organização da manutenção no Brasil reflete as particularidades do nível de desenvolvimento industrial ao qual a organização se encontra inserida.

Os investimentos nas atividades de grande porte, seja na indústria ou na prestação de serviços, são fatores recentes de, aproximadamente, duas décadas. Se por um lado tem-se um parque industrial antigo, fruto dos tempos de um mercado fechado, por outro lado temos o retrato de um parque fabril que recebeu investimentos pesados na busca da competitividade global (TAVARES, 2005).

Em linhas gerais, não basta investir e implantar um sistema produtivo eficiente; é necessário que o tempo de utilização anual do sistema seja o maior possível, com o menor custo de operação e manutenção, assegurando a confiabilidade e segurança desejada até o produto final. A organização da manutenção compreende o planejamento e a administração dos recursos para adequação à demanda de trabalho esperada pelo programa de produção.

Para Siqueira (2005), em princípio pode-se dividir a manutenção em dois grandes grupos: corretiva e preventiva. As demais designações são desdobramentos qualitativos e quantitativos de uma ou de outra em função de se buscar maior ou menor confiabilidade e disponibilidade. Na figura 4 observa-se a evolução da manutenção e o conseqüente aumento dos resultados para a empresa, o que confirma o novo enfoque da manutenção.



Fonte: Pinto e Xavier (2003).

A manutenção poderá ser feita com recursos próprios ou contratada, porém sempre apoiada por indicadores de desempenho, de análises numéricas e gráficas, com o objetivo de quantificar o custo médio da manutenção e sua relevância no contexto produtivo da organização.

É preciso profissionalizar a gestão da manutenção e para isso faz-se necessário olhar mais atentamente para os custos por atividade.

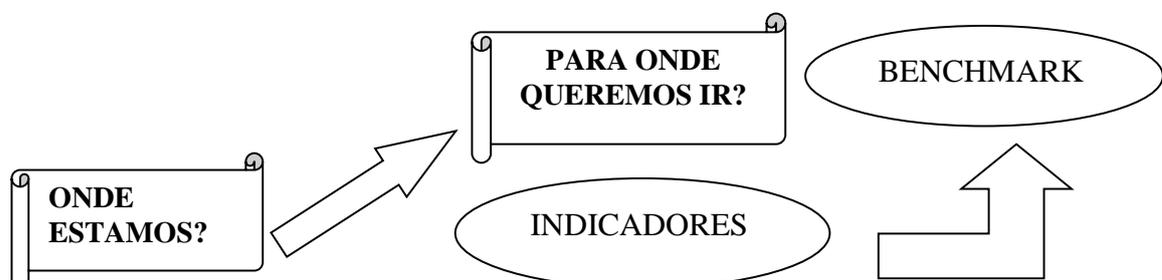
Lamentavelmente, nas organizações industriais de uma maneira geral, ainda impera a visão de que a administração de um setor eminentemente técnico pode ser exercida por qualquer profissional, por isto, muitas vezes, o setor é tocado por elementos estranhos ao processo, apesar de possuírem uma excelente formação profissional e educacional (TAVARES, 2005).

Para viabilizar a avaliação do retorno sobre o investimento pela área de manutenção, é necessário que exista uma efetiva gestão feita sobre relatórios adequados a cada nível gerencial, gerados a partir de arquivos consolidados, tratados por um eficiente sistema, que processe dados completos e confiáveis de todas as intervenções controladas.

Entretanto, para garantir a fidelidade destes dados, é fundamental que se trabalhe sob conceitos universais e padronizados, bem difundidos e reconhecidos por todos os envolvidos, ou seja, a terminologia mais usada em todos os países (SIQUEIRA, 2005).

A manutenção precisa compreender sua importância para a empresa e buscar a excelência nos seus processos. A figura 5 ilustra esta visão da manutenção, que se utiliza de conceitos de outras áreas, como administração, para gerir seus processos internos (missão, visão e valores). Faz uso de diversos indicadores e busca referências de excelência para balizar seus processos.

**Figura 5: Questionamentos da Manutenção**



Fonte: Pinto e Xavier (1998).

No novo enfoque da manutenção proativa, pode-se considerar que os mantenedores buscam mais do que simplesmente cadastrar seus ativos, querem mais do que cadastrar ordens de serviço e objetivam mais do que analisar o histórico de reparos dos ativos.

Pode-se dizer que os mantenedores proativos querem pesquisar causas raízes que levam à falha; querem aumentar a confiabilidade, através da reengenharia dos ativos e querem melhorar a manutenibilidade, através da reengenharia de métodos, processos e sistemas (TAVARES, 2005).

Para sobreviver e crescer neste novo enfoque, as empresas têm buscado desenvolver sistemas de gestão que as tornem diferenciadas e competitivas frente aos seus concorrentes. Os sistemas de informação tornaram-se a chave do tempo, formando as bases para a competitividade do novo milênio.

As organizações industriais têm enfrentado nos últimos anos um grande aumento na quantidade de informações dentro e fora de suas paredes e, com toda a sua estrutura sendo suportada pelos sistemas de informação, pode-se dizer que o sucesso está estreitamente ligado ao sucesso do seu sistema de informação.

### **2.1.3 Tipos de manutenção**

A maneira pela qual é feita a intervenção nos equipamentos, sistemas ou instalações caracteriza os vários tipos de manutenção existentes (PINTO; XAVIER, 2003).

Ainda segundo Pinto e Xavier (2003), existe uma variedade muito grande de denominações para classificar a atuação da manutenção. Por isso, é importante uma caracterização mais objetiva dos diversos tipos de manutenção, desde que, independente das denominações, todos se encaixem em um dos tipos a seguir:

- ✓ Manutenção Corretiva Não Planejada
- ✓ Manutenção Corretiva Planejada
- ✓ Manutenção Preventiva
- ✓ Manutenção Preditiva
- ✓ Engenharia de Manutenção

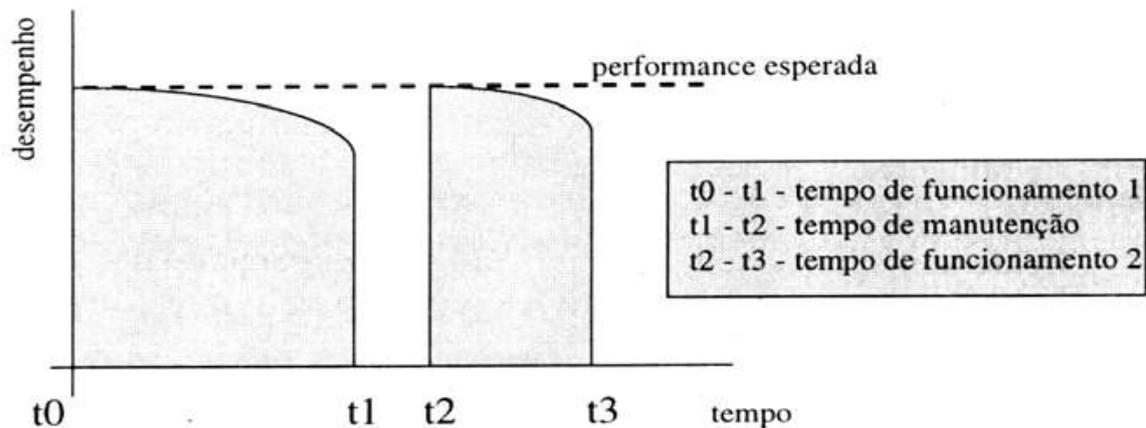
#### **2.1.3.1 Manutenção Corretiva não planejada**

Segundo Pinto e Xavier (2003), a manutenção corretiva não planejada é a atuação para a correção da falha ou do desempenho menor que o esperado do equipamento. A manutenção corretiva é realizada depois que a falha já ocorreu. Quando uma organização possui o maior número de manutenção na classe não planejada o seu desempenho empresarial está aquém das solicitações do mundo competitivo.

Se a maior parte da sua manutenção corretiva está na classe não planejada, seu departamento de manutenção é comandado pelos equipamentos e o seu desempenho não está adequado à competitividade atual.

Constata-se que a manutenção corretiva não planejada tem como alvo principal a devolução do equipamento o mais rápido possível ao processo produtivo. Esta atividade busca solucionar a falha ou um defeito (Figura 6).

**Figura 6: Manutenção Corretiva não Planejada**



Fonte: Pinto, Xavier, (2003)

Apesar de ser considerada reativa pode ser aplicada, como estratégia de manutenção, na condição de dificuldades técnicas de acesso ao equipamento para manutenção, segurança, relação custo - benefício e impacto direto na produção. De qualquer forma, deve ser bem avaliada em todos os aspectos para ser considerada como opção.

### 2.1.3.2 Manutenção Corretiva planejada

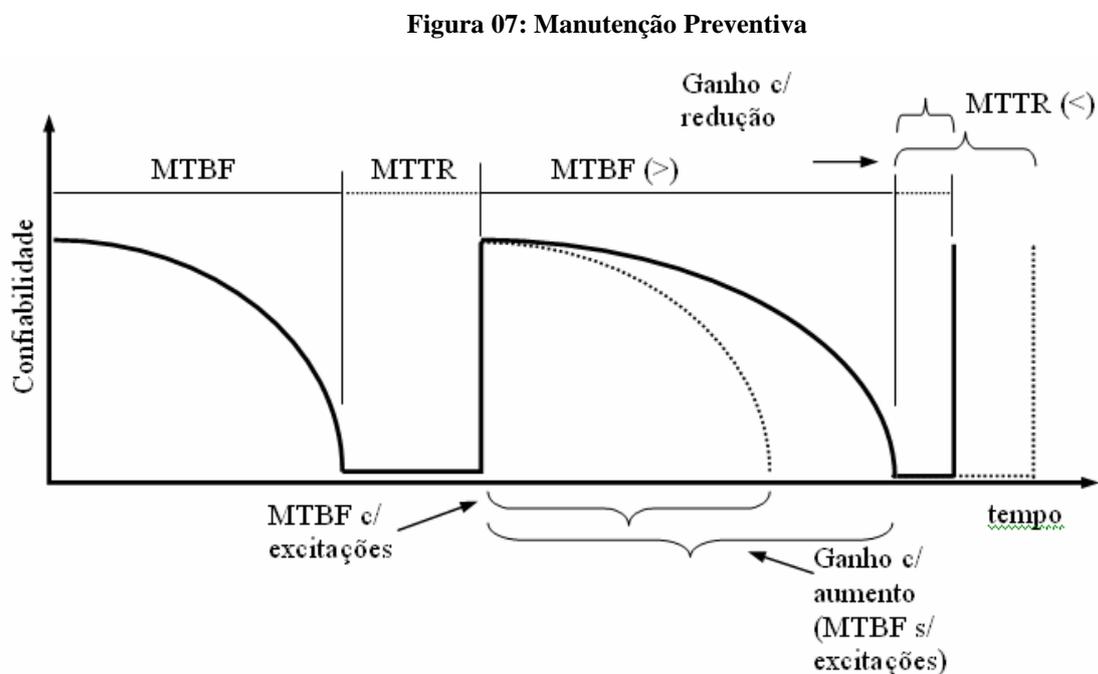
A manutenção corretiva planejada é a remoção de um defeito, antes que este entre em condição de falha, de forma planejada em função de um acompanhamento através da manutenção preditiva, manutenção detectiva e sensitiva ou até mesmo uma decisão gerencial que atenda a uma conveniência da empresa. Neste tipo de manutenção os custos de reparo são menores devido à possibilidade de planejamento e programação de materiais, equipamentos de apoio e mão-de-obra para a execução da manutenção. A manutenção corretiva planejada se justifica quanto maior forem as implicações das falhas que afetam a segurança pessoal e operacional, nos custos de manutenção e nos compromissos de entrega da produção (PINTO; XAVIER, 2003).

### 2.1.3.3 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva está intimamente ligada ao tempo como referência para que sejam feitas as intervenções nos equipamentos. Através de correlações com outros parâmetros como quilometragem, números de operações, etc., são marcadas as datas das manutenções preventivas. Nelas são feitas as trocas, os ajustes, medições que sejam necessárias e o equipamento é devolvido à operação.

A manutenção preventiva, segundo Pinto e Xavier (2003), 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. Caracteriza-se pela busca sistemática para evitar a ocorrência de falhas procurando a prevenção, mantendo-se controle contínuo dos ativos por meio de inspeção, controles e serviços como: limpeza, lubrificação, calibração e detecção de falhas. É o que ilustra a figura 07.

Um aspecto negativo da manutenção preventiva é a introdução de defeito durante as manutenções, que podem ser causadas por falha humana, falha de sobressalentes, contaminações dos fluídos lubrificantes, falhas de procedimento durante a partida e parada do equipamento e falha ou falta de procedimentos eficientes de manutenção (PINTO; XAVIER, 2003).



Fonte: Moura e Cícero (2009)

É durante a manutenção preventiva que os equipamentos devem ser inspecionados, buscando solucionar o maior número possível de problemas relacionados com a manutenção. Esta medida se justifica para evitar outras paradas e assim aumentar a disponibilidade dos equipamentos.

Para Pinto e Xavier (2003), em relação à manutenção corretiva, a manutenção preventiva apresenta as seguintes vantagens:

- ✓ Prolonga a vida útil dos equipamentos, evitando a ocorrência de avarias graves;
- ✓ Aumenta a disponibilidade dos equipamentos, pois reduz a taxa de paradas por avarias;
- ✓ Melhora o aproveitamento das equipes de manutenção, pois aumenta a previsibilidade de sua utilização;
- ✓ Melhora as relações com a produção através da redução das horas paradas.

#### **2.1.3.4 Manutenção Preditiva**

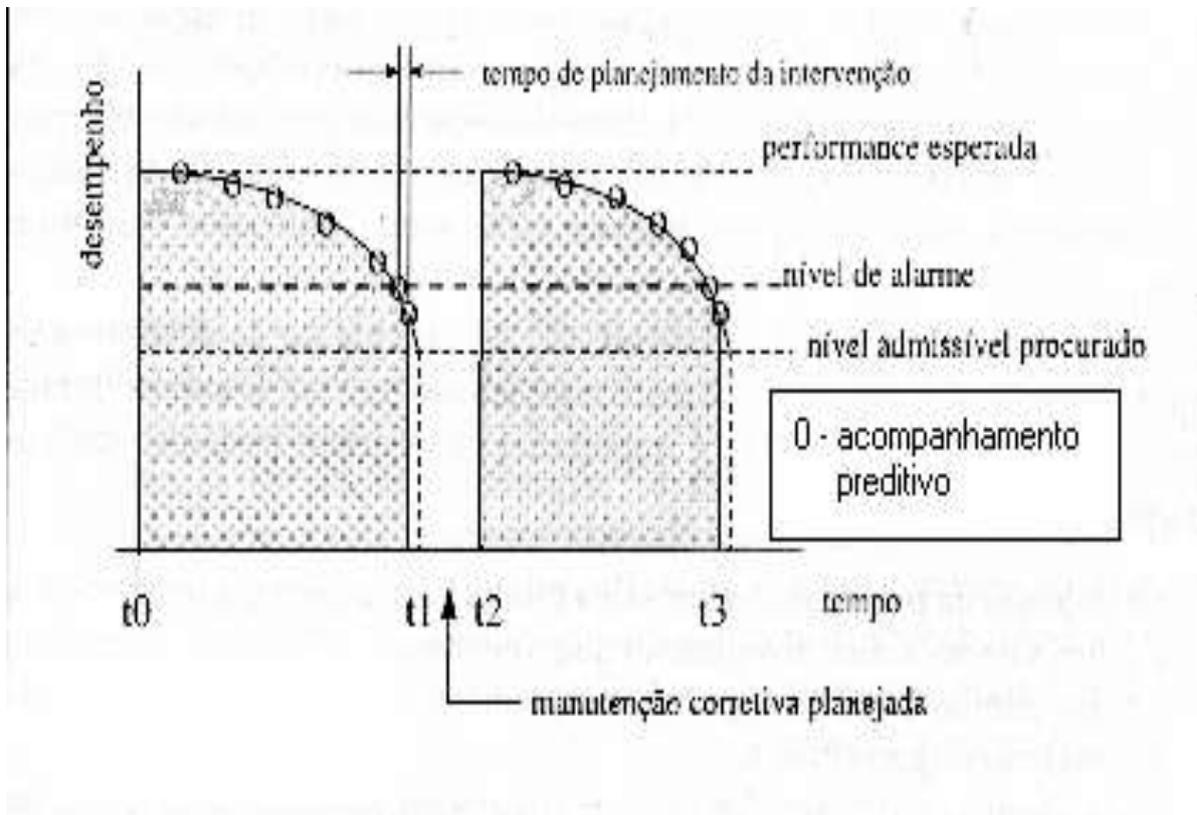
A manutenção preditiva, também conhecida como manutenção sob condição ou manutenção com base no estado do equipamento, é caracterizada pelo monitoramento de modificação dos parâmetros e condição de desempenho do equipamento, sendo realizado através de uma rota de pontos de medição definido pelo fabricante a serem monitorados (PINTO; XAVIER, 2003).

A manutenção preditiva tem como finalidade a melhoria das práticas de execução de manutenção, pois os equipamentos são monitorados de forma constante sem que haja a necessidade de eventuais paradas de produção. Este tipo de manutenção não intervém na disponibilidade do sistema, conseqüentemente é a que gera menor impacto no processo de produção.

Segundo a Abraman (2006), é a manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análises, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva.

Na figura 08 observa-se o monitoramento através dos pontos na curva até atingir o ponto de alarme, onde é indicada a intervenção.

Figura 8: Manutenção Preditiva



Fonte: Moura e Cícero (2009).

Trabalhando-se com a manutenção preditiva é possível se alcançar a máxima disponibilidade para a qual o equipamento foi projetado, pois se consegue prever as condições do equipamento. Por meio de inspeções, com instrumentos e sensíveis, é possível fazer um acompanhamento das suas condições e intervir no momento mais adequado para a correção da falha.

O sucesso de um programa de manutenção preditiva passa pela seleção de um conjunto de técnicas que, retrate o mais fielmente possível a condição dos equipamentos. As técnicas mais comumente utilizadas são: Análise de vibrações, termografia, tribologia e Inspeções Ultrassônicas, melhor descritas abaixo (CÍCERO, 2009).

- ✓ Análise de Vibrações - Esta técnica apoia-se no conhecimento de que a vibração (ou ruído) de um equipamento mecânico em movimento é característica de seu estado ou condição. A coleta dos dados pode ser feita de duas maneiras: O uso de sensores portáteis levados pelos operadores até os equipamentos em intervalos definidos ou a instalação de sensores nos equipamentos de forma permanente.

Estas leituras são automaticamente transmitidas a um banco de dados onde são armazenados os registros, feita a análise, comparação com os valores de referência e emissão do alarme se os limites admissíveis forem excedidos.

- ✓ Termografia - Esta técnica de manutenção baseia-se no princípio de que todo corpo emite radiação cuja intensidade e frequência (cor) são função da sua temperatura. Assim, medindo a intensidade de radiação na gama dos infravermelhos, é possível detectar variações anormais na temperatura do corpo. Tal como outras técnicas de manutenção preditiva, o resultado das medições efetuadas tem que ser comparado com um padrão para se concluir a existência de um defeito e da sua potencial gravidade.
- ✓ Tribologia - Também é conhecida como a ciência do atrito e estuda o comportamento dos órgãos mecânicos sujeitos ao atrito de rotação, seu desgaste e forma de evitar. São três as técnicas utilizadas para se acompanhar a condição dos equipamentos: Análise de óleo de Lubrificação, análise de Limalha e ferrografia.
- ✓ Inspeções Ultrassônicas - Na Inspeção Ultrassônica a avaliação é feita através dos sons (ruídos) que se situam na faixa dos ultrassons. O objetivo desta técnica é identificar fugas e trincas em partes e peças dos equipamentos, que provocam perturbações na propagação do som.

Nestas técnicas todo o cuidado deve ser tomado com a escolha do ponto de coleta das amostras, para evitar mascarar a interpretação dos dados coletados. Pontos de coleta de material (óleo) após os filtros devem ser evitados para se preservar a fidelidade da amostra. Os materiais coletados devem indicar o nível de desgaste das partes móveis e os possíveis locais onde estão ocorrendo. O acompanhamento criterioso destes desgastes irá determinar a necessidade e o momento de intervir no equipamento.

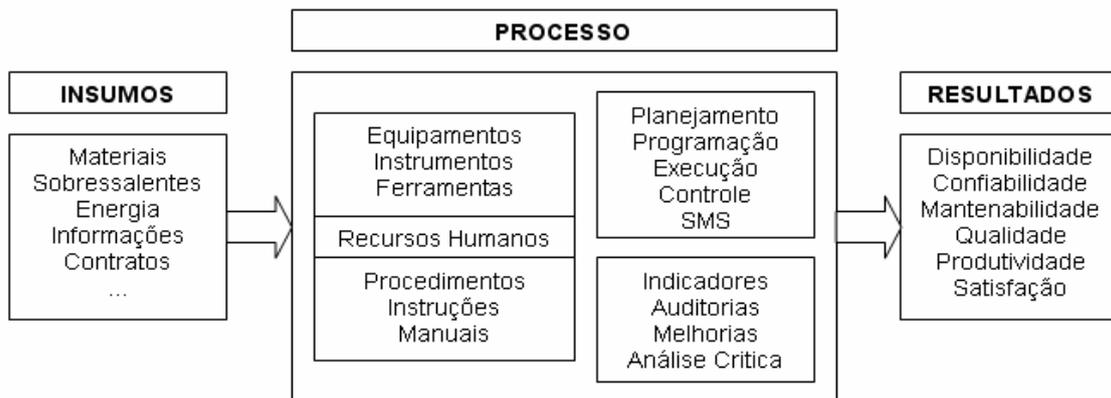
### **2.1.3.5 Engenharia de Manutenção**

A Engenharia de Manutenção está baseada em uma mudança cultural, a qual muda a cultura de um conserto contínuo dos equipamentos, para uma procura incessante das causas básicas que provocam o baixo desempenho e a indisponibilidade dos mesmos. Atua propondo melhorias em equipamentos e processos de manutenção, desenvolve a manutenibilidade, retroalimenta a equipe de projeto com informações e interfere no processo de aquisição de novos equipamentos.

Para Pinto e Xavier (2003), a engenharia de manutenção tem como cliente a execução da manutenção. Dessa forma, entre os principais produtos a serem fornecidos, este autor destaca:

- ✓ Preparar normas e procedimentos com o objetivo de aperfeiçoar os processos de a manutenção, padronizar as tarefas e reduzir as paralisações dos equipamentos;
- ✓ Levantar e analisar os dados históricos e taxas de falhas em equipamentos e sistemas, visando elaborar ações que bloqueie as causas que provocam as falhas, e estratificação das perdas;
- ✓ Trabalhar os custos de manutenção minimizando-os;
- ✓ Melhorar a eficiência da manutenção elevando a disponibilidade dos ativos a o menor custo possível.

**Figura 9: Enfoque moderno da Manutenção**



Fonte: Moura; Cícero (2009)

## 2.2 Confiabilidade

O termo confiabilidade na manutenção teve origem nas análises de falhas em equipamentos eletrônicos para uso militar, durante a década de 1950, nos Estados Unidos (PINTO; XAVIER, 2003).

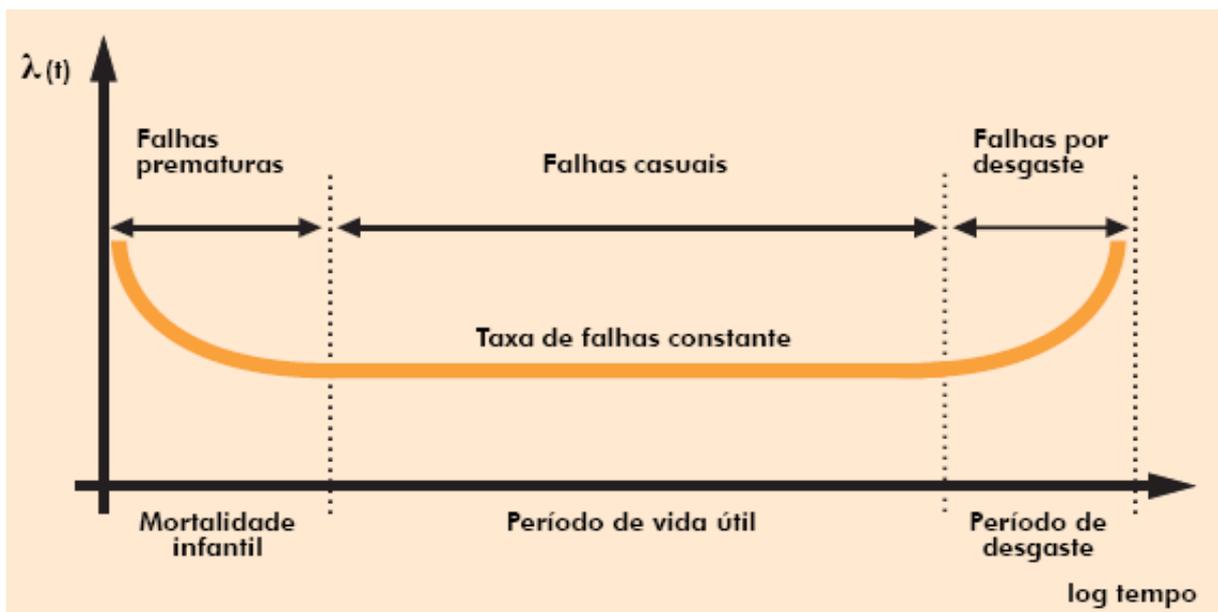
De acordo com a ABNT NBR 5462, confiabilidade é a “capacidade de um item desempenhar uma função específica, sob condições e intervalo de tempo pré-determinado”.

Ainda segundo Pinto e Xavier (2003), confiabilidade é a probabilidade que um item possa desempenhar sua função requerida, por um intervalo de tempo estabelecido, sob condições requeridas de uso.

A curva da banheira é amplamente utilizada na manutenção para ilustrar o comportamento estatístico da confiabilidade da maioria dos equipamentos. Nela percebem-se três fases distintas:

- ✓ Falhas Prematuras: Fase com elevado número de falhas decorrentes de projetos defeituosos, problemas de transporte ou instalação ou inexperiência na operação. Corresponde às primeiras horas de operação do equipamento.
- ✓ Falhas Casuais: Fase que corresponde ao maior rendimento do equipamento. A taxa de falhas é praticamente constante e estas são aleatórias e não há depreciação visível.
- ✓ Falhas por Desgaste: Fase próxima ao fim da vida útil do equipamento, onde ocorre um aumento significativo de falhas, proporcional ao aumento das horas trabalhadas. O envelhecimento é mais acelerado e pode haver perda de função. É nesta fase que costuma ocorrer o descarte do equipamento ou a implementação de melhorias.

**Figura 10: Curva da Banheira**



Fonte: Moura e Cícero (2009)

Lafraia (2001), afirma que entre os principais fundamentos da confiabilidade, destaca-se a classificação dos componentes como reparáveis ou irreparáveis. Como reparável identifica-se o item que, após a remoção do defeito ou da falha, volta a se comportar tão bem quanto antes. O componente irreparável se comporta justamente de maneira contrária, ou seja, não se consegue trazê-lo ao status anterior à falha, a exemplo de uma lâmpada queimada.

### 2.2.1 Estatística da Confiabilidade

De acordo com Pinto e Xavier (2003), a confiabilidade de um equipamento reparável pode ser medida pela taxa de falhas  $R(t)$  ou pelo tempo médio entre falhas (MTBF):

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Onde:

$R(t)$  = confiabilidade a qualquer tempo  $t$

$e$  = base de logaritmos neperianos ( $e=2,303$ )

$\lambda$  = taxa de falhas (número total de falhas por operação)

$t$  = tempo previsto de operação

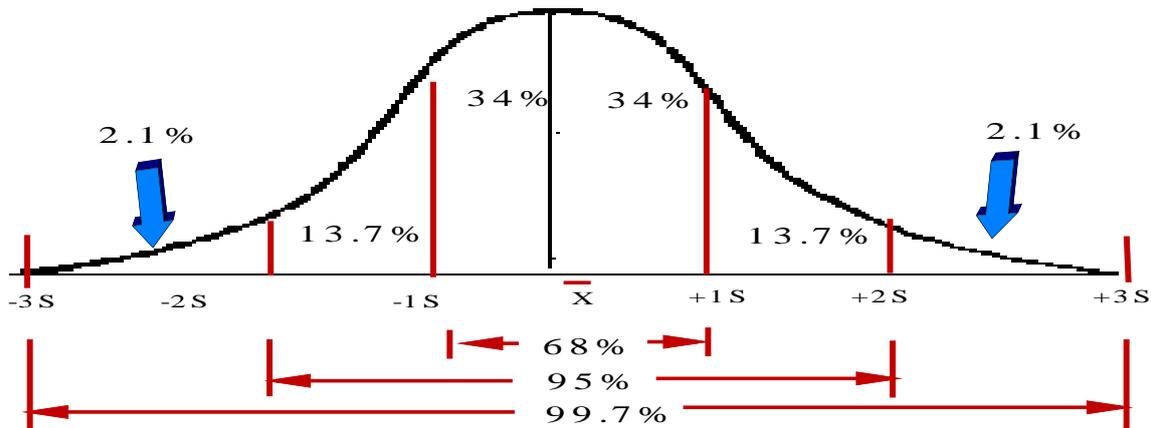
$$MTBF = \frac{\text{TempodeOperação}}{\text{Número de Falhas}}$$

Para equipamentos não reparáveis a confiabilidade pode ser medida pelo tempo médio para reparo (MTTR):

$$MTTR = \frac{\text{TempodeOperação}}{\text{Número de Falhas}}$$

Segundo Moura (2009), uma análise da frequência com que ocorrem as falhas de um componente ou equipamento, ao longo de sua operação, permite traçar o seu padrão de falha. A distribuição das falhas de um equipamento, ou famílias de equipamentos idênticos, ao longo de sua vida, pode ser representada por várias leis de probabilidades, tanto discretas (Poisson e binomial) como contínuas (Weibull, exponencial, normal e lognormal).

Figura 11: Curva Normal



Fonte: Campos (2004)

### 2.3 Disponibilidade

A disponibilidade física é a diferença entre a hora calendário menos à hora de manutenção dividida pela hora calendário, ou seja, disponibilidade real do ativo para produção.

$$D = \frac{\text{HoraCalendário} - \text{HoraManutenção}}{\text{HoraCalendário}}$$

Para Moura (2009), a disponibilidade é definida como a aptidão de um equipamento para se encontrar em um estado de funcionar nas condições requeridas. Ela é condicionada pela frequência de ocorrência de falhas, pela duração das reparações, pelo tempo gasto em manutenções preventivas, etc.

A maioria dos problemas existentes na manutenção ocorre pelo fato do equipamento não ser capaz de cumprir a função para o qual foi projetado, e na maioria das vezes o motivo é a sobrecarga ou aplicação incorreta dos equipamentos ou dos itens que fazem parte dos mesmos.

As técnicas de análises de falhas identificam a causa do problema, sugerem uma ação de bloqueio e solução dos problemas que impactam negativamente na confiabilidade e disponibilidade de equipamentos ou instalações.

## 2.4 Produtividade

A produtividade pode ser definida pelo tempo em que o empregado está efetivamente desenvolvendo as atividades para as quais foi contratado. Em muitas empresas este índice é confundido como “atividade”, sendo esta uma das razões pelas quais o valor não é considerado nos processos de administração de recursos humanos (TAVARES, 2005).

A produtividade significa produção na unidade de tempo. Normalmente se utiliza a hora como unidade de tempo, mas podem haver outras unidades como minuto, dias, turno, etc.

Para Moura (2009), a produtividade indica a velocidade com que uma atividade ou tarefa pode ser desempenhada e está relacionada com o nível de conhecimento do pessoal envolvido. Outro fator que deve ser destacado para o aumento da produtividade diz respeito à disponibilidade dos recursos necessários. Estes recursos, quando disponibilizados adequadamente, em quantidade e qualidade, aliado ao conhecimento técnico das equipes, favorecem o aumento da produtividade.

## 2.5 Análise dos Efeitos e Modos de Falhas – FMEA

A análise de efeitos e modos de falhas, também conhecida pelo seu nome em inglês (*Failure Mode e Effect Analysis – FMEA*), é uma abordagem que ajuda a identificar e priorizar falhas potenciais em equipamentos, sistemas ou processos. A FMEA é fundamentalmente a medida do risco de falha. Desse modo, quanto mais pessoas estiverem envolvidas na definição da taxa de risco, mais preciso será o resultado (PINTO; XAVIER, 2003).

A análise dos efeitos e modos de falhas, FMEA, data do final dos anos 1940, quando foi desenvolvida pelas forças armadas americanas e utilizada como uma técnica de avaliação de confiabilidade para determinar os efeitos das falhas em sistemas.

A FMEA foi utilizada pela primeira vez em um projeto de desenvolvimento de sistemas de controle de voo. Com o aparecimento da MCC na década de 1970, a FMEA começou a ser utilizada pela manutenção, através de uma norma americana MIL-STD-1629A, como uma ferramenta complementar para o programa de manutenção baseados em critérios econômicos, operacionais e de segurança.

Nos tempos atuais, as empresas usam a FMEA como uma ferramenta para desenvolvimento de programas de manutenção personalizados, de acordo com as necessidades de cada organização (SEIXAS, 2005).

Sugere-se que o grupo de FMEA, na fase de processo, orientado para manutenção, tenha engenheiros e técnicos de manutenção e operação. Os grupos devem ser multidisciplinares pela complementaridade de conhecimentos, além da vantagem de decisões colaborativas.

Para Siqueira (2005), um estudo de FMEA envolve a identificação sistemática dos seguintes aspectos, para cada função:

- ✓ Função – objetivo, como o nível de desempenho desejado.
- ✓ Falha Funcional – perda da função ou desvio funcional
- ✓ Modo de Falha – o que pode falhar
- ✓ Causa da Falha – porque ocorre a falha
- ✓ Efeito da Falha – impacto resultante na função principal
- ✓ Criticidade – severidade do efeito

O grupo selecionado para aplicar a FMEA deve utilizar formulários apropriados para fazer os registros e medir o nível de criticidade do problema, conforme o quadro 01.

Quadro 01: Ficha de modelo FMEA

ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA DO PROCESSO FMEA - Processo de sondagem				Número: 0001				Revisão:			
Equipamento 14 SD J( sonda J)		Processo: Sondagem						Equipe de trabalho:			
Nome do componente	Função do componente	Modos de falha	Efeitos potenciais da falha	Índice Severidade	Classif.	Causas potenciais de falha	Índice Ocorrência	Controles atuais do processo de prevenção	Controles atuais do processo detecção	Índice Detecção	NPR
Mandril	Abertura e fechamento dos mordentes	Vazamento	Escorregamento nas hastes	7		Fluido fora de especificação	5	Realizar seleção do lubrificante adequado com apoio do fabricante e especialista	Uso de fluido certificado	5	175
				7		Vedação fora de especificação	3	Revisar plano de manutenção preventiva e reciclagem com equipes	Fornecedor nacionalizado	5	105
				7		Alojamento fora de especificação	5	Realizar análise dimensional com parâmetros do manual do fabricante	Uso de documentação própria e atualizada	6	210
				7		Erros de montagem	3	Revisar plano de manutenção preventiva e reciclagem com equipes	Controle de Qualidade	5	105
				7		Aquecimento	3	Verificar parâmetros de tolerancias entre as partes fixa e móvel	Uso de documentação própria e atualizada	5	105
				7		Erros de operação	3	Revisar procedimento de operação e reciclar equipes no PRO	Fixação de PRO atualizado no local de operação	3	63
				7		Contaminação do fluido hidráulico	5	Verificar	Seguir plano de lubrificação existente	5	175
				7		Falta de material de vedação	6	Rever níveis de estoque com equipe de suprimento	Planejamento segue plano de sobressalentes	5	210

Fonte: Vale (2018).

O Índice de Risco ou Número de Prioridade de Risco – NPR – é o resultado do produto da Frequência (probabilidade de ocorrência da falha) pela Gravidade da falha (como a falha afeta o sistema ou equipamento) pela Detectabilidade (grau de facilidade de detecção da falha). Esse índice dá a prioridade do risco da falha (PINTO; XAVIER, 2003).

Para Pinto e Xavier (2003), na determinação da taxa de risco de falha de um componente particular de um equipamento, o grupo deve adotar os seguintes passos:

- ✓ Isolar e descrever o modo de falha potencial – sob que condições o equipamento falha?
- ✓ Descrever o efeito potencial da falha – ocorre parada ou perda de produção, quais os prejuízos, a qualidade do produto é afetada?
- ✓ Determinar a frequência, a gravidade e a detectabilidade da falha – qual a frequência de ocorrência da falha, qual o grau de gravidade da falha, qual a facilidade da falha ser detectada?

- ✓ Determinar o Número da Prioridade do Risco, NPR.
- ✓ Desenvolver planos de ação para eliminar ou corrigir os problemas potenciais.

A FMEA focaliza falhas potenciais e suas causas. Deste modo, as ações necessárias podem ser tomadas com vista a evitar problemas futuros e prejuízos antes que eles aconteçam. Para a manutenção, a aplicação mais vantajosa de FMEA ocorre na análise de falhas já ocorridas. Para análise de falhas potenciais mais importantes, os gastos no desenvolvimento de ações de FMEA são pagos muitas vezes pela economia obtida evitando a falha (PINTO; XAVIER, 2003).

Ainda segundo Pinto e Xavier (2003), a análise de falhas já ocorridas apresenta um enorme potencial de ganho e a utilização de ganhos como a FMEA, para este fim não representa um desvio na filosofia básica desta ferramenta, mas uma adaptação bastante interessante para a área de manutenção. Praticamente a análise de falhas ocorridas segue a lei de Pareto: “20% ou menos dos eventos de falhas representam 80% das perdas (ou custos)”.

## **2.6 Método de Análise e Solução de Problemas - MASP**

O MASP é uma sistemática de análise e solução de problemas adotada na Gestão da Qualidade Total. É conhecido pelos japoneses como QC Story. O método está diretamente associado à qualidade do histórico que está sendo utilizado como base de dados para análise. Um bom histórico vai gerar, através da aplicação das ferramentas indicadas, um resultado mais confiável (PINTO; XAVIER, 2003).

Para este autor, o MASP, quando aplicado às atividades de manutenção, de acordo com a experiência adquirida, mostra que:

- ✓ Quanto melhor e mais preciso é o histórico da manutenção, mais consistente é o método.
- ✓ O grupo formado para conduzir o MASP deve ser multidisciplinar, envolvendo o pessoal da manutenção e operação. Além deste grupo, a presença de pessoas que tenham conhecimento das máquinas, dos sistemas ou componentes.
- ✓ Para as atividades diversas o período de observação varia e essa observação está associada à criticidade do equipamento dentro do processo produtivo e sua complexidade.

Para Campos (2004), o MASP tem como principais objetivos a identificação das causas fundamentais para eliminá-las de forma definitiva e neutralizar a sua reincidência, facilitando também a gestão de um item de controle através das causas principais que o afetam. O quadro 02 ilustra as fases, tarefas e ferramentas do método MASP.

**Quadro 02: O MASP e suas ferramentas**

PDCA	FLUXO	FASE	TAREFAS	FERRAMENTAS
P	1	Identificação do problema	Escolha do problema Histórico do problema Mostrar perdas atuais e ganhos viáveis Fazer análise de Pareto Nomear responsáveis	Gráficos Fotografias Análise de Pareto
	2	Observação	Descoberta das características do problema Cronograma, orçamento e meta	Análise de Pareto Cronograma Lista de verificação Estratificação
	3	Análise	Definição das causas e efeitos Escolha das causas mais prováveis Análise das causas mais prováveis Houve confirmação das hipóteses?	Brainstorming Diagrama de causa e efeito Histograma Gráfico de Pareto Diagrama de relação
	4	Plano de Ação	Elaboração da estratégia de ação Elaboração do plano de ação de bloqueio Revisão do cronograma e orçamento final	Reuniões Plano de ação
D	5	Ação	Treinamento Execução da ação	Plano de ação Reuniões participativas Cronograma Técnicas de treinamento
C	6	Verificação	Comparação dos resultados Listagem dos efeitos secundários Verificar se o efeito foi efetivo	Gráfico de Pareto Histograma Carta de controle Gráfico sequencial
A	7	Padronização	Elaboração ou alteração do padrão Comunicação Educação e treinamento Acompanhamento do uso do padrão	Plano de ação Reuniões Manuais de treinamento
	8	Conclusão	Relação dos problemas remanescentes Planejamento do ataque aos problemas Reflexão	Gráficos MASP Reflexão

Fonte: Campos (2004)

No MASP, o método se contextualiza em uma sequência lógica para atendimento das metas e as ferramentas são os meios a serem utilizados, organizados pelo método, para direcionar o resultado para as metas desejadas.

### 2.6.1 PDCA

O ciclo PDCA é a base para rodar o MASP. O PDCA apresenta oito passos a serem seguidos para o sucesso da ferramenta. Estes passos são mostrados no Quadro 03.

Quadro 03: Ciclo PDCA

<i>PDCA</i>	<i>Fluxo</i>	<i>EASE</i>	<i>OBJETIVO</i>
<b>P</b>	①	<b>Identificação do Problema</b>	Definir claramente o problema e reconhecer sua importância.
	②	<b>Observação</b>	Investigar as características específicas do problema.
	③	<b>Análise</b>	Descobrir as causas fundamentais.
	④	<b>Plano de Ação</b>	Conceber um plano para bloquear as causas fundamentais.
<b>D</b>	⑤	<b>Ação</b>	Bloquear as causas fundamentais.
<b>C</b>	⑥	<b>Verificação</b>	Verificar se o bloqueio foi efetivo.
	?	<b>(Bloqueio foi efetivo?)</b>	
<b>A</b>	⑦	<b>Padronização</b>	Prevenir contra o reaparecimento do problema.
	⑧	<b>Conclusão</b>	Recapitular todo o processo de solução para trab. futuro.

Fonte: Pinto e Xavier (2003).

O PDCA pode ser definido como um valioso método de controle e melhoria dos processos organizacionais que, para ser eficaz deve estar disseminado e dominado conceitualmente e operacionalmente por todos os colaboradores da organização. É o caminho para se atingir as metas atribuídas aos diferentes processos organizacionais (CAMPOS, 2004).

O PDCA é dividido em quatro etapas: *Plain, Do, Check e Act*

\**Plain* (planejar) – Nesta etapa a atenção deve estar voltada para a definição dos objetivos/metras, para a definição dos métodos e procedimentos a serem empregados, bem como a definição dos indicadores ou itens de controle que serão utilizados para monitorar a eficácia das soluções.

\**Do* (fazer) – Consiste na execução dos planos de ação estabelecidos. Esta etapa pode ser subdividida em duas outras, treinamento e a execução. Na etapa de treinamento as pessoas devem ser preparadas para atuarem utilizando as soluções estabelecidas enquanto que na etapa de execução as atividades devem ser colocadas em prática e o seu desempenho monitorado através dos itens de controle.

\**Check* (verificar) – Esta etapa se relaciona ao processo de comparação dos resultados obtidos através das práticas e os indicadores estabelecidos no planejar.

É nesta etapa que, a partir dos dados levantados a organização deve efetuar as análises críticas de suas ações, promovendo, se necessário, ações de correção ou melhoria.

\**Act* (agir) – Esta etapa está relacionada com a melhoria dos processos organizacionais

e na correção dos padrões estabelecidos. É nesta etapa que costumam surgir as inovações dentro das organizações.

### **2.6.2 Brainstorming**

O *Brainstorming* é uma técnica desenvolvida em 1930 por Alex F. Osborn que busca, a partir da criatividade de um grupo, a geração de ideias para um determinado fim. A técnica propõe que um grupo de pessoas (de duas até dez pessoas) se reúna e se utilize das diferenças em seus pensamentos e ideias para que possam chegar a um denominador comum eficaz e de qualidade. É preferível que as pessoas que se envolvam neste método sejam de setores diferentes, pois suas experiências diversas podem colaborar com a “tempestade de ideias” que se forma ao longo do processo de sugestões e discussões. Nenhuma ideia é descartada ou julgada como errada ou absurda (SCARTEZINI, 2009).

Os princípios para um *Brainstorming* bem sucedido são:

- ✓ Atraso de julgamento;
- ✓ Criatividade em quantidade e qualidade de ideias;
- ✓ Ambiente encorajador e sem críticas;
- ✓ Trabalho em grupo. Deve-se incentivar pegar carona nas ideias dos outros.

Ainda segundo Scartezini (2009), o *Brainstorming* pode ser feito de duas formas: estruturado ou não estruturado. No *Brainstorming* estruturado os participantes lançam ideias seguindo uma sequência pré-estabelecida. Quando chega a vez do participante, ele lança sua ideia. A vantagem dessa forma é que propicia oportunidades iguais a todos os participantes, gerando maior envolvimento. No *Brainstorming* não estruturado as ideias são lançadas aleatoriamente, sem uma sequência pré-definida. Isso cria um ambiente mais informal, porém com riscos dos mais falantes dominarem a cena. Após conclusão da seção do *Brainstorming* as ideias devem passar por um filtro identificando as que apresentam potencial.

### **2.6.3 Diagrama de Causa e Efeito**

O Diagrama de Causa e Efeito ou Diagrama de Ishikawa ou Diagrama espinha de peixe, foi desenvolvido pelos japoneses na década de 1940 com o objetivo de eliminar a confusão entre causa e o efeito das falhas dentro das indústrias.

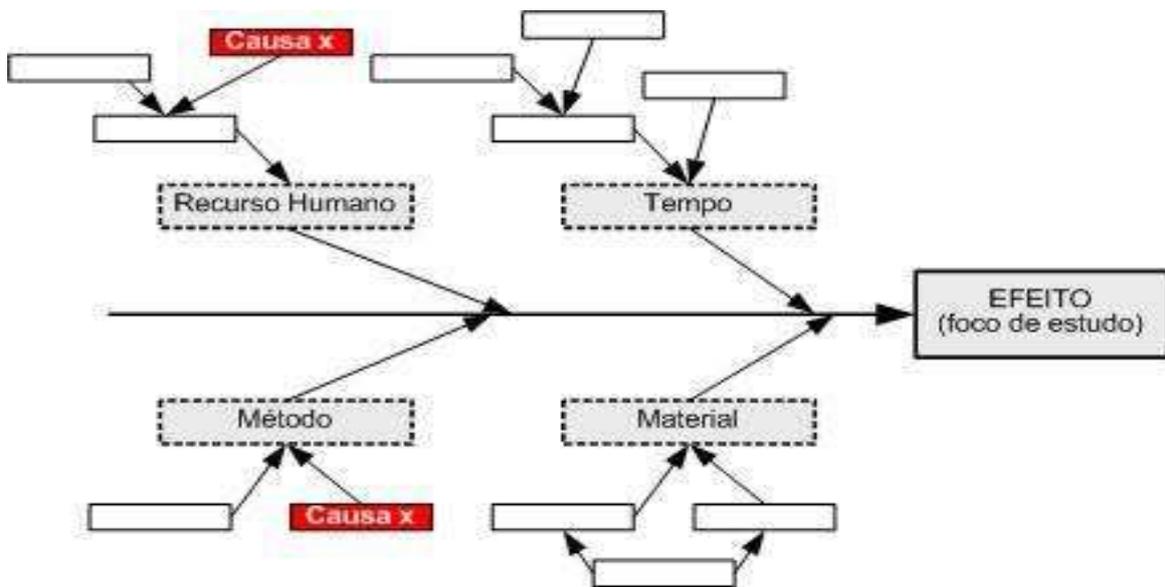
O efeito, fim e/ou resultado são eventos que ocorrem quando existe um conjunto de causas (meio) que podem ter influenciado. As causas podem ser classificadas em famílias, também conhecidas como fatores e divididas em seis critérios: matérias-primas, máquinas, medidas,

meio ambiente, mão-de-obra e método (CAMPOS, 2004).

A prática de se construir o Diagrama de Causa e Efeito é um processo educacional, pois ele se torna um guia para discussão. As causas são buscadas ativamente e de forma sinérgica e são registradas e hierarquizadas. O diagrama mostra o grau de conhecimento do grupo. Pode-se utilizar o *Brainstorming* como ferramenta auxiliar para a determinação das causas do problema relatado (SCARTEZINI, 2009).

Na figura 12 é mostrado um exemplo deste diagrama.

**Figura 12: Exemplo de Diagrama de Ishikawa**



Fonte: Scartezini, 2009

#### 2.6.4 Técnica dos “5 Porquês”

A ferramenta de análise dos “5 Porquês” busca identificar as causas raízes de um problema, de forma bastante simples. Foi desenvolvida por Sakishi Toyoda, fundador da Toyota, e tem o seguinte princípio: ao encontrar um problema devem-se realizar cinco iterações perguntando o porquê daquele problema, sempre questionando a causa anterior. Deve ser feito o questionamento até atingir o nível raiz, no qual não é mais possível determinar o desdobramento das causas. Pode haver desdobramento na horizontal, para os casos onde o porquê tem mais de uma resposta relevante. Deve-se tomar cuidado para que não se perca o foco do problema original (SCARTEZINI, 2009).

### 2.6.5 Plano de Ação (5W1H)

Plano de ação é o planejamento das iniciativas necessárias para atingir um resultado desejado. Deve-se deixar claro tudo o que deverá ser feito e a que tempo, quem é o responsável por cada iniciativa. Além disso, deve-se apontar o porquê de se realizar tal atividade e como e onde ela será realizada. Um plano de ação deve ser estabelecido sempre que se determina uma melhoria futura, seja ele o cumprimento de uma meta, de um resultado, a eliminação de um problema e tudo aquilo que envolve um ideal a ser alcançado (CAMPOS, 2004).

**Quadro 04: Exemplo de Plano de ação**

PLANO DE AÇÃO						
Ações						
CAUSA	O QUÊ	PORQUÊ	COMO	ONDE	QUEM	QUANDO
1	Programar treinamento de reciclagem para os lubrificadores	Evitar a contaminação durante a lubrificação das sondas	Mensalmente, durante as paradas mensais dos poços	Sala da Gamaw	Carlos Paixão	mar/18

Fonte: Vale (2018)

### 2.7 Indicadores

Segundo Tavares (2005), boa parte dos relatórios de gestão baseia-se na análise de diversos índices. Os indicadores são utilizados para a observação e acompanhamento de diversos fenômenos. Na área manutenção não poderia ser diferente.

Para Cícero (2009), a escolha dos indicadores só poderá ser feita com base na experiência e no conhecimento dos responsáveis pela atividade de manutenção da empresa, para que se obtenha um retrato bastante fiel da realidade que se pretende controlar. Na escolha dos indicadores devem-se levar em conta alguns critérios essenciais:

- ✓ Utilidade – os indicadores devem ser necessários e adequados ao processo de controle utilizado.
- ✓ Clareza - os indicadores devem ser fáceis de entender por pessoas com a formação e cultura daquelas a quem se destina.
- ✓ Fidelidade - Os indicadores devem reproduzir com fidelidade e rigor a situação que se pretende controlar.

- ✓ Sensibilidade - Os indicadores devem reagir com a necessária rapidez às alterações do contexto que se está aferindo.
- ✓ Unicidade - Para cada situação a avaliar deve haver um único indicador, para evitar conflitos ou incertezas.

Para Tavares (2005), um dos grandes desafios da Manutenção é conceber sistemas que permitam não só o acompanhamento das ações dos diversos programas, mas que forneçam indicadores de qualidade para todo o processo da manutenção, incluindo as fases de programação e execução, e sua contribuição para o cumprimento de metas pré-estabelecidas pela empresa.

### 2.7.1 Utilização de mão-de-obra

A utilização de mão-de-obra tem como objetivo medir o percentual de utilização do homem hora (HH) efetivamente disponível através da correta apropriação em ordens de serviço (OS), informada na programação diária, cuja data esteja dentro do período pesquisado.

As ordens de serviço que compõem estas serão pesquisadas no sistema de manutenção, para que se possa verificar a existência de horas extras que devem ser somadas a todos HH nelas registradas, esse valor deve representar o total da força de trabalho disponível para a execução as OS programadas.

$$IMO = \frac{\sum HHTotal \text{ Apro em OS Prog diária}}{\sum HHTotal \text{ Disp} + \sum HHExtra} \times 100$$

Onde:

$\sum HHT$  = Somatório dos Homens hora programada diariamente

$\sum HHT \text{ Disp.}$  = Somatório dos Homens hora total disponível

$\sum HH \text{ Extra}$  = Somatório dos Homens hora extra

### 2.7.2 Indicador de Aderência a Programação

A aderência à programação é o índice que tem o objetivo mensurar o percentual de aderência do que foi programado para cada Ordem Serviço (OS) na programação diária em relação ao que efetivamente foi realizado, ou seja, somando as OS encerradas do dia pela OS programadas.

$$APR = \frac{\sum OS Program Executada}{\sum OSE executadas} \times 100$$

Onde:

$\sum OSPE$  = Somatório das Ordens de serviço programadas e executadas

$\sum OSE$  = Somatório das Ordens de serviço executadas

### 2.7.3 Indicador de Custo Horário de Manutenção

O custo horário de manutenção objetiva medir os custos horários da manutenção em relação às horas totais de funcionamento dos equipamentos, considerando apenas os custos diretos apropriados em OS, ou seja, serve para indicar o custo do pessoal que forma a equipe de manutenção, em atividades de manutenção, pois sabemos que a manutenção desenvolve várias atividades que não são apenas manutenção.

$$CHM = \frac{\text{Custo Mão Obra Manut}}{HH Ordem Serviço} \times 100$$

Onde:

CMOM = Custo de mão-de-obra de manutenção

HHOS = Homem hora das ordens de serviço

### 2.7.4 Mean Time Between Failures (MTBF)

O *Mean Time Between Failures* (MTBF) significa o tempo médio entre falhas, ou seja, tempo médio em que o equipamento opera sem apresentar uma falha.

O MTBF, também conhecido como tempo médio entre falhas, é um valor médio do tempo entre eventos (falhas) consecutivos, obtido pela relação entre o somatório dos tempos disponíveis e/ou em operação e o número de ocorrências (falhas) observadas ou pelo inverso da taxa de falhas ( $\lambda$ ) (SEIXAS, 2005).

$$MTBF = \frac{\sum Tempos de Operação}{\sum Ocorrências(falhas)}$$

Onde:

$\sum TO$  = Somatórios dos Tempos de Operação

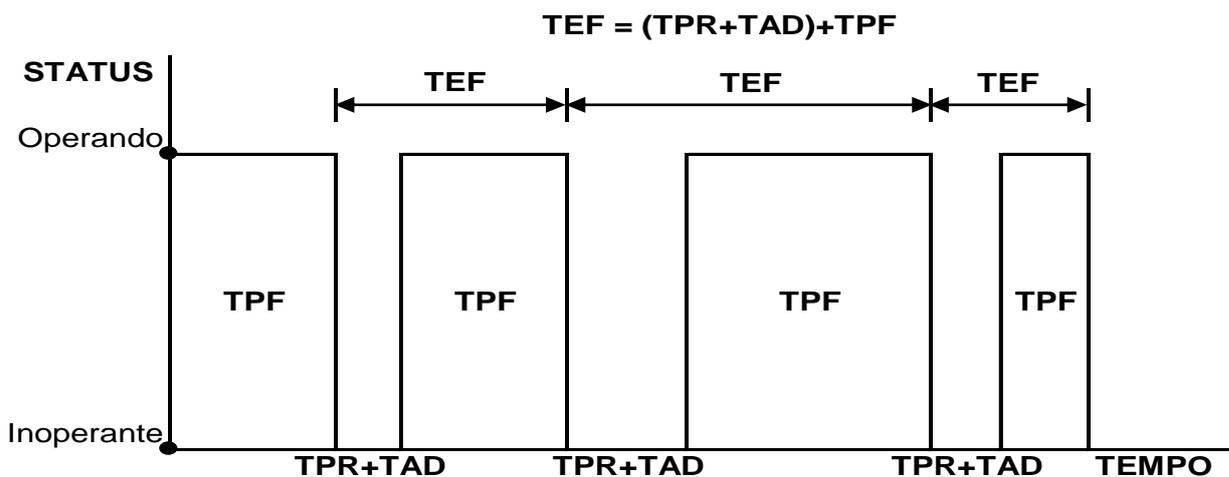
$\sum O$  = Somatórios das Ocorrências ou falhas

Segundo Pinto e Xavier (2003), Tempo Médio Entre Falhas é a média aritmética dos tempos de funcionamento de máquinas, contados desde a colocação do equipamento em funcionamento ou quando nova, ou após a correção da falha, até a próxima falha.

Apontam-se como tempo de funcionamento todos os tempos de máquina funcionando, não importando o motivo de funcionamento. É calculado apenas para itens que podem ser reparados e não se aplica aos itens descartáveis.

Para facilitar o entendimento sobre o comportamento do MTBF, Tavares (2005), exemplifica que o somatório dos Tempos Entre Falhas (TEF) é obtido pela soma do Tempo Para Falha (TPF), que é o tempo gasto para a ocorrência de falha, Tempo Administrativo (TAD) que é o tempo gasto com a locação dos recursos para realizar a manutenção e Tempo Para Reparo (TPR) que é o tempo gasto para restabelecer a função requerida. A Figura 13 a seguir ilustra muito bem este indicador.

Figura 13: MTBF



Fonte: Pinto e Xavier (2003)

### 2.7.5 Mean Time Repair (MTTR)

O *Mean Time To Repair (MTTR)* significa o tempo médio para reparo, ou seja, tempo médio gasto para restabelecer a função de ativo de produção.

Como descrito por Tavares (2005), este índice aponta a media dos tempos que a equipe de manutenção leva para repor maquina em condições de operar desde a falha até o reparo ser dado como concluído e a maquina ser aceita como em condições de operar.

Tempo Médio Para reparo é a medida do grau de dificuldade de que um item apresenta para executar a sua manutenção, ou seja, o tempo médio gasto para recuperar a função de um equipamento, componente ou item.

É obtido pela relação entre o somatório dos tempos totais de máquina parada e o número de intervenções de manutenção ou pelo inverso da taxa de reparo ( $\mu$ ), estas são denotadas pela seguinte expressão matemática.

$$MTTR = \frac{\sum \text{Tempos das Ocorrências}}{\sum \text{Número de Ocorrências (falhas)}}$$

Onde:

$\sum TO$  = Somatório dos tempos de ocorrências

$\sum NO$  = Somatório de ocorrências ou falhas

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Caracterização da Área de Estudo e Abordagem da Pesquisa

Para Campos (2004), a abordagem de uma pesquisa pode ser classificada como sendo qualitativa e quantitativa. Na parte qualitativa estará sendo tratada neste trabalho a estruturação das falhas através dos modos de falha, acompanhando os passos da análise de efeito e modos de falhas (FMEA). Também na parte qualitativa a aplicação das ferramentas da qualidade do MASP. Já na parte quantitativa, serão aplicadas as técnicas da confiabilidade para a determinação de alguns indicadores (MTBF, MTTR, Taxa de falha, etc.), construção de tabelas e quadros, levando em conta o impacto na produção.

A pesquisa foi feita com base em informações contidas nos bancos de dados de operação e produção, “Mina Operação” e “Mina Controle”, utilizadas pela empresa para acompanhamento do processo, além do sistema de gerenciamento SAP. Foi também feito o acompanhamento do planejamento e das manutenções preventivas na sondagem, bem como na oficina central e suprimentos, com o objetivo de entender o processo de manutenção de forma ampla.

A opção pelo uso de indicadores e ferramentas adequadas vem mostrando que, quando se escolhe bem a estratégia, os resultados logo aparecem e trazem benefícios significativos para os cofres da empresa.

A jazida de Taquari-Vassouras, operada pela Vale, com extensão aproximada de 185 km<sup>2</sup>, está localizada na parte nordeste do estado de Sergipe, no município de Rosário do Catete. A região é cortada pela Rodovia Federal BR-101, pelas Rodovias Estaduais SE-206 e SE-208 e por Rodovias Secundárias, além da malha antiga da Ferrovia Centro Atlântica – FCA. Observar mapa de localização na figura 14.

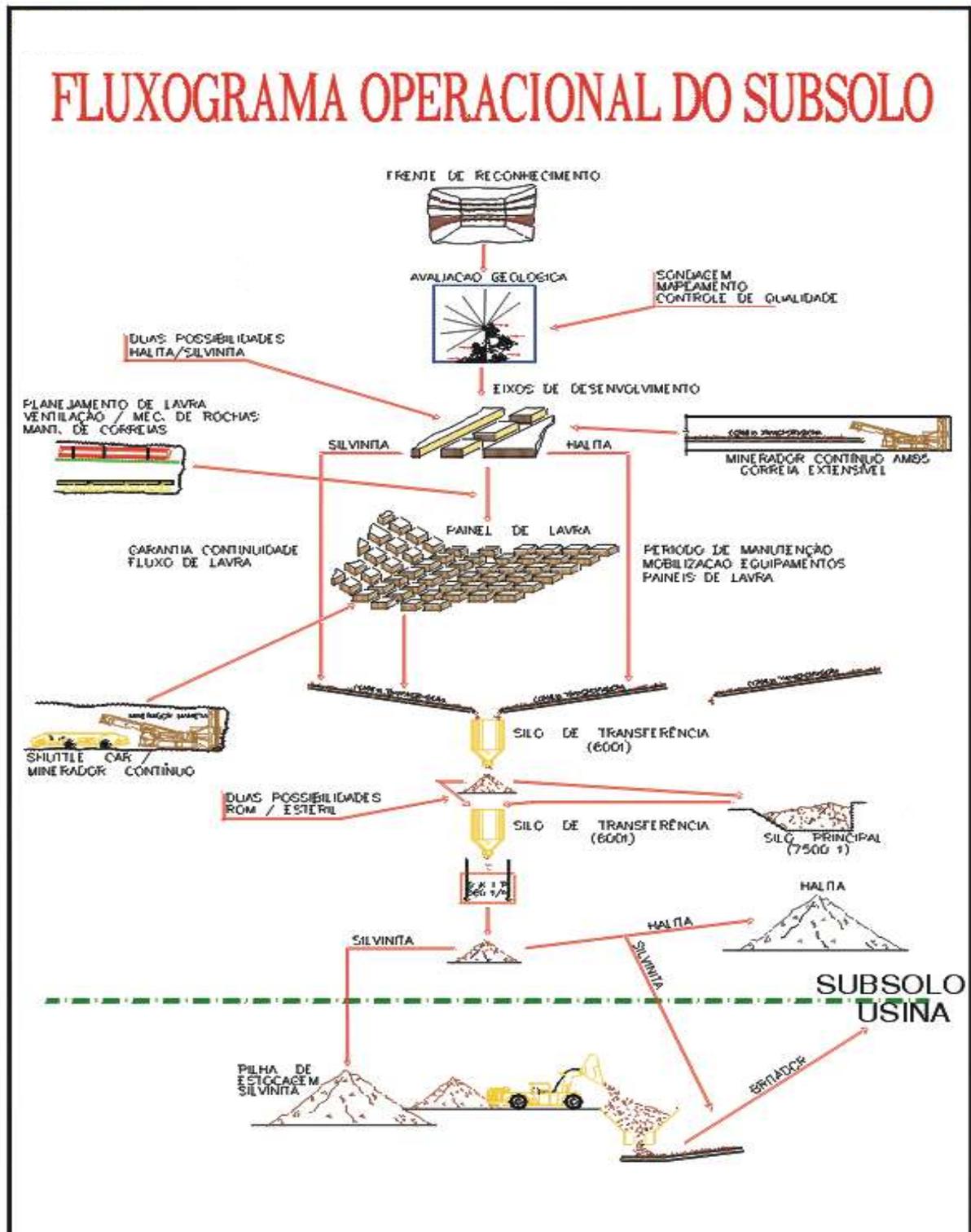
As operações em Taquari–Vassouras consistem na lavra e beneficiamento da silvinita, mineral composto por cerca de 70% de cloreto de sódio e cloreto de potássio (30%). Os recursos e reservas combinados totalizam 16,5 Mt de produtos.

A mineração é do tipo subterrânea com a profundidade variando entre 430m a 660m. A mina opera com dois poços, sendo um para serviços e transporte de pessoal e o outro somente para o escoamento da produção.



Correias transportadoras conduzem o minério desmontado até o poço de extração, que conduz o minério até a superfície (Figura 15).

Figura 15: Fluxograma operacional do subsolo



Fonte: Vale (2018)

O beneficiamento compreende a britagem, moagem (via úmida), flotação, secagem, compactação e expedição. Os produtos finais, classificados segundo a granulometria, são o KCl farelado (menor que 1mm) e o KCl granulado (entre 1 e 4 mm). Do total da produção, 64% são de granulado e 36% de farelado.

O teor médio na alimentação da usina é de 30% de KCl e a recuperação média é de 92% em produto. O cloreto de sódio, não aproveitado, é lançado ao mar por um salmourado após a dissolução.

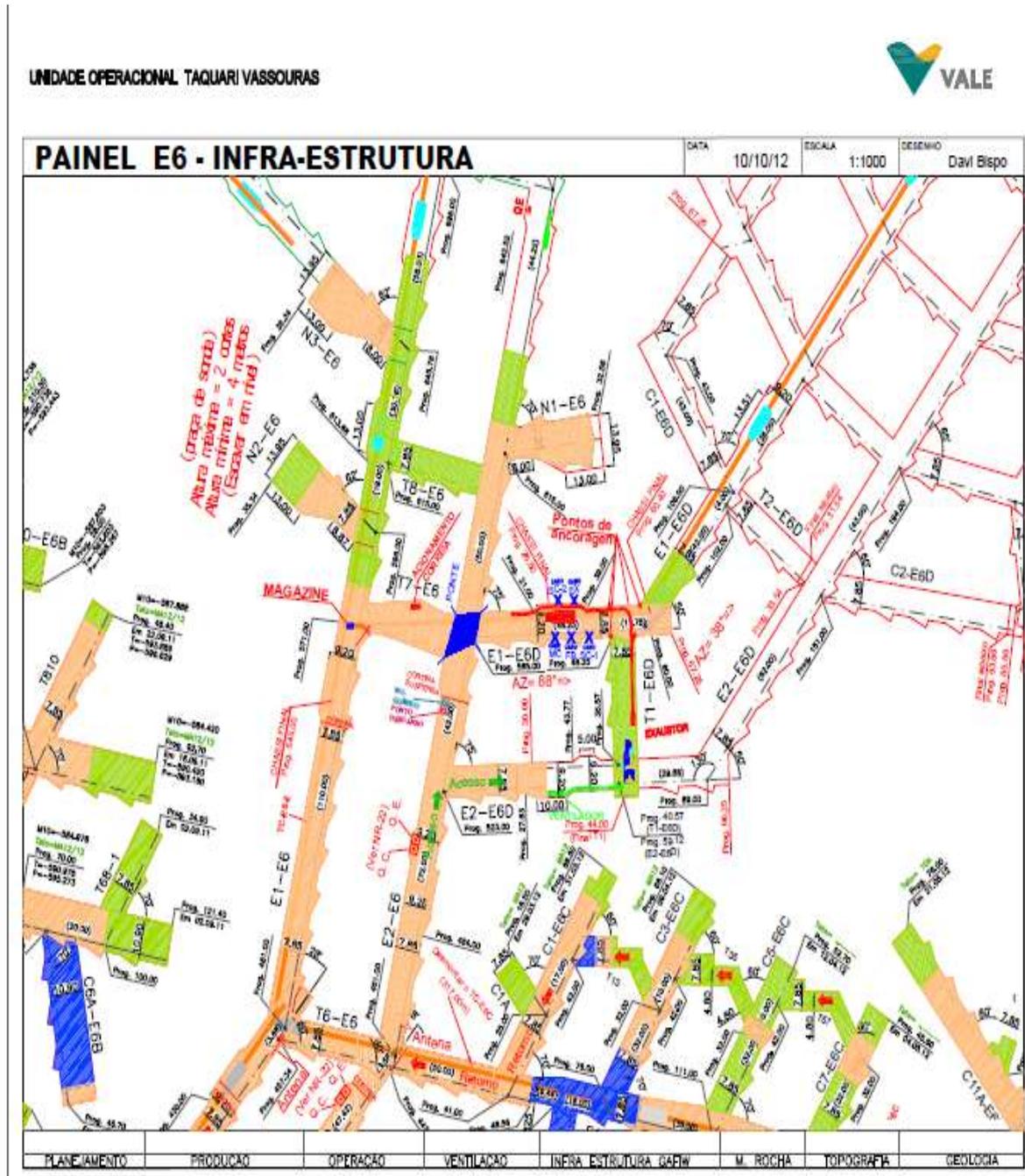
A capacidade de produção atual é de 2.650.000 de toneladas anuais de minério produzido da mina (RUN OF MINE – R.O.M.) contendo em média 30% de KCl. O material lavrado tem densidade real igual a 2 t/m<sup>3</sup> e apresenta a seguinte composição mineralógica: Silvinita (KCl: 29,90%); Halita (NaCl: 64,35%); Carnalita (KClMgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O: 0,43%); Taquidrita (CaCl<sub>2</sub>MgCl<sub>2</sub>: 0,25%); Anidrita (CaSO<sub>4</sub>: 0,57%); Dolomita (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>: 0,30%) e Argila (1,20%). O acesso ao subsolo é feito através de dois poços verticais, distanciados de 254 m, com 5 m de diâmetro e profundidade média de 440 m: o Shaft n° 1 equipado com skips (equipamentos de transporte vertical de minério) funciona como poço de extração e o Shaft n° 2 equipado com elevador para transporte de materiais e pessoal funciona como poço de serviço.

O Planejamento de Lavra é composto de diversas fases, iniciando-se pelas sondagens sub-horizontais em subsolo, o desenvolvimento, o tratamento dos dados geológicos com elaboração de mapas e seções geológicas, o dimensionamento dos painéis de lavra com estabelecimento de um *layout* e a lavra (Figura 16).

Os furos de sondagem são feitos em painéis já lavrados e que, normalmente, ficam na periferia da mina. É a partir destas posições periféricas que se pesquisam novos corpos de minério, objetivando confirmar as pesquisas feitas através dos furos de superfície. Se confirmada a presença de corpos de minério em volumes que justifiquem a montagem de painéis de lavra, novos eixos e galerias serão lavrados naquela região que foi sondada.

Foi escolhida a praça de sondagem no subsolo para realizar este acompanhamento dos indicadores de manutenção, por se tratar de uma equipe menor e com apenas duas sondas operando, sonda J e sonda K. As sondas são da marca JKS-Boyles da Atlas Copco com alcance de perfuração de até 1200 metros. Utilizam hastes com diâmetro de 2” com coroas de wídea ou coroas de diamante sintético.

Figura 16: Mapa de painel de lavra



Fonte: VALE (2018).

As sondas possuem três unidades, uma unidade perfuração, uma unidade de força e uma unidade de controle. Todo o sistema é hidráulico e as unidades são conectadas por mangueiras de vários diâmetros como mostrado na figura 17.

**Figura 17: Foto das mangueiras conectando as unidades**



Fonte: Vale (2018).

Na unidade de força estão localizadas as duas bombas hidráulicas, uma com vazão de 34 gpm e outra de 6 gpm, responsáveis por toda a propulsão hidráulica da sonda. Ambas são acionadas por um motor elétrico de 75 Hp, acoplado a um redutor. Existe ainda um tanque com capacidade de 150 litros de óleo hidráulico.

Na unidade de controle estão localizadas as válvulas e manômetros para controle das funções da sonda. É na unidade de controle que se posiciona o operador durante o período em que a sonda permanece em operação, orientando os auxiliares durante as atividades e executando o comando dos movimentos da sonda.

A unidade de perfuração possui um mandril hidráulico, acoplado a um redutor, com movimentos de rotação, de abrir e fechar e de deslocamento para frente e para trás. Possui também uma morsa hidráulica fixada na frente, utilizada para prender as hastes no momento da colocação e retirada destas do furo. Temos ainda um cilindro hidráulico que faz o movimento de vai e vem do conjunto do mandril e redutor.

Na Figura 18 tem-se a unidade de força (3), unidade de controle (4) e unidade de perfuração (1 e 2).

**Figura 18: Unidades das sondas**



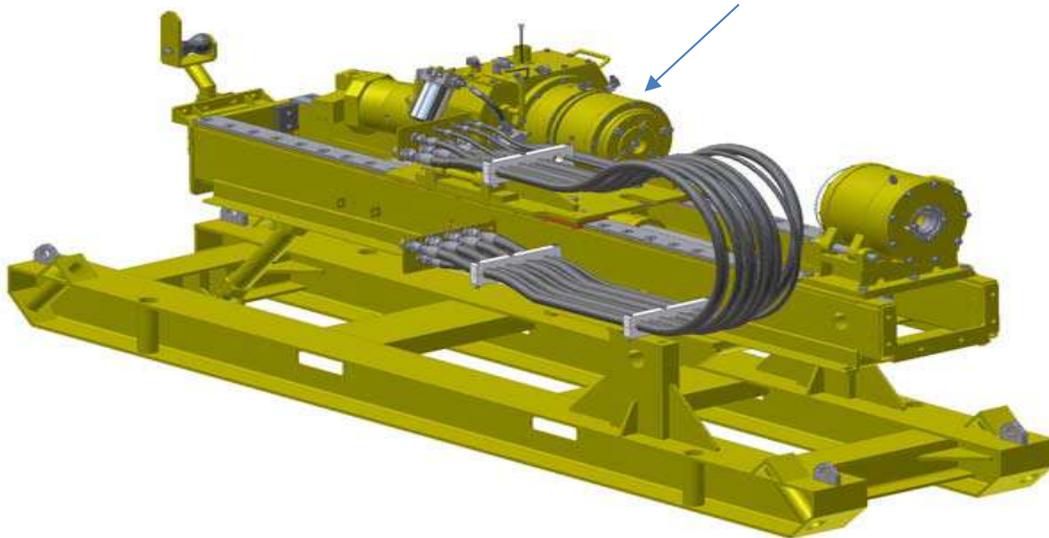
Fonte: Vale/cortesia Atlas copco (2018)

Foram adotados dois indicadores aplicados na manutenção das frentes de sondagem. Esta escolha baseou-se na composição das turmas de manutenção e na rotina já existente do pessoal da preditiva e preventiva. Estes indicadores funcionam como uma amostra do comportamento dos equipamentos da sondagem.

Os indicadores escolhidos foram Disponibilidade Física (DF) e Utilização (IMO). A fórmula de cálculo deles já foi mostrada nas seções 2.3 e 2.7.1, respectivamente. Além destes, foi também utilizado um indicador operacional para mensurar a produção da sondagem. Foi adotada a produtividade (m/h) para utilizar como indicador operacional (seção 2.4).

Foi escolhido o item mandril, localizado na unidade de perfuração, para análise neste trabalho devido ao alto índice de falha apresentado, impactando num número de horas paradas bastante expressivo (Figura 19).

**Figura 19: Unidade de Perfuração (mandril)**



Fonte: Vale/cortesia Atlas copco (2018)

### **3.2 Etapas de Desenvolvimento do Trabalho**

Na primeira etapa realizou-se um levantamento das maiores falhas que fazem parte da sondagem, com o objetivo de se conhecer o cenário do problema. Este conhecimento foi primordial para se realizar a classificação dos equipamentos quanto à sua criticidade, ou seja, quanto ao grau de importância do equipamento para o processo produtivo. Os registros utilizados para classificação foram extraídos do banco de dados do sistema Mina Operação, onde são anotadas as paradas operacionais e de manutenção.

Na fase seguinte, após a separação dos dados de interesse para a análise, foi estratificada a falha por equipamento, tipo e componente, fazendo uso do desempenho por indicadores de Produtividade, Utilização e Disponibilidade. Esta estratificação visa uma melhor identificação da maior contribuição para que o ativo fique indisponível para operar.

A próxima fase, após a estratificação, foi o tratamento através da construção da FMEA objetivando separar o (s) modo (s) de falha (s) mais crítico (s), salientando que o trabalho visa abordar o problema no item.

A fase seguinte compreendeu a construção do PDCA para determinação das causas e possíveis ações de bloqueio. Nesta fase será utilizado o método MASP e suas ferramentas, para desdobramento dos problemas em outros menores.

Na fase de resultados apresentada em seguida, serão mostrados os efeitos do método e ferramentas usadas para melhorar o desempenho do item estudado e seu impacto nos resultados da sondagem.

Para o pessoal do PCM estes indicadores foram transformados em metas de fornecimento de materiais e componentes, a serem utilizados nas intervenções nos equipamentos. Significa dizer que o indicador foi convertido em uma ação mais adequada ao pessoal que trabalha no PCM.

Para o pessoal da execução também foi feita uma conversão dos indicadores em ações para os executantes nas intervenções durante as corretivas e preventivas.

Aos colaboradores da preditiva ficou a tarefa de acompanhar a situação dos equipamentos, alimentar as planilhas de acompanhamento e sinalizar para os demais envolvidos na manutenção a situação destes quanto aos valores coletados pela equipe de preditiva.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A correta identificação das falhas nos equipamentos de sondagem da Unidade Operacional Taquari Vassouras (UOTV), mais especificamente na sonda J, evidenciando estas falhas como fator de impacto nos números de produção das equipes, com aumento dos custos operacionais, mostra a importância da implantação de um modelo para análise de falhas.

O impacto nos números de produção e o aumento nos custos operacionais indicam uma oportunidade de melhoria na sondagem executada na mina, como também pode ser levado para outras equipes, se observarmos a melhoria da disponibilidade proporcionada.

### **4.1 Preparação e Tratamento dos dados**

Na coleta dos dados para este trabalho utilizou-se o sistema “Mina Operação”, Este poderoso banco de dados é alimentado pelos operadores da sala de controle da mina 24 horas por dia. Nele são registradas as paradas operacionais e de manutenção de todos os equipamentos da mina, servindo como um importante aliado para tomada de decisões. O período observado foi de seis meses (01/01/2018 a 01/06/2018). Inicialmente foram observadas as paradas operacionais e de manutenção da sondagem, para que a observação fosse mais completa, contribuindo melhor para a interpretação dos dados.

Nesta fase todos os registros da sondagem feitos no sistema “Mina Operação” foram estratificados pelo tipo de parada, se operacional ou de manutenção, pelo equipamento, a duração e a descrição da parada. Estas variáveis foram agrupadas com o objetivo de verificar quais as mais relevantes durante o período observado. A ideia é usar os dados originais do banco para, a partir daí, deixar apenas para tratar os dados que dizem respeito à manutenção. Esta estratificação, porém, não altera a qualidade da informação do banco de dados, servindo apenas para a observação e análise deste trabalho.

O quadro 05 apresenta o modelo usado no sistema “Mina Operação” para registrar as paradas dos equipamentos da mina, incluindo os da sondagem.

**Quadro 05: Banco de dados usado na pesquisa**

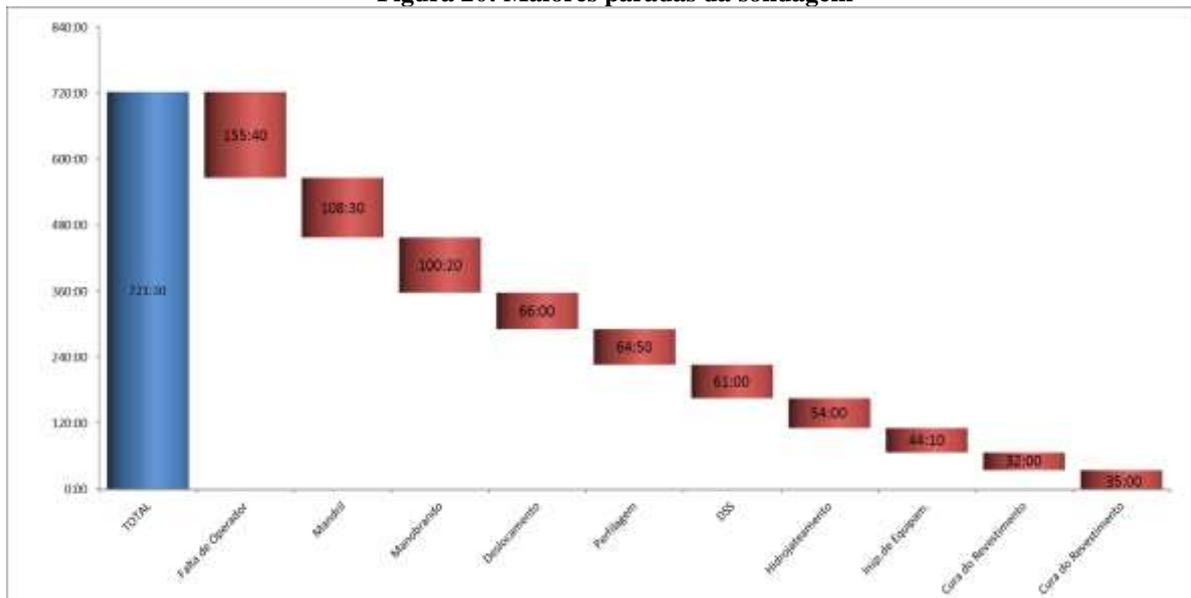
Data Inicial	Data Final	H Inicial	H Final	Equip / CM	Tipo de Parada	Descrição
01/01/18		18:30	18:50	SD-J	Operacional	Deslocamento
02/01/18		0:00	0:20	SD-J	Operacional	Deslocamento
02/01/18		6:20	6:50	SD-J	Operacional	Descanso
02/01/18		9:30	10:00	SD-J	Mecânica	Válvula
02/01/18		11:30	12:00	SD-J	Mecânica	Corret. Mecânica
02/01/18		12:30	13:00	SD-J	Operacional	Deslocamento
02/01/18		13:20	13:50	SD-J	Mecânica	Corret. Mecânica
02/01/18		16:40	17:40	SD-J	Operacional	Descanso
02/01/18		18:20	18:40	SD-J	Operacional	Deslocamento
02/01/18		21:30	22:30	SD-J	Mecânica	Mangueira Hidrául.
03/01/18		0:20	0:40	SD-J	Operacional	Deslocamento
03/01/18		6:00	6:20	SD-J	Operacional	Deslocamento
03/01/18		7:00	7:40	SD-J	Operacional	Descanso
03/01/18		12:20	12:40	SD-J	Operacional	Deslocamento
03/01/18		13:00	14:00	SD-J	Operacional	Cilin. de Avanço
03/01/18		20:20	20:40	SD-J	Operacional	Deslocamento
04/01/18		1:20	1:40	SD-J	Operacional	Deslocamento
04/01/18		3:00	6:00	SD-J	Elétrica	Corret. Elétrica
04/01/18		11:00	11:10	SD-J	Operacional	Descanso
04/01/18		14:10	14:40	SD-J	Operacional	Deslocamento
04/01/18		18:20	18:40	SD-J	Operacional	Deslocamento
04/01/18		19:00	19:40	SD-J	Mecânica	Corret. Mecânica

Fonte: Vale (2018)

Depois de preparar o banco de dados, o passo seguinte foi estratificar as paradas da sondagem que tivessem origem interna, ou seja, paradas pelas quais apenas o pessoal da sondagem fosse responsável. Desta forma foi possível fazer uma classificação das maiores paralizações que afetam a disponibilidade e a produção da sondagem.

Foram separadas as dez maiores paralizações no primeiro mês de observação e feita uma investigação mais apurada sobre os registros, tanto do banco de dados como dos relatórios dos operadores dos turnos, dia a dia. O resultado encontrado mostra a situação da sonda J, apresentada na Figura 20.

**Figura 20: Maiores paradas da sondagem**



Fonte: Vale (2018)

Dos dados coletados, do total de paradas da sonda, a maior delas é operacional, falta de operador, com um total de horas paradas de 155:40 horas. Ao analisar os relatórios dos operadores constatou-se que neste período havia um número maior de pessoas em gozo de férias, decorrente de uma demanda represada no final do ano anterior.

Outro dado de parada operacional que não depende do pessoal da sondagem é a parada por hidro jateamento com 54:00 horas. Esta parada se dá quando os poços de descida de pessoal param para limpeza por hidro jateamento. Nestas ocasiões, todas as operações no subsolo ficam paralisadas e os turnos ficam impedidos de descer.

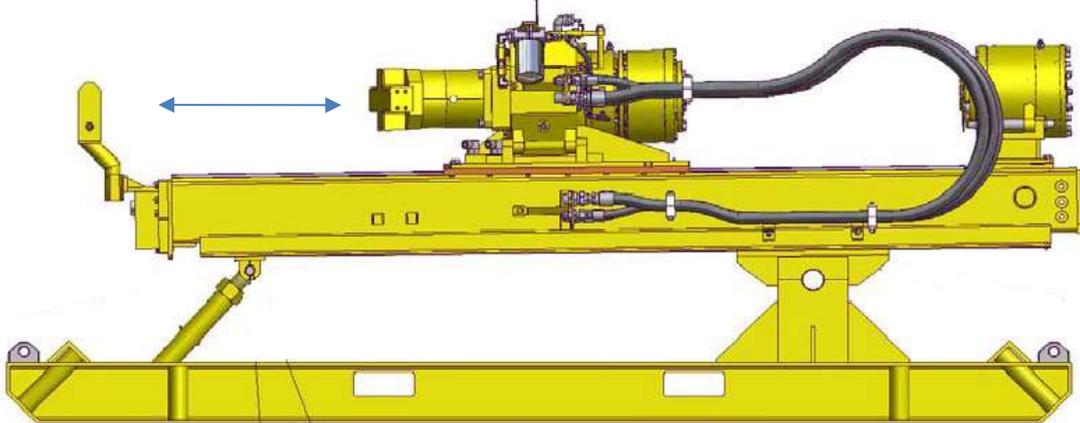
Observando as horas estratificadas levantadas percebe-se que, em se tratando de paradas por manutenção, o item mandril ocupa uma posição de destaque com um total de 108:30 horas de paralização nas duas sondas. Em termos percentuais isto corresponde a 15,03% do total de horas paradas para as duas sondas, o que equivale à soma das três últimas posições deste levantamento que são limpeza de equipamentos (44:10 horas), cura de revestimento (35:00 horas) e cura de revestimento (32:00 horas).

Ainda observando os dados coletados percebe-se também um número elevado de horas paradas na atividade manobrando, num total de 100:20 horas. Entende-se por manobra a operação em que é feita a colocação ou retirada de hastes do furo de sonda. Isto é feito sempre que se vai dar início a um desvio, trocar a coroa de perfuração, realizar a perfilagem ou uma operação de pescaria.

Pesquisando um pouco mais nas atividades operacionais e nos relatórios de operação, observa-se que é durante esta operação de manobra que o mandril sofre solicitações mais intensas, devido a uma frequência maior na abertura e fechamento, podendo este tipo de atividade estar associado ao seu modo de falha, que é o vazamento de óleo hidráulico pelas vedações.

A figura 21 mostra a unidade de perfuração com o conjunto do mandril e morsa e indica seu movimento para frente e para trás.

**Figura 21: Vista lateral conjunto do Mandril e Morsa**



Fonte: Vale/cortesia Atlas copco (2018)

A partir deste cruzamento de informações observou-se que o número de atividades de manobra durante a operação da sonda impactava diretamente na disponibilidade do mandril (definição de disponibilidade no item 2.3). Mandril em falha, sonda paralisada.

Esta disponibilidade aumentava em períodos em que a sonda executava operações onde predominavam a perfuração mais profunda, com uma maior produtividade. Por outro lado a disponibilidade diminuía em operações de perfuração menos profunda e com menor produtividade.

A operação de manobra em sondagem é uma atividade improdutivo, porém necessária. Nela as hastes são colocadas ou retiradas do furo, mas não há avanço em metros perfurados. Serve apenas para acessar a extremidade da composição para troca de coroas, perfilagens e operações de pescaria. Com o aumento da frequência de manobras o mandril apresentava vazamento, inicialmente pequeno, mas que se intensificava à medida que a rotina de manobras aumentava. Este vazamento ocorre entre a parte fixa e móvel, conforme a figura 22.

**Figura 22: Mandril e redutor (vazamento)**



Fonte: Vale/cortesia Atlas copco (2018)

Foi extraído do banco de dados, conforme estratificado por paradas operacionais, apenas as operações de manobra, buscando relacionar se as falhas do mandril estavam relacionadas com a frequência de manobras durante a operação. É o que observamos no quadro 06.

Verificou-se que, somente no primeiro mês observado, foram 60:40 horas manobrando. Este dado demonstra o alto índice de solicitação do mandril nas operações de sondagem, o que pode estar sobrecarregando o item levando-o à condição de falha (vazamento de óleo hidráulico). Em consulta com a equipe de assistência técnica do fabricante da sonda, foi informado que esse ritmo de manobras estava dentro do requerido para o equipamento.

**Quadro 06: Banco de dados com filtro operacional**

Data Inicial	Data Final	H Inicial	H Final	Equip / CM	Tipo de Parada	Descrição
02/01/15		10:00	11:30	Sonda J	Operacional	Manobrando
03/01/18		2:00	6:00	Sonda J	Operacional	Manobrando
03/01/18		11:20	12:00	Sonda J	Operacional	Manobrando
03/01/18		14:00	15:30	Sonda J	Operacional	Manobrando
04/01/18		19:40	21:20	Sonda J	Operacional	Manobrando
05/01/18		2:00	3:10	Sonda J	Operacional	Manobrando
07/01/18		1:40	3:00	Sonda J	Operacional	Manobrando
08/01/18		7:30	8:10	Sonda J	Operacional	Manobrando
08/01/18		14:30	18:00	Sonda J	Operacional	Manobrando
13/01/18		7:00	7:20	Sonda J	Operacional	Manobrando
13/01/18		20:40	21:20	Sonda J	Operacional	Manobrando
14/01/18		19:20	20:10	Sonda J	Operacional	Manobrando
15/01/18		8:00	9:20	Sonda J	Operacional	Manobrando
16/01/18		3:00	3:40	Sonda J	Operacional	Manobrando
16/01/18		13:30	14:00	Sonda J	Operacional	Manobrando
17/01/18		2:50	3:50	Sonda J	Operacional	Manobrando
17/01/18		7:00	8:00	Sonda J	Operacional	Manobrando
18/01/18		1:50	3:20	Sonda J	Operacional	Manobrando
18/01/18		21:50	24:00	Sonda J	Operacional	Manobrando
20/01/18		16:00	18:00	Sonda J	Operacional	Manobrando
21/01/18		8:00	9:40	Sonda J	Operacional	Manobrando
21/01/18		20:20	22:40	Sonda J	Operacional	Manobrando
23/01/18		19:00	21:40	Sonda J	Operacional	Manobrando
24/01/18		10:40	12:00	Sonda J	Operacional	Manobrando
24/01/18		13:20	15:00	Sonda J	Operacional	Manobrando
24/01/18		1:00	3:20	Sonda J	Operacional	Manobrando
25/01/18		22:30	24:00	Sonda J	Operacional	Manobrando
26/01/18		0:40	2:00	Sonda J	Operacional	Manobrando
26/01/18		11:20	12:00	Sonda J	Operacional	Manobrando
26/01/18		13:20	15:50	Sonda J	Operacional	Manobrando
26/01/18		22:00	23:40	Sonda J	Operacional	Manobrando
27/01/18		1:00	2:00	Sonda J	Operacional	Manobrando
27/01/18		8:50	11:40	Sonda J	Operacional	Manobrando
28/01/18		10:30	12:00	Sonda J	Operacional	Manobrando
28/01/18		19:00	19:30	Sonda J	Operacional	Manobrando
29/01/18		15:00	18:00	Sonda J	Operacional	Manobrando
31/01/18		19:20	23:30	Sonda J	Operacional	Manobrando

Fonte: Vale (2018)

Na tentativa de mensurar o impacto das paradas sobre as metas de desempenho de produção e ritmo, foram utilizados os registros de outro banco de dados chamado “Mina Controle”. Neste sistema foram apurados os indicadores disponibilidade (item 2.3), utilização (item 2.7.1) e produtividade (PROD). Nele também é registrado o orçamento de produção anual (e seus desdobramentos) de todas as gerencias da unidade. A sondagem tem suas metas anuais e mensais determinadas no início de cada ano, seguindo uma programação feita pelo planejamento de lavra para provisionamento de reserva e liberação de áreas para a produção. No quadro 07 demonstram-se os valores orçados dos indicadores de produtividade, utilização e disponibilidade, além da produtividade.

**Quadro 07: Banco de dados orçado produção sondagem**

Sonda		Orçado	Revisado \$RDP	Acumulado Jan	jan	fev	mar	abr	mai	jun
Metragem	m	Orç	24,817	0,838	0,838	2,780	3,092	2,988	3,092	2,988
		Forecast		0,000						
		R		1,59	1,593					
Disponibilidade Física	%	Orç	87,70%	96,75%	96,75%	83,35%	83,46%	83,43%	83,46%	83,43%
		Forecast								
		R		91,79%	91,79%					
Utilização	%	Orç	17,33%	6,04%	6,04%	26,57%	26,65%	26,63%	26,65%	26,63%
		Forecast								
		R		10,50%	10,50%					
Produtividade	m/h	Orç	6,21	6,42	6,42	6,23	6,23	6,23	6,23	6,23
		Forecast								
		R		7,40	7,40					

Fonte: Vale (2018)

Com base no banco de dados “Mina Controle” orçado apresentado no quadro 06 para a produção da sondagem, observa-se uma meta anual de 24.817 metros perfurados. Pelo realizado no mês de janeiro (91,79%) verifica-se uma perda de aderência (item 2.7.2) no indicador disponibilidade de 4,96, equivalendo a 5,12% de descolamento da meta, o que pode estar associado também às falhas no mandril. Projetando este percentual para os demais meses e correlacionando com a meta de produção anual, temos um débito mensal de 105,88 metros, reduzindo o ritmo anual para 23.546,40 metros, o que significa um recuo anual na produção de 1.270,60 metros. Este número corresponde a 45,7% do volume de produção orçado para o mês de fevereiro, como observado no quadro 06.

Para ilustrar melhor a importância do tratamento da falha e o impacto das perdas de produção, a tabela 01 apresenta os resultados com valores de metros perfurados e o lucro cessante (item 2.7.3) que a disponibilidade baixa do equipamento provoca.

**Tabela 01: Perda financeira com as paradas**

CÁLCULO DO LUCRO CESSANTE DIRETO						
Equipamento	Ritmo anual(m)	Perda no ritmo(%)	Novo ritmo anual(m)	Perda(m)	Preço médio/metro(R\$)	Perda(R\$)
Sonda J	24817	2,56	24181,7	635,3	740,0	470133,2

Fonte: Vale (2018)

Nesta tabela 01 é apresentada a perda de produção na sonda J em função da perda de aderência da disponibilidade, que é o tempo que a sonda fica disponível para operação.

A perda de ritmo de 5,12% ao ano foi rateada entre as duas sondas, ficando para a

sonda J uma perda de 2,56%, o que equivale a 635,3 metros. O valor médio do metro perfurado para mina subterrânea de potássio tem um valor aproximado de R\$ 740,00. Em sondagem, quando se trata de produção em metros perfurados, está se referindo a todo o processo de perfuração, classificação, identificação, perfilagem e descrição litológica,

A disponibilidade baixa, inferior ao orçado para a sondagem, indica uma oportunidade de melhoria como alternativa de aumento da produção, podendo ser alcançada com o tratamento das falhas e uma melhor gestão da manutenção, proposta deste trabalho.

## 4.2 Análise das Falhas e da Confiabilidade

Um levantamento realizado no banco de dados sobre as horas paradas permitiu efetuar o cálculo do MTBF e MTTR da sonda em função das paradas de manutenção, utilizando as fórmulas das seções 2.7.4 e 2.7.5, respectivamente. Foi encontrado um valor de MTBF igual a 8,57 horas e um MTTR igual a 1,91 horas. Para os cálculos foram utilizados os dados das tabelas 02 e 03.

$$MTBF = \frac{720}{84} = 8,57 \text{ horas}$$

$$MTTR = \frac{161,2}{84} = 1,91 \text{ horas}$$

Com os valores encontrados destes dois indicadores, trazendo para a linguagem operacional, significa dizer que a sonda opera em média 8,57 horas sem falhas, quando então ocorre algum tipo de anomalia ou modo de falha e se consome em média 1,91 horas com manutenção para o retorno à condição normal de operação.

**Tabela 02: Dados para MTBF e MTTR**

Equipamento	Dias de Amostras	Total de Horas	Utilização	Total de Horas
Sonda J	30	720	0,17	122,4

Fonte: Vale (2018)

**Tabela 03: Cálculo de MTBF e MTTR do mandril**

Equipamento	Nº de Falhas	Tempo de parada	MTBF	Taxa de Falha ( $\lambda$ )	MTTR	Taxa de Reparo ( $\mu$ )
Sonda J	84	161,2	8,571	0,102	1,919	0,023

Fonte: Vale (2018)

Analisando a tabela de cálculo do MTBF e MTTR, observa-se uma taxa de falha de 0,102 falhas/hora e uma taxa de reparo de 0,023 reparos/hora. Como o cálculo destas taxas é feito pela média, os valores de ocorrência reais podem variar um pouco para mais ou para menos.

Depois de encontrado o valor da taxa de falha ( $\lambda$ ) foi possível determinar o valor da confiabilidade (R) através da equação da seção 2.2.1.

O resultado demonstra uma confiabilidade de 2,98% para um tempo de operação de 122,4 horas, conforme tabela abaixo. Também foi possível determinar a função probabilidade de falha (F) utilizando a equação da seção 2.4, encontrando 97,02% de probabilidade para a falha com os valores da tabela abaixo. A confiabilidade de um item está ligada ao tempo de operação. Como este tempo de operação exprime o indicador de utilização, quanto maior o indicador, melhor será a confiabilidade deste item, sob o olhar da manutenção, desconsiderados demais parâmetros.

Observando-se o alto número de horas de falha do mandril percebe-se a razão de se encontrar uma confiabilidade baixa. Objetivando confirmar o comportamento da confiabilidade, foi feita uma simulação, mantendo-se alguns valores encontrados como o MTBF e o MTTR e foi alterado o valor do indicador de utilização. Os resultados estão colocados na Tabela 04.

**Tabela 04: Cálculo da confiabilidade do mandril**

Equipamento	Nº de Falhas	Tempo de parada	MTBF	Taxa de Falha ( $\lambda$ )	MTTR	Taxa de Reparo( $\mu$ )	Dias de Amostras	Total de Horas	Utilização	Total de Horas	R(t)
Sonda J	84	161,2	8,571	0,102	1,919	0,023	30	720	0,17	122,4	2,986E-05
Sonda J	84	161,2	8,571	0,102	1,919	0,023	30	720	0,16	115,2	5,511E-05
Sonda J	84	161,2	8,571	0,102	1,919	0,023	30	720	0,15	108	0,0001017
Sonda J	84	161,2	8,571	0,102	1,919	0,023	30	720	0,14	100,8	0,0001877
Sonda J	84	161,2	8,571	0,102	1,919	0,023	30	720	0,13	93,6	0,0003465
Sonda J	84	161,2	8,571	0,102	1,919	0,023	30	720	0,12	86,4	0,0006396

Fonte: Vale (2018)

Foi observado que ao se reduzir a taxa de utilização, mantendo-se o mesmo MTBF e MTTR, vinculados ao mesmo número de falhas, a confiabilidade aumentava, saltando de 2,98% com a utilização de 0,17 (17%) para o valor de 63,96% com a utilização em 0,12 (12%). A função probabilidade de falha F(t) também sofreu alteração e foi para 36,04%.

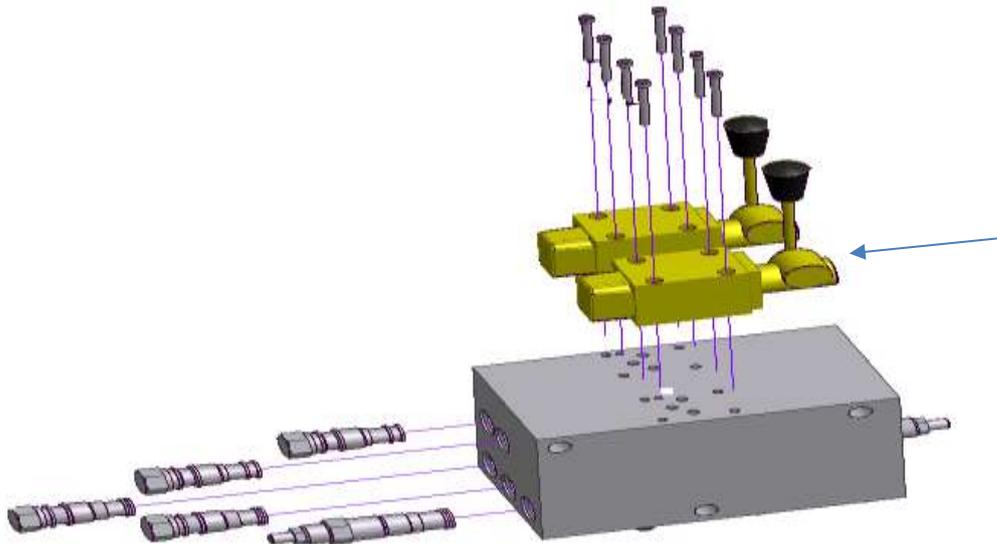
Com o resultado desta análise foi possível visualizar que o aumento da confiabilidade tem dependência direta da variável tempo, mas também da frequência com que as falhas ocorrem no item, equipamento ou sistema.

Para este caso, mantidos os valores apresentados na tabela, o melhor intervalo de manutenção preventiva no mandril está em 86,4 horas com uma confiabilidade do equipamento de 63,96% e o indicador de utilização em 12%. Esta taxa de utilização, porém, indica um baixo uso do equipamento, justificando o aumento na confiabilidade apesar do número elevado de falhas no período. É conhecido como confiabilidade pelo desuso.

Com a identificação da taxa de falhas, taxa de reparos, confiabilidade e probabilidade de falhas, o próximo passo foi o de buscar as causas para um número elevado de falhas por vazamento no mandril.

No fluxograma funcional da função acionamento do mandril, a operação de abertura e fechamento é feita através de válvulas direcionais localizadas na unidade de comando. É uma válvula de quatro vias e duas posições, aberto e fechado, utilizando uma pressão de trabalho de 1.600 psi. O ajuste da pressão é feita por válvulas de cartucho localizadas no mesmo bloco de alumínio onde também estão as válvulas direcionais, conforme mostra a figura 23.

**Figura 23: Bloco e válvula do Mandril**



Fonte: Vale/cortesia Atlas copco (2018)

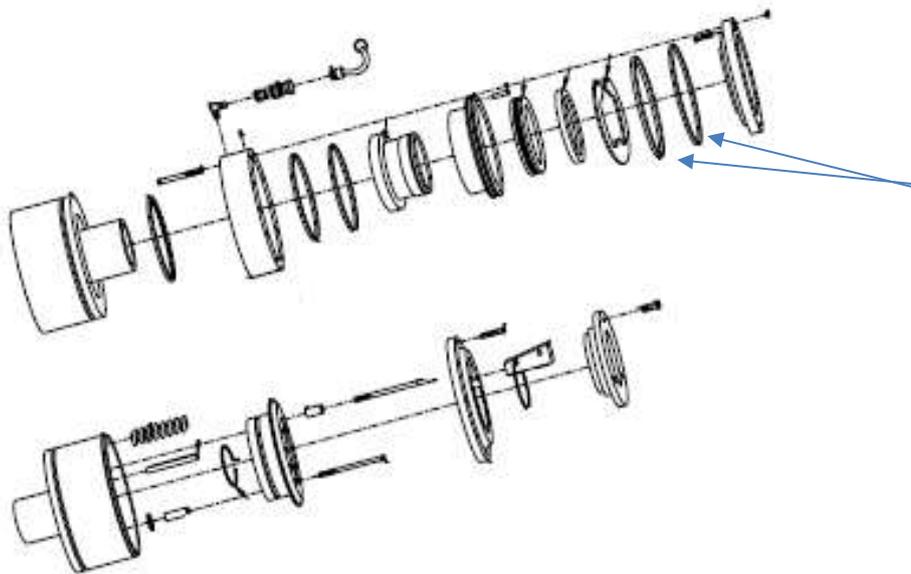
Após uma avaliação no sistema de acionamento do mandril, verificou-se que a pressão existente no ponto de entrada do bloco, antes de chegar à válvula direcional, correspondia à pressão de trabalho.

No próprio bloco de alumínio há um ponto de tomada de pressão para esta finalidade, prevista pelo fabricante. Foi solicitada também ao pessoal da equipe de inspeção preditiva uma avaliação de trincas no bloco através do uso de líquido penetrante, não revelando nenhum resultado que indicasse vazamento.

O desenho mostrado na figura 24 foi retirado do catálogo de peças do equipamento e nele é mostrado o mandril em vista explodida.

Observa-se que o esforço exercido pelo óleo hidráulico se dá apenas nos elementos de vedação, responsáveis por conter o óleo nas câmaras a fim de empurrar o êmbolo para frente e para trás, proporcionando respectivamente o fechamento e a abertura do mandril. Estas vedações são trocadas a cada preventiva que é feita na sonda conforme o plano de manutenção de 52 semanas existentes no sistema SAP. Na figura 27 observam-se em detalhe estas vedações através da vista explodida do mandril.

**Figura 24: Vista explodida do Mandril**



Fonte: Vale/cortesia Atlas copco (2018)

Como forma de diminuir a abrangência da análise do trabalho, foi desdobrada a construção da Análise do Modo e Efeito de Falha (FMEA) no nível de componente. O componente selecionado foi o mandril em virtude do alto índice de falhas.

O Quadro 08 apresenta a planilha com o modo de falha vazamento de óleo hidráulico, suas principais causas e efeitos e também as ações de bloqueio para cada tipo de falha.

É possível também encontrar o NPR ou Nível de Prioridade de Risco do item, equipamento ou sistema a partir do produto dos indicadores de severidade, ocorrência e detecção.

De acordo com a metodologia, o modo de falha vazamento, tendo como causas o alojamento das vedações fora de especificação e a falta de material de vedação apresentou o pior resultado de NPR.

Ainda de acordo com esta metodologia, o NPR tem como resultado a criticidade de cada modo de falha quantificado, indicando também onde devem ser implementadas ações para redução das taxas de ocorrência, severidade e detecção.

**Quadro 08: Resultado FMEA modo de falha vazamento**

ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA DO PROCESSO FMEA - Processo de sondagem				Número: 0001				Revisão:			
Equipamento 14 SD J( sonda J)		Processo: Sondagem						Equipe de trabalho:			
Nome do componente	Função do componente	Modos de falha	Efeitos potenciais da falha	Índice Severidade	Classif.	Causas potenciais de falha	Índice Ocorrência	Controles atuais do processo de prevenção	Controles atuais do processo detecção	Índice Detecção	NPR
Mandril	Abertura e fechamento dos mordentes	Vazamento	Escorregamento nas hastes	7		Fluido fora de especificação	5	Realizar seleção do lubrificante adequado com apoio do fabricante e especialista	Uso de fluido certificado	5	175
				7		Vedação fora de especificação	3	Revisar plano de manutenção preventiva e reciclagem com equipes	Fornecedor nacionalizado	5	105
				7		Alojamento fora de especificação	5	Realizar análise dimensional com parâmetros do manual do fabricante	Uso de documentação própria e atualizada	6	210
				7		Erros de montagem	3	Revisar plano de manutenção preventiva e reciclagem com equipes	Controle de Qualidade	5	105
				7		Aquecimento	3	Verificar parâmetros de tolerancias entre as partes fixa e móvel	Uso de documentação própria e atualizada	5	105
				7		Erros de operação	3	Revisar procedimento de operação e reciclar equipes no PRO	Fixação de PRO atualizado no local de operação	3	63
				7		Contaminação do fluido hidráulico	5	Verificar	Seguir plano de lubrificação existente	5	175
				7		Falta de material de vedação	6	Rever níveis de estoque com equipe de suprimento	Planejamento segue plano de sobressalentes	5	210

Fonte: Vale (2018)

A partir da identificação dos valores de NPR mais críticos (210, moderado) foi possível separar as causas que mais interferem no desempenho do mandril e provoca a paralização da operação da sonda.

A elaboração da FMEA proporciona a padronização de uma lista de modos de falhas e deve ser usada no sistema de registro de paradas de manutenção. O NPR encontrado é usado pelo pessoal responsável pelo tratamento das falhas na tomada de decisões.

De posse das informações levantadas a partir da FMEA o pessoal do planejamento da manutenção, responsável pela programação das equipes de manutenção, sobressalentes e materiais insere os dados no sistema utilizado pela companhia. Atualmente a empresa utiliza o sistema de manutenção SAP, de origem alemã, para gerenciamento da manutenção. Este sistema dispõe de várias funcionalidades que auxiliam na gestão e planejamento da manutenção. A Figura 25 mostra um modelo deste sistema.

**Figura 25: Sistema SAP**

The screenshot shows the SAP 'Modificar Inspeção Sensitiva Portos' interface. Key fields include:

- Order:** PIPS 4186681, Object: IS MEC ADUTORA AD01 60-D
- Stat.sist.:** LIB CAPC CCOP SCDM, AGLB
- Responsáveis:** Gr.planej. PIB / PIB2, Porto - TMIB; CenTrabRes MPPP1\_M / PIB2, TURMA PLANEJ. ...
- Datas:** InícioBase 18.08.2018, Fim-base 18.08.2018, Prioridade 3 Importante
- Objeto de referência:** LocInstal. IB-3840-AD01, ADUTORA 01
- 1ª operação:** Operação INSPECAO SENSITIVA MECANICA ADUTORA\_60\_D, ChvContr PM01, Tp.ativ. HHM, Trb.empr. 2, Número 1, Dur.Oper. 2

Fonte: Vale (2018)

Com o conhecimento do comportamento das falhas, seu impacto na produção da sonda e com os resultados da análise através da FMEA no controle das falhas, a próxima fase será submeter o problema à análise através do MASP (item 2.6) para se chegar à causa raiz ou causas raízes das falhas do mandril da sonda.

Uma vez definido o problema, vazamento de óleo hidráulico pelo mandril, foi utilizada outra ferramenta conhecida como *Brainstorming*, ou tempestade de ideias.

Para a execução do *Brainstorming* foi convocada uma reunião multidisciplinar com a presença de especialistas das áreas de operação, manutenção, preditiva, oficina e suprimentos.

Foram colocadas as perguntas logo ao iniciar a reunião: a primeira pergunta questionava qual o item que mais quebrava na sonda e a segunda, o que causa vazamentos no mandril. As respostas que surgiam, de maneira aleatória, baseada em ideias e hipóteses, foram listadas para análise posterior. O resultado é o que consta no quadro 09.

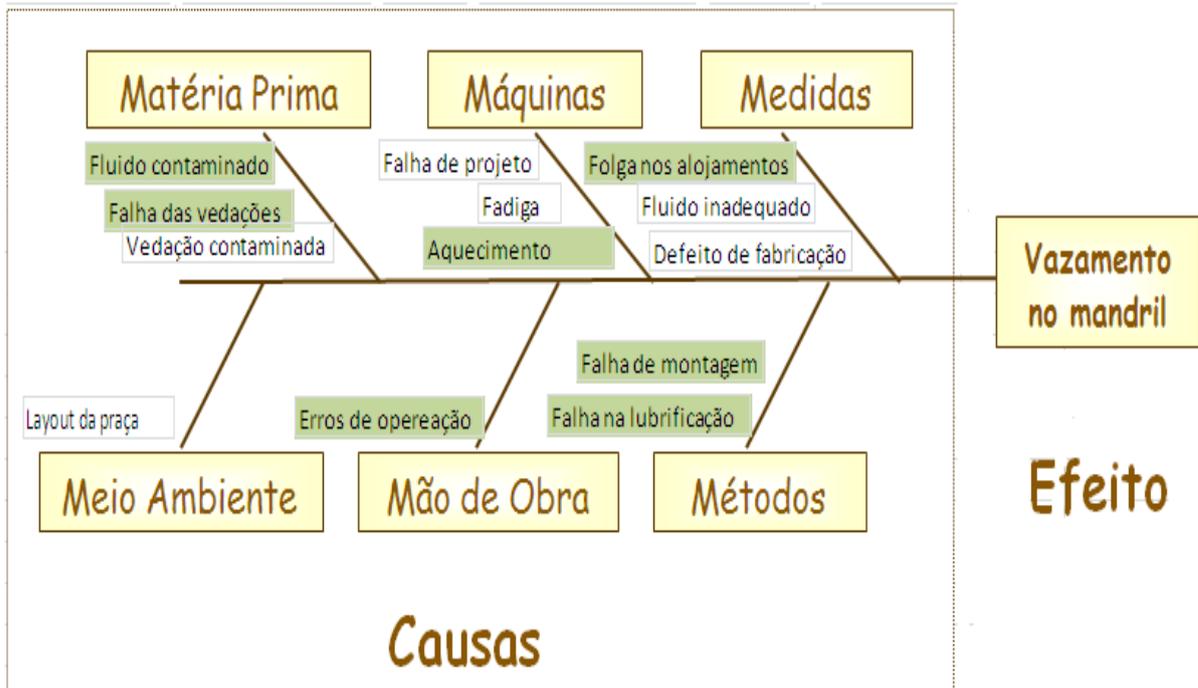
**Quadro 09: Resultado do *Brainstorming***

BRAINSTORMING SONDAGEM FEV/2018	
<b>Pergunta 1</b>	<b>Qual o item que mais quebra na sonda?</b>
Respostas	Mandril
	Cilindro de avanço
	Morsa
	Redutor
	Bombas
	Cabeça de corte
<b>Pergunta 2</b>	<b>O que causa vazamento no mandril?</b>
Respostas	Falha da vedação
	Vedação inadequada
	Fluido contaminado
	Folga nos alojamentos
	Fluido inadequado
	Falha de montagem
	Erros de operação
	Aquecimento
	Sobrecarga
	Defeito de fabricação
	Fadiga dos componentes
<b>Participantes</b>	
Nome	Função
Rubval Santos	Técnico Mecânico Preventiva
Newton Santos	Responsável pela Oficina Central
Renato Mascarenhas	Técnico de Preditiva
Claudio Lacerda	Técnico de PCM
Thiago Moreira	Técnico de Suprimento
Márcio Barbosa	Técnico de Sondagem

Fonte: Vale (2018)

As ideias e sugestões levantadas no *Brainstorming* foram submetidas à validação e as que apresentaram potencial foram encaminhadas para a etapa seguinte, o diagrama de Ishikawa, que também faz parte do MASP. O diagrama encontra-se ilustrado na figura 26.

Figura 26: Diagrama Ishikawa para efeito vazamento



Fonte: Vale (2018)

As causas ou hipóteses melhor fundamentadas levantadas nesta etapa estão em destaque na cor verde no diagrama. Estas causas levantadas precisam de testes para que sejam validadas ou serem aferidas de que realmente são causas prováveis.

Esta aferição foi feita aplicando a técnica dos “5 porquês”. Esta técnica demonstrou as causas fundamentais e que podem ser consideradas como causas prováveis para o vazamento do mandril, demonstrado aqui no quadro 10.

A presente técnica foi conduzida de forma a responder como as causas identificadas como prováveis levam à falha do componente, neste caso o mandril.

Apenas uma observação a ser feita nesta atividade: o quesito falta de material não foi abordado pela ferramenta, mas seu impacto deve ser considerado mais à frente.

**Quadro 10: Técnica dos “5 Porquês” na sondagem**

TÉCNICA DOS "5 PORQUÊS"		
	PORQUÊ?	PORQUÊ
CAUSA 1	Fluido contaminado	O lubrificador não está seguindo o procedimento
	O lubrificador não está seguindo o procedimento	Falta de treinamento adequado nesta modalidade
	Falta de treinamento adequado nesta modalidade	A rotina de trabalho dificulta programar treinamento
	A rotina de trabalho dificulta programar treinamento	
CAUSA 2	Falha das vedações	O óleo hidráulico goteja pela saia do mandril
	O óleo hidráulico goteja pela saia do mandril	As vedações se danificam precocemente
	As vedações se danificam precocemente	Envelhecimento prematuro da borracha
	Envelhecimento prematuro da borracha	
CAUSA 3	Folga nos alojamento	Pouca dificuldade na colocação das vedações
	Pouca dificuldade na colocação das vedações	Sulco na peça está com largura excessiva
	Sulco na peça está com largura excessiva	Desgaste e envelhecimento da peça
	Desgaste e envelhecimento da peça	
CAUSA 4	Erros de operação	Falta de treinamento de reciclagem operacional
	Falta de treinamento de reciclagem operacional	Equipe reduzida e falta de estrutura
	Equipe reduzida e falta de estrutura	Pessoas em férias e falta de monitor
	Pessoas em férias e falta de monitor	
CAUSA 5	Falha de montagem	Falta de treinamento de reciclagem da manutenção
	Falta de treinamento de reciclagem da manutenção	Equipe jovem e falta de estrutura
	Equipe jovem e falta de estrutura	Recente estruturação da equipe de manutenção
	Recente estruturação da equipe de manutenção	
CAUSA 6	Falha na lubrificação	Rotina do lubrificador está serrotada
	Rotina do lubrificador está serrotada	Frequentemente ele é deslocado para outra tarefa
	Frequentemente ele é deslocado para outra tarefa	Equipe pequena para uma demanda elevada na mina
	Equipe pequena para uma demanda elevada na mina	
CAUSA 7	Aquecimento	Movimento radial excessivo da saia do mandril
	Movimento radial excessivo da saia do mandril	Folga excessiva entre a caixa de molas e a saia
	Folga excessiva entre a caixa de molas e a saia	Desgaste e envelhecimento da peça
	Desgaste e envelhecimento da peça	

Fonte: Vale (2018)

Depois de aplicada a técnica dos “5 porquês”, o próximo passo foi elaborar o plano de ação 5W1H, outra ferramenta que também está contida no MASP. Pelo fato de algumas ações necessitarem de prazos mais longos para serem efetivadas, seja por demandarem de serviços externos, seja por necessidade de um período de maturação e observação para atestar sua eficácia, estas poderão não ter o giro do PDCA completo no período de observação deste trabalho. As ações propostas de bloqueio ou minimização das causas que levam o mandril à falha por vazamento estão no Quadro 11.

Quadro 11: Plano de ação de bloqueio

PLANO DE AÇÃO						
Ações						
CAUSA	O QUÊ	PORQUÊ	COMO	ONDE	QUEM	QUANDO
1	Programar treinamento de reciclagem para os lubrificadores	Evitar a contaminação durante a lubrificação das sondas	Mensalmente, durante as paradas mensais dos poços	Sala da Gamaw	Carlos Paixão	mar/18
2	Verificar junto à KGF modelo mais adequado de vedação	Melhorar ou substituir vedação atual que apresenta envelhecimento precoce	Solicitação de serviço externo para desenvolvimento de novo anel de vedação	PCM	Carlos Paixão	mar/18
3	Levantar dimensional e usinar peça, se necessário	Evitar excesso de folga da vedação no seu alojamento	Medição da peça pelo pessoal da usinagem na oficina central	Oficina central	Newton Santos	mar/18
4	Programar treinamento de reciclagem de operação no campo	Corrigir falhas operacionais que podem potencializar vazamentos	Mensalmente, durante as paradas mensais dos poços	Sala da Gagew	Afonso Carvalho	mar/18
5	Revisar PRO da manutenção e reciclar a seção montagem	Diminuir o número de falhas na montagem do mandril durante as preventivas	Mensalmente, durante as paradas mensais dos poços	Sala da Gamaw	Carlos Paixão	mar/18
6	Cumprir rotinas de lubrificação nas sondas	Manter rotinas de intervalos de lubrificação, evitando insuficiências	Liberção para que também o auxiliar efetue a lubrificação mediante treinamento	Sala da Gamaw	Carlos Paixão	mar/18
7	Levantar dimensional e usinar peça, se necessário	Garantir dimensional com interferências adequadas entre as partes fixa/móveis	Medição da peça pelo pessoal da usinagem na oficina central	Oficina central	Newton Santos	mar/18
8	Aterar níveis de estoque das vedações das sondas	Evitar furos de estoques que comprometam a manutenção	Alterando gatilhos de ressurgimento e níveis mínimo e máximo do item	Almoxarifado central	Robson Viana	mar/18

Fonte: Vale (2018)

As falhas por vazamento no componente mandril das sondas da unidade da UOTV possuem várias variáveis. A análise de falha realizada demonstra que o componente mandril, como ativo da manutenção, é o que mais contribui para as paradas da sondagem.

O estudo da estratificação destas falhas, com o cálculo do MTBF e MTTR, indica que o alto índice de falha no mandril tem relação com a queda da disponibilidade. Esta queda provoca a redução da taxa de utilização, o que reduz a produção da sondagem. Esta análise demonstrou como alternativa a redução dos intervalos de preventiva para que a troca fosse feita, de forma antecipada, nas datas da manutenção preventiva, com um intervalo máximo de 86,4 horas.

Porém, ela foi feita considerando-se uma taxa de utilização inferior à praticada (12%), o que inviabiliza esta redução da frequência de preventivas.

A aplicação da ferramenta FMEA para tratamento da falha teve como objetivo a melhoria do MTBF e a elevação da disponibilidade, aumentando assim a utilização. Nela foi possível levantar algumas causas para o modo de falha e medir suas severidades (NPR). Com estas informações, as causas levantadas foram submetidas a outra análise através do MASP (*Brainstorming*, Ishikawa, 5 Porquês e Plano de Ação), desencadeando num plano de ação estruturado para a correção da falha e melhoria da disponibilidade. Este plano mostra ações cruzadas com outras áreas, como oficina central, operação, lubrificação e planejamento.

Nota-se que, através do uso de ferramentas adequadas, usando a técnica apropriada, é possível identificar causas que podem estar ocultas inicialmente. No início da análise a alternativa indicava a redução na frequência da preventiva, o que não aparece no plano de ação proposto no final do trabalho, após submeter as falhas às análises aqui demonstradas.

Segundo Tovar (2017), o uso da ferramenta FMEA para tratamento de falha mostrou-se eficaz na medida em que, seguindo os passos requeridos, foi possível eliminar a incidência de quebra do motor na máquina hot car, de transporte de coque da empresa ArcelorMittal em Santa Catarina. Nesta, com um custo de troca do motor da coqueira de R\$ 50.000,00, optou-se pela manutenção detalhada usando-se a FMEA.

Para ele, com o método de análise FMEA utilizado, foi possível atender as necessidades que a máquina requer. Foi possível a visualização dos efeitos/danos que as falhas causam, de forma direta, através da correção da falha com as funções dos componentes do motor Poclain.

## 5 CONCLUSÕES

Observou-se no desenvolvimento deste trabalho que a busca por conhecimento surgem a todo o momento, o que justifica a estrutura da fundamentação teórica, e que os problemas encontrados na pesquisa devem ser tratados de maneira sistêmica. As ferramentas que foram escolhidas para o desenvolvimento deste trabalho mostram ótimos resultados quando bem aplicadas. A FMEA, ferramenta utilizada para estudar as falhas, padroniza as informações e conduz a uma análise sistêmica, priorizando as ações de acordo com o grau de risco de cada falha. Em relação ao MASP, um método gerencial da qualidade, sua aplicação bastante prática mostrou-se eficaz no tratamento de problemas, fracionando em problemas menores através de suas ferramentas.

Apesar das falhas induzirem a uma ideia de comportamento aleatório, verificou-se que, com o uso de ferramentas adequadas é possível evidenciar comportamentos das falhas não observados inicialmente. Outro fator importante sobre as análises aqui feitas é o impacto financeiro causado pelas falhas ao longo do período. Quando somados os tempos de horas paradas por equipamento versus o custo desta condição, verifica-se um volume de recursos desperdiçados bastante significativo.

A convivência da manutenção com as falhas deve ser evitada ao máximo, sob o risco de levar as empresas a uma situação delicada do ponto de vista de sobrevivência operacional.

As ferramentas selecionadas para desenvolvimento deste trabalho demonstraram resultados satisfatórios, respeitando-se a sua correta aplicação e dentro de uma sistemática adequada.

Diante do exposto, conclui-se que todos os objetivos propostos no presente estudo foram atingidos, tendo em vista que os resultados apontaram problemas (falhas) de manutenção, mas também operacionais, e indicam as oportunidades de melhorias. Com o devido cumprimento do plano de ação sugerido, as falhas no mandril hidráulico das sondas podem ser reduzidas consideravelmente.

## REFERÊNCIAS

ABRAMAN. Palestra Sobre Estudo da Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade da Manutenção em Fornos **21º Congresso Brasileiro de Manutenção**, Aracaju. Aracaju, 06 de Setembro de 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 2004.

CAMPOS, Vicente Falconi, **Gerenciamento da Rotina do Trabalho do Dia-a-Dia**. 7ª ed. Belo Horizonte: IDNG Tecnologia e Serviços Ltda, 2004.

LAIRAIA, João Ricardo Barusso. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade, e Disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

MENEZES, Ivan Montenegro de; ALMEIDA, Magnus de Lelis. **Manual de manutenção Industrial**. Itabira: Cia Vale do Rio Doce, 2002.

MOURA, Cícero. **Apostila de Gestão da Manutenção**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, 2009.

PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Júlio Nascif. **Manutenção: Função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2003.

SCARTEZINI, Luís Maurício Bessa. **Análise e Melhoria de Processos**. Goiânia, 2009. Apostila 59 p.

SEIXAS, E.S. **Análise de Falhas, FMEA-FMECA**, Apostila de treinamento ABRAMAN. Rio de Janeiro, Abril de 2005.

SIQUEIRA, Iony Patriota de. **Manutenção Centrada na Confiabilidade**. Rio de Janeiro, RJ. Qualitymark Editora Ltda., 2005.

TAVARES, Lourival Augusto. **Manutenção centrada no negócio**. Rio de Janeiro: Novo Polo Publicações, 2005.

TOVAR, Pedro Henrique Heringer. **Análise FMEA para Aplicação da Metodologia de Manutenção Centrada na Confiabilidade: Estudo de caso em motor hidráulico Poclain**. Dissertação para Bacharelado. Vitória, 2017.

VALE, Companhia Vale do Rio Doce. **ANALÍTICO\_INFRA\_MAIO\_2018**. Planilha do Windows Microsoft Excel 2010. Rosário do Catete, 2018.

VALE, Companhia Vale do Rio Doce. **DISPUT\_SONDA\_JANEIRO\_2018**. Planilha do Windows Microsoft Excel 2010. Rosário do Catete, 2018.

VALE, Companhia Vale do Rio Doce. **KPIs\_FEVEREIRO\_2018**. Planilha do Windows Microsoft Excel 2010. Rosário do Catete, 2018.

VALE, Companhia Vale do Rio Doce. **PLANO\_MESTRE\_2018\_SONDA\_FORECAST**. Planilha do Windows Microsoft Excel 2010. Rosário do Catete, 2018.

XAVIER, Júlio Nascif. **Congresso Brasileiro de Manutenção** - Salvador, setembro de 1998.