

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
ADIBE DE OLIVEIRA CAETANO JUNIOR**

**METODOLOGIA DE ANÁLISE E SOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE  
MANUTENÇÃO: APLICAÇÃO EM UMA INDÚSTRIA DO SETOR ALIMENTÍCIO**

**DOURADOS  
2011**

**ADIBE DE OLIVEIRA CAETANO JUNIOR**

**METODOLOGIA DE ANÁLISE E SOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE  
MANUTENÇÃO: APLICAÇÃO EM UMA INDÚSTRIA DO SETOR ALIMENTÍCIO**

Monografia apresentada como requisito para conclusão do Curso de Engenharia de Produção oferecido pela Universidade Federal da Grande Dourados.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Costa Santos

**DOURADOS  
2011**

Adibe de Oliveira Caetano Junior

**METODOLOGIA DE ANÁLISE E SOLUÇÃO DE  
PROBLEMAS DE MANUTENÇÃO: APLICAÇÃO EM UMA  
INDÚSTRIA DO SETOR ALIMENTÍCIO**

Este trabalho de graduação foi julgado e aprovado para a obtenção do grau de Engenheiro de Produção conferido pelo Curso de Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal da Grande Dourados.

Dourados/MS, 16 de junho de 2011.

BANCA EXAMINADORA

.....  
Prof. Luciano Costa Santos

.....  
Prof<sup>ª</sup>. Cláudia Fabiana Gohr

.....  
Prof. Jorge da Silva Rodrigues Júnior

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente à Deus, que iluminou meu caminho durante toda essa jornada.

Ao meu orientador, Professor Doutor Luciano Costa Santos, pela sua dedicação, total disponibilidade e simpatia com que sempre me recebeu, pelas suas sugestões sempre pertinentes e pelos seus ensinamentos.

À meus pais, por toda ajuda e pelo apoio incondicional.

À minha namorada, pelo companheirismo, estímulo, amizade, carinho e paciência.

A todos os meus familiares, que muito desejam o meu sucesso.

A todos aqueles que colaboraram nessa pesquisa.

## RESUMO

Este trabalho buscou desenvolver uma metodologia de análise e solução de problemas de manutenção para uma indústria de grande porte do setor alimentício localizada na região de Dourados/MS, embasada em ferramentas de suporte que são encontradas na literatura e nas práticas da empresa. Os problemas considerados nesse trabalho são aqueles que afetam o índice de disponibilidade do OEE (Indicador de Eficácia Global de Equipamentos) da empresa, ou seja, os problemas que resultam nas paradas das máquinas da empresa. A metodologia criada para o estudo possui três etapas principais. A primeira etapa objetiva verificar qual o setor e dentro dele qual o equipamento com os problemas de manutenção que mais afetam a produção da empresa, a segunda etapa objetiva priorizar os problemas mais relevantes e a última etapa objetiva agir nesses problemas, encontrando soluções para corrigi-los. Como não foi encontrada nenhuma outra metodologia que fosse adequada às particularidades da área de manutenção da fábrica estudada, o autor teve de elaborar uma nova. Tal metodologia foi posta em prática e, posteriormente, avaliada a sua aplicabilidade dentro da empresa. Dentre os principais resultados, podem ser destacados a identificação do setor e equipamento com os maiores problemas de manutenção, a priorização do problema mais acentuado e as sugestões para corrigir esse problema.

**Palavras-chave:** Manutenção. Problemas de manutenção. Metodologia de análise e solução de problemas de manutenção.

## ABSTRACT

This study aimed to develop a methodology for analyzing and solving maintenance problems for a large manufacturing company located in the food sector in the region of Dourados, based on support tools that are found in literature and business practices. The problems considered in this work are those that affect the availability index of OEE (Global Effectiveness Indicator Equipment) company, ie, problems that result in downtime across the entire enterprise. The first stage aims to check what the industry and inside which the equipment with maintenance issues that most affect the company's production, the second step aims to prioritize the issues most relevant and latest phase aims to act on these problems, finding solutions to correct them. As there was no other methodology that is appropriate to the particular area of maintenance of the plant studied, the author had to draw up a new one. This methodology was implemented and subsequently evaluated its applicability within the enterprise. Among the main results can be highlighted to identify the sector and with major equipment maintenance problems, the prioritization of the problem more acute and suggestions to fix this problem.

**Key-words:** Maintenance. Maintenance problems. Methodology for analyzing and solving maintenance problems.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de um fluxograma ilustrando o processo de compra de uma calça.....	29
Figura 2 - Exemplo de um Diagrama de Pareto usado para qualificar os problemas que causam maiores efeitos.....	31
Figura 3 - Desenho ilustrativo do Diagrama de Ishikawa .....	32
Figura 4 - Exemplo ilustrativo do uso do Diagrama de Dispersão.....	33
Figura 5 - Exemplo ilustrativo de um Histograma dos diâmetros de tubulações.....	34
Figura 6 - Exemplo ilustrativo de uma carta de controle dos diâmetros de tubulações .....	35
Figura 7 - Exemplo ilustrativo de uma folha de verificação com registros de defeitos diários em certa máquina.....	36
Figura 8 - Extrato da planilha OEE da empresa, contendo apenas as dimensões que afetam o índice de disponibilidade por quebra em equipamentos.....	54
Figura 9 - Representação esquemática da metodologia para estudo dos problemas de manutenção.....	56
Figura 10 - Estrutura Administrativa da filial de Dourados/MS .....	64
Figura 11 - Fluxograma da linha de produção do setor de Termoprocessados .....	67
Figura 12 - Planilha OEE do setor Termoprocessados adaptada de forma a exibir os tempos de paradas por equipamentos .....	69
Figura 13 - Diagrama de Pareto dos problemas que ocasionaram as paradas da Formadora descritas na planilha OEE.....	72
Figura 14 - Diagrama de Causa e Efeito que esboça as causas raízes do problema na ponta do eixo .....	75

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Critério para avaliação das severidades dos efeitos de falha .....	41
Quadro 2 - Critério para avaliação das ocorrências das causas de falha .....	42
Quadro 3 - Critério para avaliação das detecções dos modos de falha no processo.....	43
Quadro 4 - As seis grandes perdas relacionadas aos três índices que formam o OEE.....	48
Quadro 5 - Resumo sistemático da primeira etapa .....	57
Quadro 6 - Resumo sistemático da segunda etapa .....	58
Quadro 7 - Resumo sistemático da terceira etapa.....	58
Quadro 8 - Tabela FMEA.....	61
Quadro 9 - Porcentagem do tempo de produção que é afetado por paradas de máquinas por setores .....	66
Quadro 10 - Observações sobre a parada da Formadora descritas na planilha OEE.....	71
Quadro 11 - Tipos de componentes da Formadora que ocasionaram as paradas .....	72
Quadro 12 - Aplicação da FMEA para analisar problemas de quebra no componente ponta do eixo .....	78



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA .....	10
1.2 OBJETIVOS .....	11
<b>1.2.1 Objetivo geral .....</b>	<b>11</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>11</b>
1.3 JUSTIFICATIVA .....	11
1.4 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO .....	12
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	13
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>14</b>
2.1 MANUTENÇÃO.....	14
<b>2.1.1 Conceito .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.2 Função e importância da manutenção .....</b>	<b>15</b>
2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS SERVIÇOS DE MANUTENÇÃO .....	17
<b>2.2.1 Manutenção corretiva .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2.2 Manutenção preventiva.....</b>	<b>18</b>
<b>2.2.3 Manutenção preditiva .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.4 Estratégias organizacionais de manutenção em equipamentos.....</b>	<b>20</b>
2.3 EVOLUÇÃO E NOVAS ABORDAGENS DE MANUTENÇÃO.....	21
<b>2.3.1 Manutenção Produtiva Total (MPT) .....</b>	<b>23</b>
<b>2.3.2 Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) .....</b>	<b>24</b>
2.4 FERRAMENTAS APLICADAS À MANUTENÇÃO.....	28
<b>2.4.1 Ferramentas da qualidade .....</b>	<b>28</b>
2.4.1.1 Fluxograma.....	29
2.4.1.2 Diagrama de Pareto .....	30
2.4.1.3 Diagrama de causa e efeito (Ishikawa).....	31
2.4.1.4 Diagrama de dispersão ou de correlação .....	32
2.4.1.5 Histograma .....	33
2.4.1.6 Cartas de controle .....	34
2.4.1.7 Folha de verificação.....	35
<b>2.4.2 Ferramentas de análise de falhas .....</b>	<b>36</b>
2.4.2.1 Análise dos Modos e Efeitos de Falha (FMEA).....	37

2.4.2.2 Análise de Árvores de Falha (FTA) .....	44
<b>2.4.3 Indicador de Eficácia Global de Equipamentos (OEE) .....</b>	<b>47</b>
2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	50
<b>3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>51</b>
3.1 CLASSIFICAÇÃO DE PESQUISA .....	51
3.2 UNIDADE DE ANÁLISE.....	52
3.3 COLETA E ANÁLISE DE DADOS.....	52
3.4 LIMITAÇÕES DO MÉTODO .....	55
3.5 METODOLOGIA DE ANÁLISE E SOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE MANUTENÇÃO..	55
<b>3.5.1 Verificar – definindo o escopo de análise .....</b>	<b>57</b>
<b>3.5.2 Priorizar – identificando problemas mais relevantes.....</b>	<b>58</b>
<b>3.5.3 Agir – aplicando a FMEA no problema priorizado .....</b>	<b>58</b>
3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	62
<b>4. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA.....</b>	<b>63</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA .....	63
4.2 ORGANIZAÇÃO DO SETOR DE MANUTENÇÃO NA EMPRESA .....	64
4.3 APLICAÇÃO .....	66
<b>4.3.1 Verificar – definindo o escopo de análise .....</b>	<b>66</b>
<b>4.3.2 Priorizar – identificando problemas mais relevantes.....</b>	<b>70</b>
<b>4.3.3 Agir – aplicando a FMEA no problema priorizado .....</b>	<b>73</b>
4.4 DISCUSSÃO SOBRE A APLICABILIDADE DA METODOLOGIA PROPOSTA .....	79
4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	80
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>82</b>
5.1 ATENDIMENTO AOS OBJETIVOS, PRINCIPAIS RESULTADOS E CONTRIBUIÇÕES .....	82
5.2 RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	83
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>84</b>

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Os dias de hoje são marcados pela forte concorrência entre as organizações produtivas. Por essa razão, uma das grandes metas de qualquer organização é o aumento de sua produtividade por meio da melhoria de seus produtos e, principalmente, de seus processos produtivos.

Problemas no processo de produção, como panes em equipamentos produtivos, são considerados transtornos para as organizações, pois eles afetam todo o planejamento de produção. Uma falha em um equipamento gargalo interromperá toda a produção acarretando no não cumprimento do plano traçado e na diminuição da produtividade da fábrica.

Falhas em equipamentos sempre existirão, por isso é dever do setor de manutenção corrigir e, de algum modo, minimizar o surgimento dessas falhas. Para tal finalidade, é de total importância a utilização de ferramentas metodológicas, pois podem auxiliar na análise de falhas de maneira a encontrar as raízes dos problemas, a propor soluções e a priorizar quais devem ser primeiramente atacadas.

Dentre as metodologias de análise de falhas encontradas na literatura, duas são amplamente destacadas por tratarem os problemas de forma clara e objetiva: a FMEA (do inglês *Failure Mode and Effects Analysis* ou Análise dos Modos e Efeitos de Falha) e a FTA (do inglês *Failure Tree Analysis* ou Análise de Árvores de Falha). Essas ferramentas geralmente são complementadas pelas tradicionais ferramentas da qualidade que compõem as metodologias de análise e solução de problemas (MASP).

Este Trabalho de Graduação apresenta um estudo na área de manutenção de uma indústria de grande porte do setor alimentício localizada na região de Dourados/MS. Como em qualquer empresa desse setor, observa-se o surgimento regular de falhas nos equipamentos, que logo são corrigidas pelo pessoal de manutenção. As falhas mais impactantes, ou seja, as que mais afetam a produção são registradas numa planilha conhecida como OEE (do inglês *Overall Equipment Effectiveness* ou Indicador de Eficácia Global de Equipamentos).

No entanto, muitas dessas falhas ocorrem novamente mesmo depois de corrigidas, ou seja, tornam-se, muitas vezes, frequentes, pois dificilmente são mais profundamente estudadas a fim de se chegar as causas que impactaram nesse efeito de falha. Isso se deve ao fato de a

empresa não possui uma metodologia já elaborada para analisar e propor soluções para os problemas de manutenção.

Nesse contexto, é possível a formulação de uma questão de pesquisa: Como o setor de manutenção dessa indústria deveria proceder para analisar as falhas em equipamentos de modo a extingui-las ou ao menos minimizá-las? Esse trabalho procura explorar tal questão através do desenvolvimento de uma metodologia de análise e solução de problemas de manutenção.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver uma metodologia de análise e solução de problemas de manutenção para uma indústria de grande porte do setor alimentício localizada na região de Dourados/MS utilizando ferramentas de suporte que são encontradas na literatura.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar a atuação na área de manutenção da empresa;
- Desenvolver uma metodologia com base na bibliografia e nas práticas da empresa;
- Aplicar essa metodologia e verificar sua aplicabilidade na empresa.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Na busca incessante das organizações por produtividade é de grande importância a utilização de indicadores, pois estes permitem que se façam avaliações de tudo que está relacionado com a produção. O Índice de Eficácia Global de Equipamentos (OEE) é um desses indicadores. Ele analisa, de forma integrada, a disponibilidade, o desempenho e a qualidade dos equipamentos de produção.

Sendo as falhas em equipamentos cada vez mais inadmissíveis nas organizações, o presente estudo é justificado, pois, estando o setor de manutenção diretamente relacionado com os equipamentos, ocorre que ele também está diretamente relacionado com o OEE:

qualquer problema que venha a surgir nos equipamentos produtivos irá impactar nesse índice e na produtividade da organização, sendo o setor de manutenção responsável por resolvê-lo. Desta forma, a manutenção é considerada um setor chave dentro das organizações que objetivam o aumento de sua produtividade.

Além dessa, outras justificativas são possíveis de serem citadas. Esse trabalho é de total importância e de grande contribuição dentro da área de Engenharia de Produção, pois a metodologia proposta nele visa à melhoria contínua de processos e de produtos, através da eliminação de falhas e, ainda, fornece informações preciosas que auxiliam o planejamento e controle da manutenção.

Com o término do presente trabalho será possível avaliar os resultados e as contribuições da aplicação prática dos conceitos teóricos usados, através de uma análise da metodologia criada e aplicada dentro da empresa.

O assunto tratado nesse trabalho é muito amplo, porém, pouco estudado, fornecendo grande potencial para estudos mais aprofundados futuramente.

Portanto, esse trabalho foi motivado pelos seguintes aspectos:

- Necessidade de uma manutenção em equipamentos mais eficaz em busca da maximização da produtividade;
- Contribuição para a área de Engenharia de Produção e para formação de um futuro profissional desta mesma área;
- Avaliação prática dos conceitos teóricos;
- Assunto de grande potencial, porém pouco estudado.

#### 1.4 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Esse trabalho foi feito dentro de uma indústria de grande porte do setor alimentício localizada na região de Dourados/MS envolvendo, inicialmente, todos os setores de produção dos quais, posteriormente, a metodologia proposta definiu um deles para o estudo piloto. O início da aplicação da metodologia foi no dia 15/03/2011 e seu término no dia 30/04/2011.

Foram considerados problemas em equipamentos, aqueles integrantes da planilha OEE, pois são aqueles considerados mais prejudiciais ao cumprimento do plano produtivo. Outros problemas não registrados na planilha foram descartados, por não afetarem de maneira mais grave a produção da indústria.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O segundo capítulo abordará toda a parte de revisão bibliográfica do presente trabalho. Sendo assim, serão apresentados aspectos relacionados à manutenção: seus conceitos, funções, importância e interface com a produção. Também, serão discutidas as mais importantes classificações da manutenção, sua evolução ao longo do tempo e as novas abordagens. Por conseguinte, serão discutidas as ferramentas que podem ser aplicadas à manutenção como a FMEA, a FTA e as mais importantes ferramentas da qualidade. Por fim, será brevemente abordado o indicador OEE (Indicador de Eficácia Global de Equipamentos).

O terceiro capítulo tratará dos procedimentos metodológicos acerca deste trabalho, principalmente sobre como desenvolvê-lo buscando atingir os objetivos. Nele será respondido como o estudo está estruturado metodologicamente e quais as abordagens e técnicas de pesquisa adotadas.

O quarto capítulo abordará a apresentação e a análise de resultados, ou seja, nele será relatado o que foi desenvolvido na prática, qual é o relacionamento entre o que foi observado na teoria e na prática e como melhorar o que foi observado na prática.

O quinto capítulo tratará das conclusões e considerações finais do trabalho. Nele será respondido se os objetivos foram atingidos e serão comentadas as lições aprendidas no decorrer do trabalho, a contribuição para a prática profissional da Engenharia de Produção e como esse estudo poderá ter continuidade.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No mundo atual a tecnologia vem evoluindo de forma cada vez mais rápida e as organizações para sobreviverem precisam buscar sempre se aperfeiçoar. Desta maneira, as organizações estão procurando, entre outras coisas, os melhores recursos tecnológicos e humanos, os melhores programas de qualidade, produtos mais competitivos e, não obstante, um bom plano de manutenção de seus equipamentos de produção.

Nesse contexto, este capítulo aborda os assuntos relacionados ao planejamento e controle da manutenção (PCM). Primeiramente é discutido sobre a manutenção, seus conceitos, importância e interface com a produção. Logo em seguida são abordadas as classificações da manutenção dentro das organizações. Em continuidade, discorre-se sobre a evolução das abordagens da manutenção e, finalizando esse capítulo, discutem-se as ferramentas da qualidade e de análise de falhas que podem ser usado no PCM.

### 2.1 MANUTENÇÃO

#### 2.1.1 Conceito

No contexto industrial, manutenção é o resultado dos esforços técnicos e administrativos para conservar ou recolocar qualquer tipo de componente deixando-o capaz de realizar sua função para qual foi criado (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS *apud* ALVES; FALSARELLA, 2009).

Para Slack *et al.* (2002) manutenção é uma denominação dada para se referir aos esforços das empresas para manter suas instalações, principalmente aquelas que têm funções básicas na produção de bens e serviços, prevenindo falhas, estando intimamente ligada à função produção. Vaz (1998) complementa tal afirmação dizendo que dentro de uma empresa a função manutenção está diretamente associada à função produção com características de prestadora de serviços contribuindo com o aumento da produtividade.

Já para Nepomuceno (1989) o termo manutenção é aquele dado aos reparos e consertos de todos os meios que permitam a produção, desde tesouras e agulhas às máquinas mais complexas, sem que para isso a atividade produtiva entre em colapso.

É possível perceber que diversas são as formas de se definir o termo manutenção. Então, se valendo de todos esses conceitos, a manutenção poderia ser definida como o ato de tentar manter, visual e/ou funcionalmente, qualquer componente sempre no mesmo estado

inicial de sua vida, seja antes ou depois dos surgimentos das falhas. Nas organizações esse termo ganha alguns aspectos, sendo considerado como prestador de serviços para a produção ao tentar solucionar as suas anormalidades.

### **2.1.2 Função e importância da manutenção**

A finalidade básica da manutenção é conservar todos os recursos envolvidos na produção ou operação de um serviço. Paralelamente a isso, a manutenção deve garantir a disponibilidade e a confiabilidade desses recursos, a fim de aumentar a capacidade produtiva e operacional da empresa. Dessa forma, a manutenção se torna uma função estratégica, oferecendo um diferencial competitivo à empresa.

Para Vaz (1998) as equipes de manutenção devem garantir o funcionamento adequado da fábrica buscando diminuir as frequências das falhas e, quando estas vierem a ocorrer, tentando diminuir ao máximo os tempos de duração dos serviços de manutenção.

Slack *et al.* (2002) diz que a manutenção traz muitos benefícios à produção, entre eles:

- (i) melhorando a segurança das instalações aumentando a previsibilidade comportamental das mesmas diminuindo os riscos aos trabalhadores;
- (ii) aumentando a confiabilidade das máquinas ao diminuir as frequências e tempos de interrupções da produção;
- (iii) melhorando a qualidade de equipamentos diminuindo riscos de desempenho baixo ou problemas de qualidade oriundos da má conservação;
- (iv) diminuindo os custos de operação aumentando a eficiência das máquinas;
- (v) maximizando o tempo de vida dos equipamentos através de cuidados regulares que diminui o desgaste e deterioração dos mesmos; e,
- (vi) proporcionando um valor de venda no mercado de segunda mão mais alto ao manter as instalações bem conservadas.



A manutenção relaciona-se diretamente com a capacidade de produção, pois sua função é garantir as boas condições operacionais das máquinas. Para avaliar a qualidade do serviço prestado pela manutenção à produção existe um conceito chamado de disponibilidade das máquinas para que possam produzir e esta deve ser maximizada, minimizando os tempos de paralisação das mesmas (VAZ, 1998).

Fogliatto e Ribeiro (2009) definem o termo disponibilidade como sendo a capacidade de um item realizar as funções para qual foi designado, por um determinado tempo, recebendo manutenções adequadamente.

Vaz (1998) conta que o tempo de interrupção da produção e o tempo de reparo não são os mesmos. O primeiro começa a ser contado antes mesmo da constatação da falha podendo se estender até o término da substituição da peça, até as primeiras verificações ou, ainda, até os últimos ajustes. Já o tempo de reparo inicia-se quando a falha se torna evidente e o reparo é solicitado e se estende até o término dos ajustes.

Este autor também diz que, como é impossível saber quando uma máquina irá falhar, a equipe de manutenção precisa estar sempre atenta, gerindo essas dúvidas da melhor maneira. Uma forma para alcançar esse objetivo é usando ferramentas estatísticas embasadas nos históricos de falhas dessas máquinas.

Para Fogliatto e Ribeiro (2009) e Vaz (1998) os serviços de manutenção colaboram com o conceito de disponibilidade da máquina, pois asseguram que esta funcione conforme o projetado, ou seja, eles garantem sua confiabilidade. É possível perceber que o termo disponibilidade está intrinsecamente ligado ao termo confiabilidade, contudo, não são idênticos, pois outros conceitos, além da disponibilidade, estão ligados ao conceito de confiabilidade, como por exemplo, a qualidade, a manutenibilidade, a segurança e a confiança.

O termo confiabilidade é definido por Fogliatto e Ribeiro (2009) como sendo a probabilidade de um item realizar suas funções de forma ajustada com aquilo que foi projetado, por um tempo pré-determinado. Esse termo surgiu devido à necessidade de se reduzirem falhas em processos e produtos, assegurando que estes sejam bem sucedidos.

Fogliatto e Ribeiro (2009) e Vaz (1998) relatam que a disponibilidade da máquina contribui para a produção, pois ela garante que o equipamento esteja em estado operante quando solicitado. A disponibilidade é afetada quando a máquina precisa ser paralisada para execução de uma manutenção preventiva, corretiva ou mesmo estando na fila para a manutenção.

Estes autores contam que o termo disponibilidade avalia a eficiência das manutenções corretivas, enquanto que, o termo confiabilidade mede a eficiência das manutenções preventivas. Isso é percebido, ao se observar a realidade das organizações: normalmente, equipamentos que precisariam estar em operação, somente não estarão se apresentarem alguma falha, ou seja, receberão manutenção corretiva e não preventiva, o que prejudicará os seus índices de disponibilidade. O ato de se executar algum tipo de manutenção preventiva somente incrementará o índice de confiabilidade do equipamento.

A disponibilidade da máquina está sujeita aos tempos de reparo, que tem a ver com a manutenibilidade, e aos tempos médios de funcionamentos entre reparos, que é uma medida de confiabilidade (VAZ, 1998). Fogliatto e Ribeiro (2009) conceituam manutenibilidade como a capacidade de um determinado item realizar as funções para qual foi projetado, sendo usado e mantido em condições anteriormente determinadas, utilizando recursos e procedimentos padrão.

Vaz (1998) diz que esses fatores precisam ser bem gerenciados pelo gestor de manutenção através de um modelo dinâmico de planejamento e controle operacional objetivando ganhos de produtividade.

O mesmo autor encerra afirmando que, na busca pelo aumento de produtividade, a manutenção deve adotar um modelo de planejamento e controle de suas operações que se fundamente na demanda de serviços para um determinado período e que execute de modo contínuo o *feedback* das principais informações resultantes sobre a produção.

## 2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS SERVIÇOS DE MANUTENÇÃO

Todo e qualquer tipo de manutenção são, na verdade, maneiras de se intervir nos equipamentos de produção.

Existe uma concordância entre diversos autores sobre as classificações dos serviços de manutenção salvo algumas ressalvas. Para Vaz (1998) existem três tipos de manutenção: a corretiva, a preventiva e a preditiva. Slack *et al.* (2002) concorda com essa afirmação ao dizer que manutenção corretiva, manutenção preventiva e manutenção preditiva são as três atividades de manutenção relacionadas às instalações físicas. Já Viana (2002) concorda com tais afirmações, porém acrescenta mais um tipo de manutenção que é a manutenção autônoma.

Nesta seção do trabalho a manutenção será abordada sob três classificações: corretiva, preventiva e preditiva. A manutenção autônoma será explicada dentro da abordagem chamada de Manutenção Produtiva Total (MPT).

### **2.2.1 Manutenção corretiva**

Para Vaz (1998) a manutenção corretiva é aquela que não estava programada para acontecer e que é realizada após a parada da máquina por algum tipo de falha ocupando um tempo que era destinado a produção.

Slack *et al.* (2002) concorda e complementa tal afirmação ao dizer que a manutenção corretiva consiste na realização do conserto depois do surgimento de falhas. Essa abordagem é praticada para aquelas falhas que não trazem muitos transtornos e nem são muito frequentes, não havendo necessidade de inspeções programadas.

Já Viana (2002) diz que a manutenção corretiva objetiva recondicionar um componente que tenha sofrido uma pane, de modo que possa continuar executando a função na qual é destinado.

Este tipo de manutenção é conhecido popularmente como o ato de “apagar incêndios”, pois ocorre logo após o aparecimento das falhas e é responsável por impedir maiores danos aos equipamentos de produção e pela segurança tanto do trabalhador como do meio-ambiente.

Um exemplo de manutenção corretiva são as lâmpadas de um restaurante que serão trocadas somente após pararem de funcionar. O restaurante poderá manter algumas lâmpadas de reposição disponíveis para fazer o conserto quando necessário. Esse tipo de falha não é tão grave e nem tão frequente para se fazer verificações regulares de seu estado.

### **2.2.2 Manutenção preventiva**

Na visão de Vaz (1998) a manutenção preventiva é a manutenção programada antecipadamente para que aconteça na hora em que a máquina estiver parada, não ocupando o tempo de produção, visando à troca de componentes em tempos regulares, antes mesmo do fim de sua vida útil.

Já para Slack *et al.* (2002) a manutenção preventiva é aquela programada para ser executada em intervalos regulares, como por exemplo, limpeza, lubrificação, substituição e verificação de componentes da instalação, a fim de diminuir os riscos de ocorrerem falhas.

Ela é mais aplicada em instalações e serviços nos quais os aparecimentos das falhas ocasionam em problemas mais sérios.

Viana (2002) classifica manutenção preventiva como sendo aquela realizada em máquinas sem defeitos, de acordo com critérios determinados, objetivando diminuir a possibilidade do surgimento de falhas. Para o autor é imprescindível uma ótima relação entre o almoxarifado e a manutenção quando se elabora os planos de preventiva de uma organização, pois é preciso saber quais materiais são necessários e quando utilizá-los ao se fazer esse tipo de manutenção nos equipamentos de produção.

A manutenção preventiva é de fundamental importância ao Planejamento e Controle da Produção (PCP) de uma organização, pois esse necessita saber, entre outras coisas, as condições operacionais e as datas programadas das paradas das máquinas, informações essas fornecidas pela manutenção preventiva (VIANA, 2002).

Ao se comparar a manutenção preventiva com a manutenção corretiva é notável sua vantagem principalmente no que se diz respeito à improvisação, que é muito reduzida, pois todos os seus aspectos já são discutidos anteriormente a execução da manutenção, aumentando o índice de qualidade do serviço. Outra vantagem da manutenção preventiva é o aspecto psicológico. Uma falha inesperada pode, além de aumentar os custos de manutenção e produção, gerar um descontentamento da equipe de execução e planejamento. Nesse contexto a manutenção preventiva surge para minimizar tal possibilidade, controlando o funcionamento das máquinas e proporcionando à equipe de manutenção uma maior satisfação, pois esta sabe que qualquer ocorrência de falha nos equipamentos é um fato independente (VIANA, 2002).

A manutenção preventiva proporciona o melhoramento constante de seus métodos, pois, a cada preventiva dada em um equipamento, todos os pontos vão ficando mais claros, favorecendo para que os procedimentos sejam atualizados (VIANA, 2002).

### **2.2.3 Manutenção preditiva**

A manutenção preditiva visa à troca de peças somente no momento adequado. Ela também ocorre antes que aconteçam as falhas. Porém, este tipo de manutenção, tendo uma visão econômica, só admite a troca de alguma peça quando a mesma não apresentar condições de operar com desempenho satisfatório. O momento certo de acontecer a manutenção preditiva é acertado após uma análise de todos os elementos que interferem no processo de operação, como por exemplo, a temperatura e a vibração do equipamento, objetivando antecipar a falha (VAZ, 1998).

Slack *et al.* (2002) diz que a manutenção preditiva é aquela executada somente quando há realmente a necessidade, ou seja, quando a falha é eminente. Essa falha é percebida através de um monitoramento, por exemplo, das vibrações de um equipamento. Os principais objetivos desse tipo de manutenção são aumentar a utilização de equipamentos e diminuir os custos evitando trocas desnecessárias.

Para Viana (2002) a finalidade da manutenção preditiva é adivinhar o momento exato que um equipamento precisará de manutenção, antecipando o surgimento da falha. Para isso, os equipamentos devem ser acompanhados através de monitoramento, medição ou controle estatístico. Essa técnica maximiza a vida útil dos equipamentos e elimina a necessidade de desmontá-los para fazer as inspeções.

O mesmo autor argumenta que as organizações costumam usar quatro técnicas de manutenção preditiva, sendo elas o ensaio por ultra-som, a análise de vibrações mecânicas, a análise de óleos lubrificantes e a termografia.

A primeira técnica, ensaio por ultra-som, busca achar defeitos internos nos materiais ferrosos e não-ferrosos, como, por exemplo, bolhas de gás em fundidos.

A segunda técnica, análise de vibrações mecânicas, que é feita após a captação das vibrações pelo acelerômetro, analisando a condição do equipamento constantemente, visa determinar o estado funcional desse equipamento, pois vibrações repetidas diminuem a resistência de qualquer material resultando em fadiga da máquina.

A terceira técnica, análise de óleos lubrificantes, procura estabelecer a hora necessária de se trocar o lubrificante e identificar indícios de deterioração em equipamentos, através do monitoramento do nível de fragmentos sólidos no fluido juntamente com o estudo de suas características físico-químicas.

A quarta técnica, termografia, objetiva encontrar equipamentos superaquecidos, ou seja, defeituosos, através da radiação infravermelha.

É importante esclarecer que essas quatro técnicas de manutenção preditiva são as que o autor julga mais costumeiramente usadas pelas organizações. Porém, elas não são as únicas. Por exemplo, o monitoramento do desgaste de um disco de freio por meio de uma medição simples com a utilização de um paquímetro também é considerado uma manutenção preditiva.

#### **2.2.4 Estratégias organizacionais de manutenção em equipamentos**

Viana (2002) diz que para uma organização escolher sua política de manutenção deve levar em consideração alguns fatores como as recomendações dos fabricantes dos

equipamentos, a relação entre a mão-de-obra, máquina e meio ambiente, as características dos equipamentos, como por exemplo, o tempo médio entre falhas, e o custo de manutenção, que é o composto pelos custos de mão-de-obra, material, interrupções na produção e prejuízos no processo.

Slack *et al.* (2002) e Viana (2002) concordam ao dizerem que a manutenção corretiva, a preventiva e a preditiva podem ser adotadas de forma estratégica pelas organizações, combinando-as para serem usadas em elementos distintos que possuem características distintas.

Para ambos os autores a manutenção corretiva deve ser empregada quando a falha é aleatória, quando a falha não acarreta em um prejuízo grande ou quando fica muito caro fazer uma manutenção preventiva, sendo os únicos custos o de material e o de mão-de-obra.

Já a manutenção preventiva é mais bem adotada quando a falha é previsível ou quando a consequência da falha por interromper a produção é catastrófica, sendo os custos de manutenção os mesmos da manutenção corretiva, porém, nessa deverá existir uma equipe permanente de manutenção e os itens de reposição deverão ser comprados antecipadamente.

Por outro lado a manutenção preditiva pode ser usada para os casos em que a execução da manutenção é muito cara ou quando é preferível não interromper a produção, sendo esta a mais custosa, pois necessitará de instrumentos e peritos sofisticados, ou seja, recursos que deverão estar sendo continuamente atualizados.

Slack *et al.* (2002) exemplifica essa situação citando o exemplo do carro: a manutenção corretiva é preferível, por exemplo, no caso das lâmpadas do automóvel que apenas são trocadas quando falham. A troca do óleo do motor é um típico caso de manutenção preventiva, pois a consequência da falha para esse caso é muito grave. Já um exemplo de manutenção preditiva é o monitoramento regular das condições dos pneus medindo a profundidade dos sulcos. As trocas dos pneus somente são feitas quando as profundidades dos sulcos não são mais aceitáveis.

### 2.3 EVOLUÇÃO E NOVAS ABORDAGENS DE MANUTENÇÃO

Viana (2002) conta que a origem da manutenção se deu paralelamente com o início do manuseio de instrumentos de produção, surgindo de fato como uma função das organizações no século XVI juntamente com o surgimento dos teares mecânicos. Naquela época os próprios operadores eram os únicos treinados para operar e manter os equipamentos.

Com o surto da revolução industrial houve a automação das atividades de produção e as organizações passaram a buscar novas tecnologias visando maiores lucros. Para isso, era preciso que esses novos equipamentos rendessem o máximo possível, ou seja, as organizações iniciaram suas perseguições por produtividade. Nesse contexto de constante melhoria a manutenção industrial começou a ganhar força auxiliando as organizações para serem mais competitivas e oferecerem produtos e serviços de maior qualidade (ALVES; FALSARELLA, 2009).

Viana (2002) e Alves e Falsarella (2009) dizem que próximo de 1900 começaram a aparecer as primeiras técnicas de planejamento de serviços e o gráfico de Gantt, porém a manutenção restringia-se somente a reparar e restabelecer equipamentos após a falha.

Os mesmos autores argumentam que a manutenção realmente sofreu uma intensa ascensão após a Segunda Guerra Mundial juntamente com o extraordinário crescimento das estratégias organizacionais. O nome manutenção sugerindo a função de manter os equipamentos em bom funcionamento surgiu por volta de 1950 nos Estados Unidos, oriundo do vocabulário militar.

A partir desta data foi desenvolvido o que é chamado de Engenharia da Confiabilidade, surgindo os primeiros conceitos de manutenção preventiva buscando a minimização da aparição de falhas.

A partir de 1970 apareceu a Manutenção Baseada na Condição, que tinha por objetivo a execução da manutenção preventiva somente após o reconhecimento e análise dos sintomas de falhas. Isso proporcionou as organizações acertarem a melhor hora de intervir com manutenção em um equipamento (ALVES; FALSARELLA, 2009).

Viana (2002) fala que após 1990 países mais atrasados, assim como o Brasil, tiveram que buscar a alta qualidade de seus produtos, pois tiveram que competir com os produtos internacionais que entravam, cada vez mais, dentro de seus territórios. Nesse sentido, entre outros aspectos, a criação de bons planos de manutenção se fez muito necessário. Com isso surgiu o termo Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) como responsável por organizar e melhorar internamente as organizações capacitando-as para poderem competir no mercado.

Nos dias de hoje a manutenção tem um papel muito importante dentro das organizações, portanto não somente deve se ater aos consertos rotineiros, mas deve buscar continuamente a melhoria dos processos produtivos, a maximização da utilização das máquinas produtivas e a minimização do surgimento de falhas. Para tanto, várias abordagens

de manutenção surgiram, dentre elas: a Manutenção Produtiva Total e a Manutenção Centrada em Confiabilidade. A seguir, maiores detalhes sobre cada uma delas.

### 2.3.1 Manutenção Produtiva Total (MPT)

A Manutenção Produtiva Total, também conhecida por TPM (*Total Productive Maintenance*) é para Slack *et al.* (2002) uma abordagem que se preocupa com a confiabilidade, a manutenção e a eficiência econômica dos projetos organizacionais e que delega a todos os empregados os serviços de manutenção.

Vaz (1998) concorda e complementa tal afirmação dizendo que a manutenção produtiva total é uma filosofia organizacional em que todos os funcionários da organização, principalmente as equipes de manutenção e produção, estão integrados na execução da manutenção. Cada operador é responsável por executar simples manutenções nas máquinas em que trabalham.

Esse tipo de manutenção feita pelos próprios operadores em suas máquinas é chamada de manutenção autônoma. Muitos autores consideram a manutenção autônoma como uma das bases do MPT. Porém, Viana (2002) acredita que ela é mais um tipo de manutenção, pois, para que os operadores a executem, precisa ser planejada e programada. Dois exemplos de serviços de manutenção dada pelos próprios operadores são limpeza e lubrificação.

A MPT surgiu no Japão juntamente com a evolução da manutenção corretiva para preventiva. As ideias de trabalho em equipe, de autonomia dos empregados, de prevenção de falhas através da melhoria contínua, combinadas ao princípio de que todos os empregados devem se envolver com a manutenção, formam essa abordagem (SLACK *et al.*, 2002).

Para Slack *et al.* (2002) a MPT busca a realização de cinco objetivos:

- (i) O primeiro é melhorar a eficácia dos equipamentos produtivos estudando os porquês das ocorrências das perdas;
- (ii) O segundo é delegar aos operadores alguns serviços de manutenção nas máquinas que eles utilizam e ao pessoal de manutenção o melhoramento do desempenho de manutenção;
- (iii) O terceiro é fazer um planejamento decidindo que tipo de manutenção será dado a cada peça, definindo os parâmetros que determinarão a hora de se fazer a manutenção



preditiva e deliberando as responsabilidades tanto dos operadores como do pessoal de manutenção;

- (iv) O quarto objetivo é treinar, continuamente, todos os empregados em habilidades de manutenção, para que possam desempenhar adequadamente seus papéis;
- (v) O quinto e último objetivo da MPT é rejeitar a manutenção resultante da prevenção de manutenção, ou seja, das causas de falhas e da manutenibilidade, gerenciando desde o princípio qualquer equipamento.

Davis *apud* Fogliatto e Ribeiro (2009) complementa essa ideia afirmando que a MPT objetiva maximizar a capacidade dos equipamentos e dos processos organizacionais com o uso de algumas práticas e técnicas que se preocupam com a manutenção, a instalação e a operação dos equipamentos e com a motivação e o enriquecimento do pessoal que trabalha na organização.

### **2.3.2 Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC)**

Viana (2002) conta que entre 1960 e 1970 surgiu a manutenção centrada em confiabilidade, sendo realmente divulgada em 1978 por meio da publicação do livro *Reliability-Centered Maintenance* (RCM), tendo como proposta o gerenciamento eficiente dos equipamentos estudando suas prováveis falhas. O maior estudioso dessa abordagem, John Moubray, melhorou-a em sua aplicação e incorporou à sua forma inicial novas verdades, com isso ela passou a ser chamada de RCM2 (VIANA, 2002).

O autor ainda complementa que a MCC (Manutenção Centrada em Confiabilidade) visa determinar as condições de manutenção de cada equipamento operacional, ou seja, ela visa analisar as maneiras possíveis de falhas dos equipamentos, podendo, com isso, tomar as medidas cabíveis para resolução desses problemas. Portanto, esta abordagem orienta os gerentes para tomar as melhores decisões a respeito das diretrizes políticas de manutenção que deverão ser usadas nos processos industriais.

Fogliatto e Ribeiro (2009) definem a MCC como um programa organizacional usado para garantir a funcionabilidade especificada dos equipamentos, aumentando suas disponibilidades e reduzindo custos, permitindo que as organizações atinjam níveis excelentes de manutenção.

Para estes autores o sucesso da MCC nas organizações é baseado em alguns fatores descritos a seguir: os engenheiros, operadores e técnicos de manutenção precisam estar fortemente envolvidos; devem ser feitas análises minuciosas dos efeitos das falhas nos equipamentos; assuntos de segurança, meio ambiente, operação e custo também devem ser analisados; tarefas pró-ativas como manutenção preventiva e preditiva precisam ser destacadas; e, as falhas escondidas (aquelas cujo efeito não aparece de imediato) devem ser minimizadas.

Os programas de MCC devem conter sete questões fundamentais, sendo de total importância que o pessoal de operação e manutenção participe ativamente de suas reuniões (MOUBRAY *apud* FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009):

- (i) A primeira é a definição das funções e padrões de desempenho dos aparelhos da organização que deve ser entendida por todos, ressaltando que todos os aparelhos possuem dois níveis de função, primária e secundária;
- (ii) A segunda é a assimilação por todos das maneiras que os aparelhos podem vir a falhar deixando de executar os serviços para qual foi projetado;
- (iii) A terceira é a identificação do que realmente causa cada uma das falhas das funções, para que, assim, sejam tomadas medidas corretas para resolver definitivamente estes problemas;
- (iv) A quarta é o entendimento das consequências das falhas, ou seja, aquilo que é possível de ser notado, o tempo de parada dos equipamentos, as perdas causadas e as medidas cabíveis de serem tomadas quando as falhas ocorrem;
- (v) A quinta é a classificação das falhas em níveis de importância, para que dessa forma seja possível priorizar e intensificar as ações de manutenção preventiva;
- (vi) A sexta é indicação do que fazer de modo a prevenir ou evitar a ocorrência das falhas. Aqui é definido em quais falhas serão tomadas ações pró-ativas (manutenção preventiva e preditiva) e em quais serão tomadas ações reativas (manutenção corretiva); e,

- (vii) Finalizando, a sétima questão é a recomendação das medidas a serem tomadas quando a ocorrência da falha é grave, mas não é possível estabelecer medidas pró-ativas. Neste caso, decide-se por procurar periodicamente falhas escondidas ou redesenhar os subsistemas.

Sobre a implantação da MCC, Fogliatto e Ribeiro (2009) argumentam que as organizações deverão seguir nove passos:

- (i) É preciso que exista um comitê com pessoas da engenharia, produção e manutenção e um líder do programa que acredite nos fundamentos da MCC. Este líder, em conformidade com a alta gerencia, deverá formar sua equipe, que em números de pessoas dependerá do tamanho da organização. A equipe deverá ser orientada por um facilitador que tenha conhecimento da MCC e um operador, um mecânico, um electricista e um engenheiro que tenham um vasto conhecimento sobre o aparelho ou o processo analisado.

A manutenção centrada em confiabilidade tem quatro objetivos que a equipe formada deverá perseguir: conservar o desempenho satisfatório de todas as operações ligadas ao sistema; encontrar todas as maneiras possíveis de falhas das operações do sistema; classificar todas as falhas em seus graus de importância; e, estabelecer os serviços pró-ativos a serem executados sobre cada falha (SMITH *apud* VIANA, 2002);

- (ii) É imprescindível capacitar o comitê e a equipe de trabalho nos seguintes assuntos: alicerces, diagrama de decisão e etapas da implantação da MCC, alicerces da confiabilidade, falhas funcionais, padrões de falha, diagrama de blocos, redundância, FMEA e manutenção preventiva, preditiva e corretiva;
- (iii) É necessário determinar os critérios de confiabilidade dos equipamentos e de toda a planta, a fim de se indicar os componentes que precisarão de redundância, ou seja, mais de um componente disponível para uma determinada função e as atividades de manutenção necessárias. Para isso é preciso saber que a MCC objetiva impedir a ocorrência de acidentes que acarretem em danos pessoais, ambientais e materiais e garantir excelência em confiabilidade das principais máquinas;

- (iv) É preciso formar uma base de dados organizacional que contenha apontamentos e categorizações das falhas ocorridas, que será usada pela MCC como fonte de informações para estudos sobre as confiabilidades dos equipamentos;
- (v) É importante que seja aplicado a FMEA e classificado os componentes. Essa aplicação precisa relatar o papel funcional de cada um dos itens das máquinas, seus modos de falhas, efeitos e causas. Sabendo-se dos efeitos da falha é possível e bom classificar o item como crítico, potencialmente crítico ou não crítico, devendo ser contidos nos planos de manutenção os dois primeiros casos, pois podem acarretar em acidentes, parada de produção ou considerável prejuízo econômico;
- (vi) É necessário selecionar adequados tipos de manutenção sobre os itens qualificados como críticos e potencialmente críticos: a manutenção preditiva é selecionada para aqueles casos onde é possível analisar a corrosão; a manutenção preventiva é a melhor opção para os casos onde se sabe que existe corrosão, mas não é possível analisá-la; a procura por falhas é usada para os itens críticos sujeito às falhas escondidas; e, a manutenção corretiva é empregada nos itens cujas falhas não acarretam em graves consequências;
- (vii) É preciso que as atividades de manutenção pró-ativas estejam documentadas, servindo para esclarecimento de dúvidas sobre o que deve ser feito e como registro sobre o que foi executado;
- (viii) É imprescindível para gerenciamento da MCC a definição de indicadores, como tempo de paradas, disponibilidade dos equipamentos e qualidade do processo, para que as metas sejam mais bem estimadas. Na MCC as metas devem buscar a anulação dos riscos de acidentes que acarretem em prejuízos pessoais, ambientais e econômicos elevados. Estimadas as metas, os indicadores devem ser regularmente monitorados para observação do avanço dos números em relação às metas;
- (ix) É desejável que continuamente o programa de MCC seja revisado, pois os processos organizacionais evoluem com o passar do tempo, novos modos de falhas são descobertos, novos equipamentos são adquiridos, etc.

Para o aperfeiçoamento do programa de MCC é importante levar em consideração o conhecimento adquirido pelas equipes através do tempo, pois elas poderão julgar os itens de menor confiabilidade, encontrar modos de falhas antes não descobertos e achar falhas escondidas.

Tanto a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) como a Manutenção Produtiva Total (MPT) são filosofias organizacionais que visam a excelência da manutenção dentro das empresas, através do aumento da disponibilidade dos equipamentos produtivos e da redução dos custos com manutenção. A principal diferença entre a MPT e a MCC é que na primeira abordagem, acredita-se que qualquer modo de falha deve ser combatido com uso da manutenção preventiva, o que é criticado pela segunda abordagem, que crê que o uso do padrão de falhas para cada tipo de falha é que deve determinar a abordagem de sua manutenção.

## 2.4 FERRAMENTAS APLICADAS À MANUTENÇÃO

Várias são as ferramentas que podem ser usadas para auxiliar a manutenção. Contudo, não querendo expandir muito o horizonte de estudo, o presente trabalho irá abordar duas dessas ferramentas: Ferramentas da Qualidade e Ferramentas de Análise de Falhas.

### 2.4.1 Ferramentas da qualidade

Ramos (1998) conta que as organizações estão sempre buscando formas de resolver seus problemas internos. Nesse contexto o uso das ferramentas básicas da qualidade se torna imprescindível.

Para Corrêa e Corrêa (2005) as sete ferramentas da qualidade auxiliam as pessoas que necessitam tomar importantes decisões no sentido de resolver problemas ou melhorar alguma situação indesejável. Estas ferramentas foram criadas de tal maneira, que apresentam aspectos benéficos para as pessoas que as utilizam, como por exemplo, serem de simples uso e ao mesmo tempo forte, serem facilmente entendidas e aplicadas, para que dessa forma, as pessoas possam resolver e controlar os problemas de qualidade assim que estes acontecerem.

Como o famoso guru da qualidade, Kaoru Ishikawa, afirmou: “as sete ferramentas básicas podem resolver noventa e cinco por cento dos problemas relacionados à qualidade”. Estas sete ferramentas básicas da qualidade são:

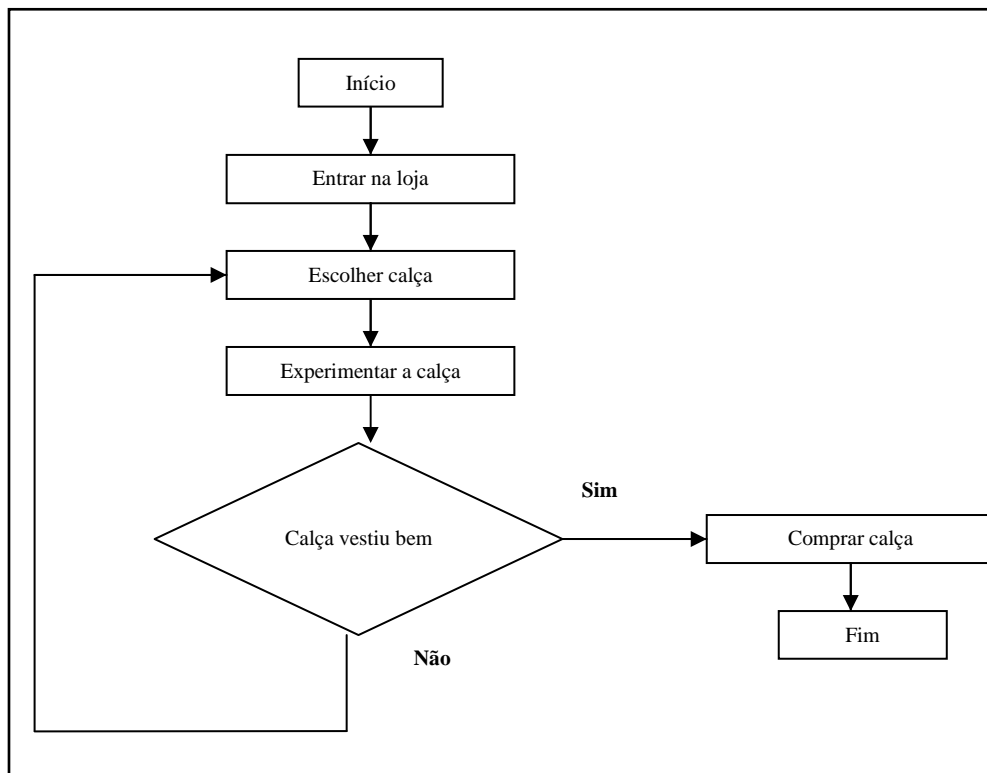
### 2.4.1.1 Fluxograma

Também chamada por Corrêa e Corrêa (2005) de diagrama de processo, essa ferramenta visa listar cada uma das fases de um determinado processo de forma clara e de rápida visualização e compreensão, permitindo a gerência, reconhecer alguns problemas de qualidade e desperdícios, como por exemplo, grandes volumes de estoques.

Esses autores relatam que o fluxograma utiliza símbolos universalmente padronizados para indicar as fases do processo. Todo fluxograma deve ser claro, para facilitar o entendimento das pessoas, e fiéis, ou seja, alterações em um processo devem ser imediatamente indicadas no fluxograma.

Na figura 1 segue um exemplo simples de um fluxograma que ilustra o processo de compra de uma calça.

Figura 1 - Exemplo de um fluxograma ilustrando o processo de compra de uma calça.



Fonte: Autor.

#### 2.4.1.2 Diagrama de Pareto

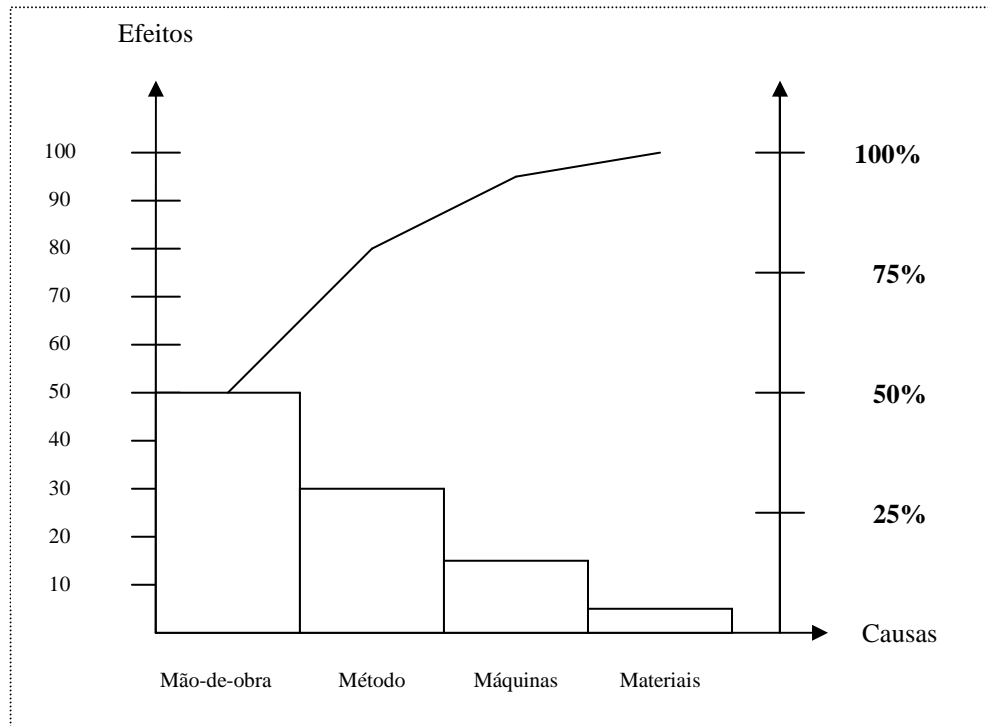
Para Ramos (1998) esta ferramenta baseia-se numa frase que diz que as questões mais importantes devem estar em primeiro lugar. Ela é usada quando é necessário sistematizar problemas e, também, quando o número de problemas é elevado e não se têm recursos suficientes para resolvê-los, possibilitando, com isso, visualizar as áreas mais problemáticas.

Corrêa e Corrêa (2005) dizem que o objetivo dessa ferramenta é qualificar os problemas que causam maiores efeitos em ordem decrescente, atacando-os primeiramente, maximizando os resultados obtidos com esforços para solucioná-los.

Primeiramente, é preciso fazer uma tabela descrevendo cada um dos problemas e numerando as quantidades de vezes que eles foram observados. Depois, é necessário fazer outra tabela descrevendo os problemas e suas ocorrências de forma decrescente. Ainda nessa tabela, é preciso apontar a participação individual e acumulada de cada problema. Por último, deve-se criar um gráfico onde são traçados os valores obtidos das participações individuais e acumuladas dos problemas.

Na figura 2, segue exemplo do uso do diagrama de Pareto para qualificar os problemas que causam maiores efeitos.

Figura 2 - Exemplo de um diagrama de Pareto usado para qualificar os problemas que causam maiores efeitos.



Fonte: Autor.

#### 2.4.1.3 Diagrama de causa e efeito (Ishikawa)

Para Ramos (1998) esta ferramenta é uma figura formada por linhas e símbolos, que representa e explica situações muito complicadas atribuindo a um efeito, várias possíveis causas. As causas principais são, geralmente, representadas pelos 6 M's: Mão-de-Obra, Máquinas, Métodos, Materiais, Meio Ambiente e Meio de Medição, podendo existir dentro delas, ainda, causas secundárias.

O desenho do diagrama de causa e efeito é feito em forma de espinha de peixe: na cabeça descreve-se o problema e na espinha dorsal acrescenta-se ramificações onde são acrescentadas as possíveis causas do problema.

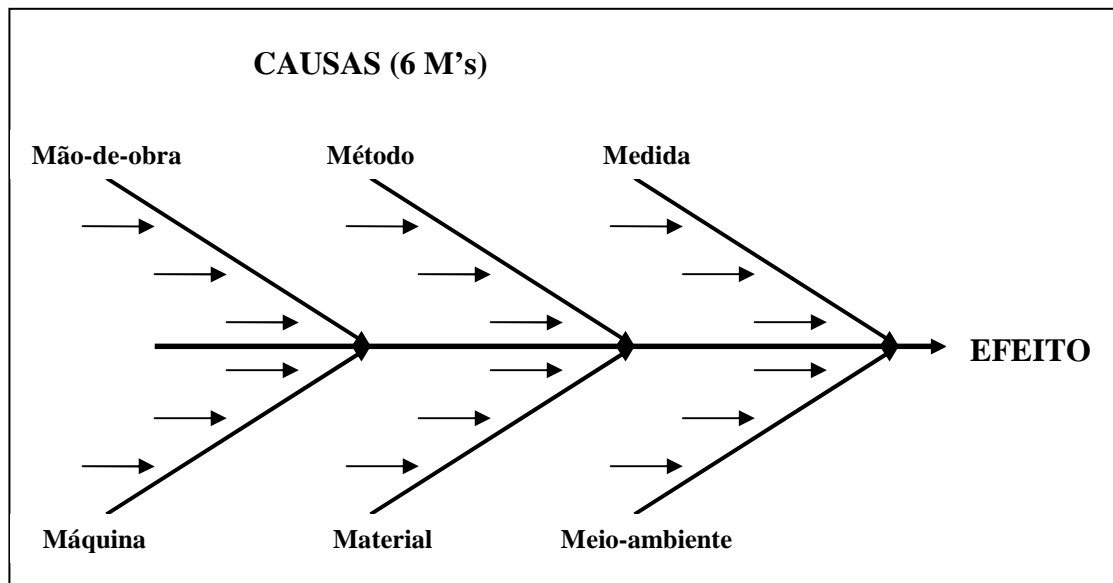
Corrêa e Corrêa (2005) observam que essa ferramenta tem sido amplamente usada para conduzir *brainstormings* e para promover a participação das pessoas em discussões sobre problemas, pois seu uso e entendimento são muito simples e eficazes. Para esses autores este



diagrama deve ser utilizado após a análise de Pareto na tentativa de se chegar as principais causas de um problema.

Na figura 3, segue desenho ilustrativo do diagrama de Ishikawa.

Figura 3 - Desenho ilustrativo do diagrama de Ishikawa.



Fonte: Autor.

#### 2.4.1.4 Diagrama de dispersão ou de correlação

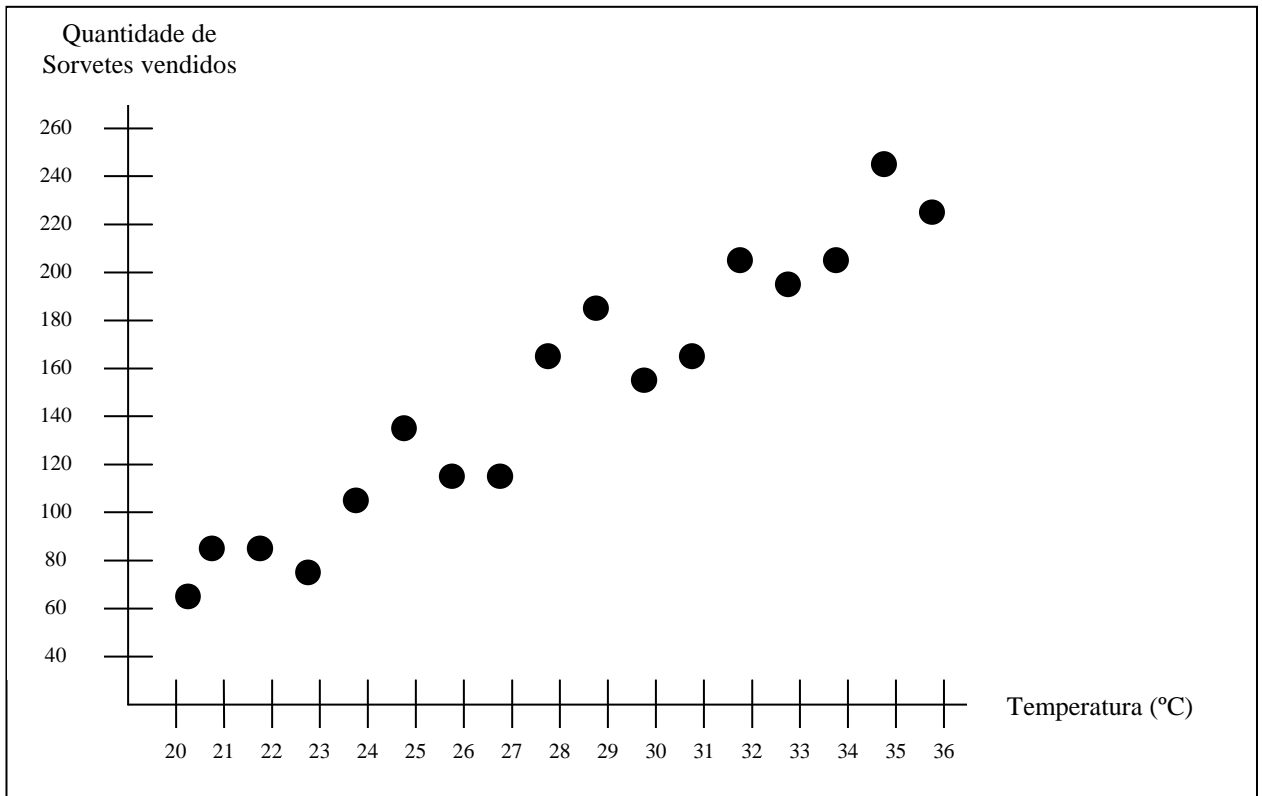
Ramos (1998) conta que esta ferramenta permite analisar duas ou mais variáveis correlacionadas, ou seja, variáveis cujos valores se alteram conjuntamente. O interesse por se analisar essas variáveis é que elas podem indicar uma relação de causa e efeito. No diagrama de dispersão cada valor das variáveis deve estar em um eixo. Se após o seu preenchimento forem observados valores pertos uns dos outros, ou seja, valores tendenciosos, esse fato significará que existe correlação entre as variáveis.

Corrêa e Corrêa (2005) argumentam que essa ferramenta permite relacionar os problemas com o tempo e, também, os problemas com suas prováveis causas, servindo como importantes informações aos tomadores de decisão, direcionando-os no estudo dos problemas.

É importante ressaltar que essa ferramenta deve ser usada como fonte de informações preliminares aos analistas, pois ela fornece informações muito rápidas e simples. Qualquer tipo de conclusão extraída desse diagrama deve ser muito analisada, pois outros fatores

podem influenciar nas respostas obtidas. Abaixo, na figura 4, segue um exemplo ilustrativo dessa ferramenta relacionando a variação na venda de sorvetes com o aumento da temperatura.

Figura 4 – Exemplo ilustrativo do uso do diagrama de dispersão.



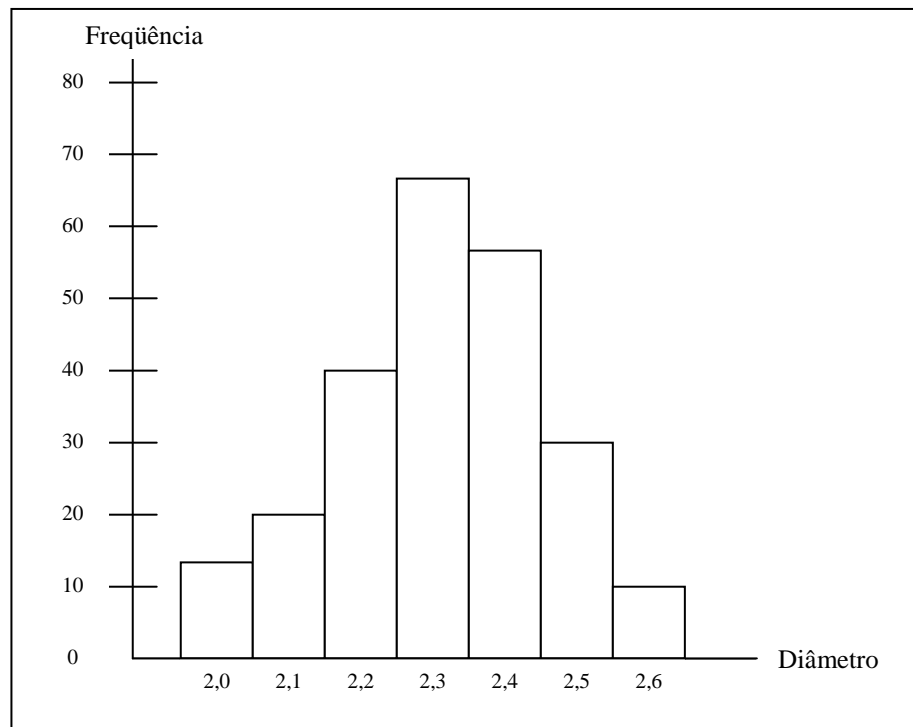
Fonte: Autor.

#### 2.4.1.5 Histograma

Para Ramos (1998) esta ferramenta é um gráfico de distribuição de frequência de dados, de fácil elaboração e interpretação, que mostra a distribuição, a média e a dispersão dos dados nela ilustrados. Corrêa e Corrêa (2005) complementam falando que esta ferramenta apresenta os dados obtidos em observações, simplificando e comparando as frequências de ocorrências.

Na figura 5, segue exemplo ilustrativo de um histograma feito a partir da distribuição de frequência dos diâmetros de tubulações.

Figura 5 - Exemplo ilustrativo de um histograma dos diâmetros de tubulações.



Fonte: Autor.

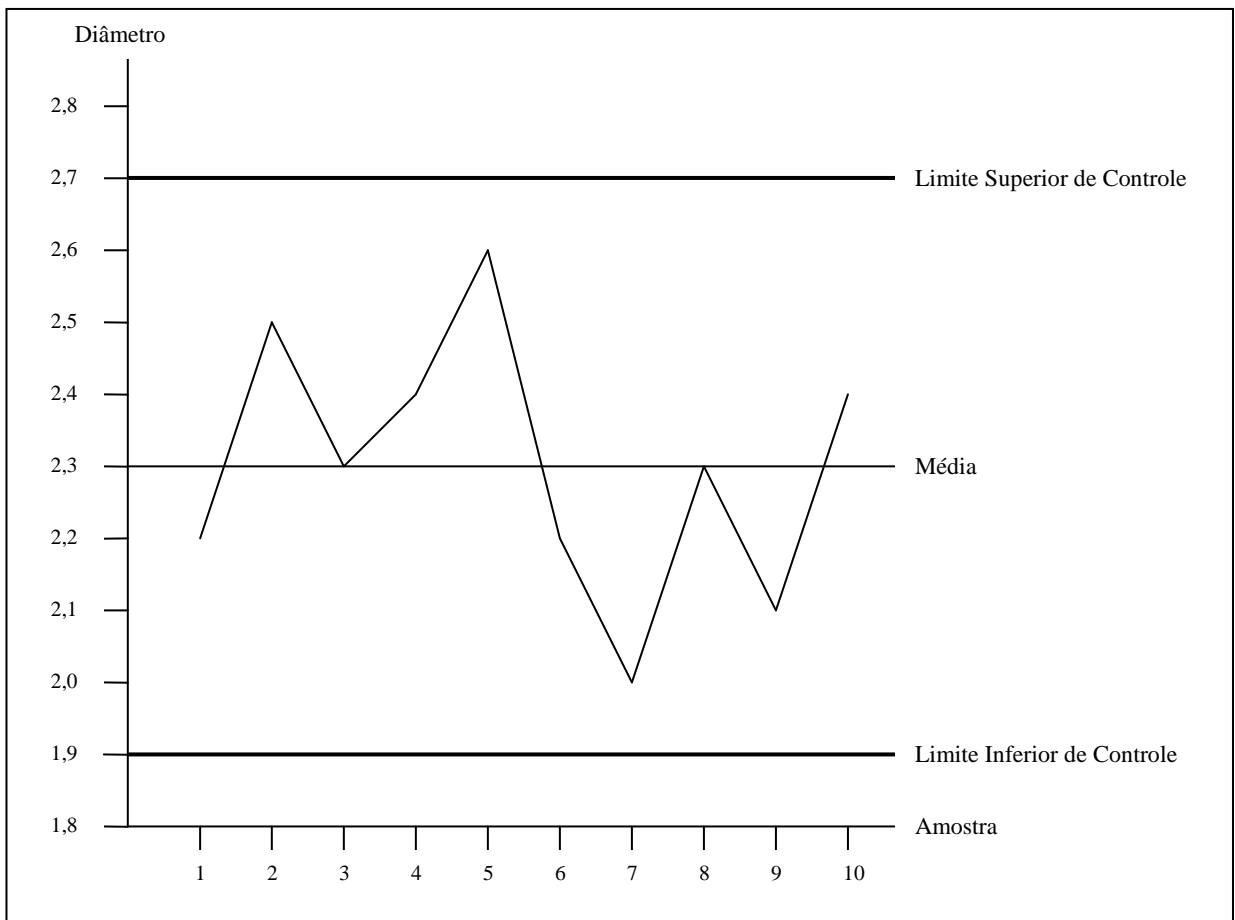
#### 2.4.1.6 Cartas de controle

Ramos (1998) diz que esta ferramenta é usada para apresentar os dados na sequência em que foram obtidos. Dessa maneira, este gráfico permite a observação de tendências ao longo do tempo.

Corrêa e Corrêa (2005) relatam que o maior objetivo desta ferramenta é controlar processos acompanhando-os e analisando as condutas das principais variáveis de cada um desses processos, como por exemplo, os diâmetros de um material torneado.

A seguir, na figura 6, segue exemplo ilustrativo de uma carta de controle feita a partir do histograma exemplificado no item anterior.

Figura 6 - Exemplo ilustrativo de uma carta de controle dos diâmetros de tubulações.



Fonte: Autor.

#### 2.4.1.7 Folha de verificação

Corrêa e Corrêa (2005) consideram essa a mais simples e direta de todas as sete ferramentas, pois sua função é assegurar que os resultados alcançados com a aplicação das outras seis ferramentas não sejam esquecidos. Essa ferramenta precisa demonstrar o método correto e as averiguações necessárias nos processos da forma mais simples, prática e clara, para que, os problemas não aconteçam novamente. Um exemplo de folha de verificação é o *checklist* que os pilotos de avião fazem antes de decolar.

A seguir, na figura 7, segue exemplo ilustrativo de uma folha de verificação com registros de defeitos diários em certa máquina.

Figura 7 - Exemplo ilustrativo de uma folha de verificação com registros de defeitos diários em certa máquina.

DEFEITO	DIAS										TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<b>X</b>	2	4	0	6	1	5	1	6	5	0	<b>30</b>
<b>Y</b>	0	1	0	2	1	2	0	2	2	2	<b>12</b>
<b>Z</b>	1	1	2	0	2	4	0	0	0	1	<b>11</b>
<b>M</b>	5	0	2	3	5	0	2	1	0	1	<b>19</b>
<b>N</b>	3	2	2	1	4	2	0	4	1	3	<b>22</b>
<b>TOTAL</b>	<b>11</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>3</b>	<b>13</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	

Fonte: Autor.

#### 2.4.2 Ferramentas de análise de falhas

Na busca por excelência em qualidade de projetos e processos as organizações passaram a buscar ferramentas de análise de falhas, como a FMEA (Análise dos Modos e Efeitos de Falha) e a FTA (Análise de Árvores de Falha).

Fogliatto e Ribeiro (2009) contam que por volta de 1960 essas ferramentas de análise de falhas começaram a ser usadas nas indústrias aeronáuticas. Hoje em dia, ferramentas como a FMEA e a FTA são de total importância a qualquer ramo industrial que busca a melhoria contínua de seus produtos e/ou processos, pois podem identificar nesses produtos e processos tudo que tem potencial para levar ao surgimento de uma ou mais falhas.

As duas técnicas conseguem diagnosticar os produtos e processos, assessorando na identificação e eliminação de prováveis surgimentos de falhas e, ainda, sugerindo quais delas que devem ser priorizadas.

Qualquer tipo de aplicação da FMEA e da FTA deve ser feito por equipes compostas por pessoas de várias funções, onde cada equipe deve se reportar a um líder responsável por dirigi-la. Basicamente, essas equipes devem conter engenheiros, fornecedores e pessoal de manufatura, de qualidade, de confiabilidade, de vendas e de assistência técnica (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Para garantir os objetivos da FMEA e da FTA é preciso que qualquer tipo de análise seja feito antes da ocorrência da falha, pois isso permite que mudanças sejam implementadas ainda na fase do projeto, evitando o posterior surgimento de panes (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Atualmente, inovações surgem a toda hora fazendo com que as organizações vivam em um ritmo de mudanças constante. Com isso, ferramentas como a FMEA e a FTA se tornam muito necessárias, ajudando a acompanhar todas as atividades de melhoria contínua de produtos e processos nas organizações (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Essas duas técnicas serão mais detalhadas a seguir.

#### 2.4.2.1 Análise dos Modos e Efeitos de Falha (FMEA)

Para Fogliatto e Ribeiro (2009) a FMEA, do inglês *Failure Mode and Effects Analysis*, é uma ferramenta de confiabilidade que tem três objetivos: analisar um produto ou um processo de modo a distinguir e avaliar potenciais falhas que possivelmente aparecerão; propor métodos para eliminação ou redução das probabilidades dessas falhas ocorrerem; e, documentar tudo que foi feito, para servir de referência aos posteriores estudos de projeto ou processo.

Viana (2002) concorda ao dizer que essa ferramenta é um procedimento para analisar falhas nos produtos e nos processos, prevendo seus efeitos e auxiliando os gestores na antecipação de soluções, reconhecendo e priorizando medidas para combater esses efeitos.

Slack *et al.* (2002) complementa dizendo que a FMEA visa reconhecer e antecipar em produtos ou serviços, através de uma lista de verificação, tudo aquilo que pode gerar alguma falha. Essa lista é formada por três importantes medidas: a probabilidade de ocorrência da falha, a consequência da falha e a probabilidade de detecção antecipada da falha.

Existem dois tipos de FMEA: a de projeto e a de processo. A FMEA de projeto é aquela usada para analisar detalhadamente o produto final, seus subsistemas e componentes. Já a FMEA de processo é aquela usada para analisar detalhadamente todas as etapas, os procedimentos e as operações do processo. Ambas buscam identificar os modos potenciais de falhas. Neste trabalho será focada a FMEA de processo, por sua maior contribuição junto aos objetivos deste, uma vez que o estudo de caso será desenvolvido por meio de análises de falhas em processos.

A FMEA é usada como um mecanismo que garante a análise detalhada de potenciais falhas no processo, seus efeitos e causas. As falhas no processo são aquelas que podem afetar

a qualidade do produto. A equipe responsável pelo estudo da FMEA em um processo deve se direcionar para tudo que pode ocorrer de errado fundamentando-se em seu conhecimento acumulado (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Para Fogliatto e Ribeiro (2002) a FMEA de processo apresenta as seguintes vantagens:

- (i) Ajuda a reconhecer os parâmetros do processo que devem ser controlados no intuito de encontrar ou diminuir o condicionamento da falha no processo;
- (ii) Sugere qual falha deve ser priorizada em busca de melhorias no processo;
- (iii) Ajuda a avaliar objetivamente todas as alternativas para manufatura ou montagem;
- (iv) Registra todos os resultados das análises, servindo para posteriores estudos;
- (v) Melhora o conhecimento dos engenheiros sobre todos os pontos importantes do processo que tenham relação com a confiabilidade e qualidade do produto;
- (vi) Torna-se uma referência para outros estudos semelhantes.

Viana (2002) relata que são duas as principais características da FMEA: a forma de estudar os problemas da causa para o efeito e a documentação de cada um dos passos do estudo em forma de registro.

Para estes autores o principal cliente da FMEA de processo é o usuário final, pois ele que se beneficiará por comprar um produto mais confiável. Porém os projetistas dos itens em processamento e os engenheiros responsáveis pelo processo seguinte também são considerados clientes.

Fogliatto e Ribeiro contam que um programa de FMEA totalmente implementado na organização deve determinar que cada processo tenha sua própria FMEA. Inicialmente, é de total importância que o pessoal de todas as áreas afetadas se envolvam com o estudo, inclusive os projetistas que desenvolveram o produto e os representantes de processos que tenham ligações com o processo em análise.

Estes autores relatam que a FMEA deve ser uma atividade formal que promova a troca de opinião entre os setores de projeto, manufatura e montagem. O primeiro passo é dado logo

após o processo ser desenhado aonde a FMEA irá apoiá-lo antecipando, resolvendo e monitorando seus potenciais modos de falha de forma contínua.

Para esta ferramenta, tudo aquilo que é produzido em conformidade com o que foi projetado satisfaz os clientes, então erros no projeto não são resolvidos com a FMEA de processo, mas sim com a FMEA de projeto. Contudo, a FMEA de processo não deve buscar soluções de problemas no processo em mudanças no projeto.

Slack *et al.* (2002) acredita que o processo da FMEA é executado da seguinte maneira: primeiramente, é preciso identificar todos os componentes do objeto em estudo e, então, listar os seus modos de falhas. Em seguida, é indispensável achar os efeitos e as causas para cada modo de falhas e, então, analisar a probabilidade de ocorrência e de detecção antecipada e a severidade das falhas. Finalmente, é necessário calcular o número de prioridade de risco (NPR) através do produto das três análises entre si para, então, propor medidas para combater os modos de falhas com o NPR mais elevado.

Para Fogliatto e Ribeiro (2009) o desenvolvimento da FMEA de processo inicia-se com a reunião da equipe formada por pessoas de diferentes áreas da organização. Também, é importante que todos os documentos que podem auxiliar no desenvolvimento da FMEA sejam reunidos, inclusive o de capacidade das máquinas, pois este facilitará o reconhecimento dos modos de falha e as medidas corretivas.

O estudo deverá definir o que o processo realmente precisa atender, facilitando, desta forma, encontrar possíveis modos de falhas e medidas corretivas. Inicialmente, deverá ser feito um esboço do fluxograma de todo o processo estudado para facilitar a visualização de todos os pontos que serão discutidos.

A etapa seguinte é preencher a tabela FMEA que, segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), deve conter:

- (i) cabeçalho contendo o número da FMEA, a identificação do processo e seus itens, o modelo do produto correspondente, o setor responsável pela análise, os dados do coordenador da análise e dos participantes e, por último, a data do documento, que indicará quando ele iniciou-se, quando foi revisado e quando deverá ser concluído;
- (ii) a especificação da etapa, operação e propósito a ser acatado, que podem precisar de três colunas, devendo ser descritas da forma mais simples e clara possível. Deverá ser listado separadamente cada um dos propósitos de uma operação, facilitando no reconhecimento das falhas, pois estas estão diretamente relacionadas ao não-cumprimento dos requisitos



especificados. É importante que essas colunas estejam totalmente preenchidas antes de prosseguir com as análises;

- (iii) os modos potenciais de falha, que são definidos após o estudo da primeira operação, devendo identificar como um processo poderá falhar em cumprir o que foi determinado no projeto. Todos os modos de falha que apresentarem probabilidade de ocorrência deverão ser levados em conta. Os modos potenciais de falha do processo em análise podem ser os efeitos de uma falha no processo anterior ou a causa de um modo de falha no processo posterior.

A lista dos modos de falha deve ser elaborada fundamentada no conhecimento da equipe através de um *brainstorming*, levando em consideração os erros do passado e discutindo questões sobre como o processo poderá falhar em atender as especificações e no que o produto poderá ser criticado pelos clientes. São fontes importantes de informação para auxiliar na elaboração dessa lista: comparações do processo em análise com outros semelhantes, as reclamações dos clientes, os relatórios de problemas no processo e os dados da assistência técnica;

- (iv) os efeitos potenciais de falha. Estes são aqueles defeitos observados pelos clientes, que podem ser o processo posterior, o revendedor ou o cliente final. Os efeitos de falha resultam dos modos de falha e podem ser a causa de um modo de falha posterior. Considerando como cliente o processo posterior, efeitos de falha comuns são: não fecha, não conecta etc. Se o cliente for o cliente final, efeitos de falha comuns são: ruído, aspecto desagradável, falta de velocidade etc.;
- (v) a severidade, que é uma estimativa qualitativa do efeito da falha. O efeito da falha impactada no processo ou no cliente final é que define a severidade da falha. Como a FMEA usa avaliações qualitativas para fazer a análise não é necessário a utilização de modelos matemáticos complexos. A severidade é medida numa escala que vai de 1 a 10. Quanto mais perto de 1 for avaliado o efeito da falha, menos severo ele é considerado; já, quanto mais perto de 10, ele é considerado mais severo. Um critério sugerido para avaliar as severidades dos efeitos de falha é descrito no quadro 1;

Quadro 1 - Critério para avaliação das severidades dos efeitos de falha.

Severidade do efeito	Descrição	Escala
Muito alta	Quando compromete a segurança da operação ou envolve infração a regulamentos governamentais	10
		9
Alta	Quando compromete a satisfação do cliente, mas não compromete segurança ou envolve infração	8
		7
Moderada	Quando pode resultar em alguma insatisfação ocasionada pela queda do desempenho ou mau funcionamento da operação	6
		5
Baixa	Quando pode resultar em uma leve insatisfação do cliente que observa uma leve deterioração ou diminuição no desempenho	4
		3
Muito baixa	Quando quase não afeta o desempenho da operação, não sendo a falha facilmente percebida pelo cliente	2
		1

Fonte: Autor.

- (vi) a classificação, que é usada para obtenção de um controle especial sobre alguma característica do processo. Algumas formas de classificações são: crítico para segurança ou qualidade, operações novas etc. As classificações podem ser utilizadas para selecionar algumas operações que necessitem ser analisadas com mais detalhes;
- (vii) a causa potencial de falha, ou seja, a origem do problema, que é analisada como uma deficiência do processo. Todas as causas de falha, que são possíveis de ocorrer, devem ser listadas de forma simples e específica, a fim de facilitar a preparação de correções e melhorias. Algumas das causas de falha mais conhecidas são o torque exagerado ou precário, medição imprecisa, peça mal colocada, entre outras;
- (viii) a ocorrência. Esta se relaciona com a possibilidade da causa da falha ocorrer outras vezes. É preferível analisar a ocorrência das falhas com informações quantitativas como a taxa de falhas ou os índices de capacidade do processo, porém, quando isso não é possível, a análise é feita de forma subjetiva.
- A avaliação da ocorrência é medida em uma escala relacionada com a taxa de falha ou com o índice de capacidade, que vai do 1 (falhas quase remotas) ao 10 (falhas quase inevitáveis). Quando a ocorrência for avaliada de forma qualitativa e a equipe tiver dúvidas é aconselhável dar à probabilidade de ocorrência valores mais altos. Um critério sugerido para avaliar as ocorrências das causas de falha é descrito no quadro 2;

Quadro 2 - Critério para avaliação das ocorrências das causas de falha.

Ocorrência de falha	Descrição	Taxa de falha	Cpk	Escala
Muito alta	Falhas que dificilmente poderão ser evitadas	100/1000	0,43	10
		50/1000	0,55	9
Alta	Falhas que frequentemente ocorrem	20/1000	0,68	8
		10/1000	0,78	7
Moderada	Falhas ocasionais	5/1000	0,86	6
		2/1000	0,96	5
		1/1000	1,03	4
Baixa	Falhas que raramente ocorrem	0,5/1000	1,10	3
		0,1/1000	1,24	2
Muito baixa	Falhas muito incertas	0,01/1000	1,42	1

Fonte: Autor.

- (ix) os controles de prevenção e detecção, que são capazes de evitar ou detectar a causa e modo de falha, garantindo a robustez do processo analisado. Existem dois tipos de controles: os atuais, que são aqueles usados atualmente ou no passado em processos parecidos; e os usuais, que são aqueles que utilizam, por exemplo, dispositivos à prova de falhas (*poka-yokes*), controle estatístico, inspeção final etc. É interessante preencher a tabela FMEA com uma coluna indicando controles de prevenção, visando diminuir a ocorrência da falha e outra sugerindo controles de detecção, objetivando encontrar as falhas antes mesmo de o item ir para a etapa subsequente;
- (x) a detecção. Neste campo da tabela a equipe deve assumir que a falha ocorreu e, então, fazer uma avaliação dos controles atuais de detecção de causas e modos de falha dos componentes enumerando-os em uma escala que vai do 1 (detecção certa do modo de falha) ao 10 (modo de falha não será detectado). Um critério sugerido para avaliar a detecção de falhas em processo é descrito no quadro 3. Aceitando-se essa escala, os valores mais baixos de detecção correspondem à utilização de dispositivos ou métodos à prova de erro; os valores intermediários correspondem à utilização de controle estatístico; os valores mais altos correspondem à utilização de inspeções visuais e aleatórias ou até mesmo a inexistência de controle;

Quadro 3 - Critério para avaliação das detecções dos modos de falha no processo.

Possibilidade de detecção	Descrição	Escala
Muito remota	Controles atuais não detectarão o modo da falha	10
Remota	Controles atuais dificilmente detectarão o modo da falha	9
		8
Baixa	Baixa probabilidade dos controles atuais detectarem o modo da falha	7
		6
Moderada	Controles atuais possivelmente detectarão o modo da falha	5
		4
Alta	Alta probabilidade dos controles atuais detectarem o modo da falha	3
		2
Muito alta	Controles atuais detectarão o modo da falha	1

Fonte: Autor.

- (xi) o risco. Neste campo da tabela FMEA é colocado o valor calculado do risco que corresponde à multiplicação dos valores de severidade, de ocorrência e de detecção dos modos de falha. As equipes devem prover ações de correção e melhorias priorizando os valores mais altos de risco, além disso, é sensato que seja estabelecido um valor de corte segundo o princípio de Pareto agrupando os maiores valores de risco e atacando-os independentemente de seus valores absolutos;
- (xii) as ações recomendadas, que devem priorizar a redução de severidade, de ocorrência e de não-deteção dos itens de maiores riscos. Uma exceção a essa regra são os riscos que afetam a segurança dos trabalhadores, pois precisam ser combatidos primeiramente, independentemente do valor do risco. Quando é impossível a descoberta dos modos de falha é aconselhável fazer projetos de experimentos no processo.
- Todas as ações recomendadas devem ser efetuadas e é dever da equipe dar suporte para realização desse objetivo, pois elas representam o resultado da FMEA. É importante que essas ações sejam claramente especificadas na tabela, porém podem ser detalhadas em outros documentos. Exemplos de ações recomendadas são: revisão dos processos de manufatura e montagem, uso de tecnologias alternativas, uso de manutenção autônoma etc. É preferível buscar sempre a redução das ocorrências do que a detecção das falhas, por isso algumas ações podem visar certas modificações no projeto ou processo;
- (xiii) o responsável pela execução da ação recomendada e a data final para sua concretização;

- (xiv) as ações que realmente foram efetuadas, devendo ser explicitado todas as ações de melhoria e correção e as datas que foram executadas;
- (xv) o risco resultante. Antes mesmo da execução das ações recomendadas, deve-se estimar o novo risco que tais medidas deverão resultar, risco esse que deverá entrar na faixa de risco aceitável para a operação. Com isso feito e após realização das ações sugeridas, o risco deve ser recalculado. Se o resultado do risco não for o que se pretendia, novas ações de correção e melhoria devem ser recomendadas e executadas repetindo esse último procedimento até que se obtenha um risco aceitável para a operação.

Com a utilização dessa ferramenta, Viana (2002) fala que a equipe saberá quais os modos de falhas que poderão ocorrer, quais os componentes que poderão falhar, quais os efeitos resultarão dessas falhas e quais as medidas cabíveis para combater tais falhas.

O acompanhamento da FMEA deve ficar sob responsabilidade do engenheiro responsável cabendo a ele a busca pela realização das ações sugeridas. O documento da FMEA deve sempre ser atualizado no que se diz respeito ao processo e as ações executadas. Modificações em manuais de treinamento e de operação, bem como em especificações de manufatura são exemplos de meios que o engenheiro responsável pode consultar, a fim de assegurar-se que as ações recomendadas estão sendo efetuadas (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

#### 2.4.2.2 Análise de Árvores de Falha (FTA)

A FTA, do inglês *Failure Tree Analysis*, igualmente ao FMEA, é uma ferramenta de confiabilidade que tem três diferentes objetivos: identificar as causas que podem culminar no surgimento de algo indesejável; analisar a probabilidade de ocorrer essas falhas; e, propor métodos que anulam essa probabilidade (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Considerada uma ferramenta que analisa sistematicamente as falhas, a FTA é usada, entre outras coisas, para analisar processos. Para Fogliatto e Ribeiro (2009) a árvore de falhas é definida como sendo um diagrama lógico que relaciona falhas entre os elementos, que resultam em uma falha de maior impacto sobre todo o sistema. A árvore é constituída por um evento de topo indesejável que só ocorre se algumas condições também ocorrerem. É necessário que se faça um modelo especificando as dependências dos elementos do sistema no qual é possível calcular as probabilidades das falhas ocorrerem.

Esses autores explicam que como nessa análise o raciocínio é feito de cima para baixo o desenho também deverá seguir essa lógica: no topo desenha-se o desastre a ser analisado; em baixo desenha-se o modelo com as condições que podem resultar no acontecimento desse desastre. A árvore de falha é constituída por diferentes tipos de eventos conectados por diferentes operadores lógicos, também chamados de nós, e para fazer o seu desenho é necessário usar símbolos que podem representar tanto esses eventos como esses operadores lógicos.

Slack *et al.* (2002) concorda com esses autores dizendo que a FTA é uma ferramenta lógica que, primeiramente, descreve uma falha inicial para, então, trabalhando regressivamente, identificar as origens dessa falha.

O mesmo autor conta que essa árvore é formada por ramificações que podem ser unidas por nós “E” ou nós “OU”. Nessa lógica regressiva, todas as ramificações que estiverem abaixo de um nó “E” devem ocorrer para que o evento de cima desse nó ocorra; já, se uma das ramificações que estiver abaixo do nó “OU” ocorrer o evento de cima desse nó também ocorrerá.

O círculo e o retângulo são os eventos mais usados na análise da árvore de falha: o círculo representa um evento básico cuja ocorrência não precisa ser explicada e o retângulo representa um evento resultante de causas básicas que precisam ser analisadas e cujas probabilidades de ocorrências devem ser calculadas.

Fogliatto e Ribeiro (2009) dizem que são cinco os passos para se fazer a análise de árvores de falhas:

- (i) Primeiramente, é preciso elaborar o diagrama de árvore de falha. O engenheiro responsável pela FTA deve reunir tanto a equipe, formada por pessoas de diversas áreas da organização, como os documentos que darão suporte ao estudo, como, por exemplo, projeto do processo ou produto e relatórios de erros de produção ou de reclamações de clientes. O estudo começa identificando-se o evento de topo. Então se inicia o desenho da árvore encontrando-se os eventos que podem resultar no evento de topo e, após isso, encontra-se as causas desses eventos. A árvore só para de ser desenhada no momento em que todas as causas dos eventos não requererem maiores desenvolvimentos. É importante que todas as causas de eventos sejam desenhadas de modo que todas as probabilidades de falha possam ser calculadas. O conhecimento da equipe em um ambiente de *brainstorming* é que levará a associação dos eventos com suas possíveis causas;

- (ii) Depois, é necessário reunir os dados básicos de falha permitindo estimar a probabilidade de ocorrência de suas causas. É preferível utilizar dados quantitativos, como, por exemplo, taxa de falha em componentes ou no processo, pois eles são mais precisos. Quando os dados quantitativos não estão disponíveis a probabilidade de ocorrência das causas é estabelecida qualitativamente;
  
- (iii) Em seguida, munida de dados básicos de falha, a equipe de FTA precisa calcular a probabilidade de ocorrência dos eventos resultantes. A cada cálculo executado chegamos às probabilidades de ocorrência de níveis superior e, desta maneira, até a probabilidade da ocorrência do evento de topo.  
Os casos mais comuns correspondem à associação em série (OU) cujo cálculo é feito diminuindo de 1 o produto de 1 menos probabilidade de ocorrência de cada causa que gera o evento resultante; e a associação em paralelo (E) cujo cálculo é feito multiplicando-se as probabilidades de ocorrência das causas que geram o evento resultante;
  
- (iv) Logo após, deve-se determinar a criticidade das causas básicas. O seu cálculo é feito multiplicando-se a probabilidade de ocorrência da causa básica pela probabilidade do evento de topo ocorrer, considerando que tal causa básica tenha ocorrido. A criticidade determinará qual das causas básicas deverá ser priorizada;
  
- (v) E, por último, é necessário formular ações corretivas e recomendações, que deverão priorizar as causas básicas de maior criticidade visando à diminuição da probabilidade de ocorrência do evento de topo. Todas as ações formuladas devem ser efetuadas e é dever da equipe dar suporte para realização desse objetivo, pois elas representam o resultado da FTA. Exemplos dessas ações são: revisão de especificações de materiais e de métodos de manufatura e montagem e intensificação das atividades de manutenção preventiva e preditiva.  
Todas as ações formuladas, os recursos necessários, responsáveis e prazos devem ser registrados em documentos e essas ações devem ser acompanhadas, a fim de garantir a realização plena de seus objetivos.

É possível perceber que, enquanto na FMEA a análise é feita a partir de um componente inicial, onde são encontrados modos e efeitos de falha, na FTA o estudo é feito a

partir de um efeito indesejável inicial e relacionando-o com alguns componentes. Sendo assim, a FMEA segue uma lógica de baixo para cima e a FTA, de cima para baixo.

### **2.4.3 Indicador de Eficácia Global de Equipamentos (OEE)**

Fogliatto e Ribeiro (2009) explicam que na metodologia Manutenção Produtiva Total (MPT) a análise da eficácia global dos equipamentos é muito importante para avaliar as melhorias implementadas. Então, para esse fim, a MPT utiliza um indicador chamado de OEE (*Overall Equipment Effectiveness*).

Para Santos e Santos (2007) as organizações podem usar a ferramenta OEE para fazer avaliações sobre a utilização de seus equipamentos, pois esta consegue reconhecer as perdas relacionadas à disponibilidade, *performance* e qualidade desses ativos. Esta ferramenta pode ser usada para recomendar melhorias nas áreas que mais necessitam e para avaliar as melhorias praticadas, através de um *benchmark*.

O enfoque do OEE é fundamentado no aumento da produção, pois com a melhoria dos equipamentos e a eliminação das perdas há uma melhoria simultânea da eficácia, o que elimina a procura por novos investimentos. É importante saber que a OEE analisa a eficácia dos equipamentos e não dos operadores dos mesmos.

O OEE surgiu devido à necessidade de se considerar, além da disponibilidade dos equipamentos, outros fatores geradores de custos. Para Nakajima *apud* Santos e Santos (2007) as organizações devem calcular o OEE considerando as seis grandes perdas, reveladas no quadro 4, e devem buscar atingir como meta um OEE de 85% para todos os equipamentos analisados, resultado esse alcançado quando se tem índices de 90% para disponibilidade, 95% para *performance* e 99% para qualidade. Porém, dependendo da empresa e de sua complexidade, essa meta pode variar.



Quadro 4 - As seis grandes perdas relacionadas aos três índices que formam o OEE.

Índice	Perda relacionada a esse índice
Disponibilidade	Quebra/Falha
	Setup/Regulagem
<i>Performance</i>	Pequenas Paradas
	Queda de Velocidade
Qualidade	Refugo
	Retrabalho

Fonte: Autor.

O cálculo do indicador OEE é feito através do produto do índice de disponibilidade, do índice de *performance* e do índice de qualidade. Fogliatto e Ribeiro (2009) definem esses índices da seguinte forma: a disponibilidade objetiva analisar a porcentagem de tempo que o equipamento realmente está em operação, a *performance* compara a velocidade real de produção do equipamento com a velocidade teórica e a qualidade identifica a porcentagem de itens conformes produzidos por um tempo determinado.

Os levantamentos desses índices são feitos através das expressões descritas abaixo:

(i) Índice de disponibilidade:

Tempo de carga (TC) = Tempo teórico disponível – paradas programadas (horas)

Tempo real disponível (TRD) = Tempo de carga – paradas não programadas (horas)

Disponibilidade (%) = (TRD \* 100) / TC

(ii) Índice de *performance*:

*Performance* (%) = (Peças produzidas no tempo analisado \* 100) / (Peças que teoricamente deveriam ser produzidas no tempo analisado \* Tempo analisado)

(iii) Índice de qualidade:

Qualidade (%) = (Peças produzidas – Peças refugadas – Peças retrabalhadas) / Peças produzidas

(iv) Índice OEE:

$$\text{OEE (\%)} = \text{Disponibilidade} * \text{Performance} * \text{Qualidade}$$

A seguir, é descrito um exemplo de cálculo de OEE (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009, p. 237):

Um equipamento deveria trabalhar oito horas por dia durante vinte dias úteis de um mês. Porém, devido a quebras e ajustes o equipamento ficou parado durante 22,5 horas. O tempo de ciclo teórico dado pelo fabricante é de uma peça por minuto. No entanto, nesse mês foi fabricado 7.600 peças, sendo 95 dessas consideradas não conforme.

(i) Índice de disponibilidade:

$$\text{Tempo de carga (TC)} = 8 \text{ horas} * 20 \text{ dias} = 160 \text{ horas}$$

$$\text{Tempo real disponível (TRD)} = 160 \text{ horas} - 22,5 \text{ horas} = 137,5 \text{ horas}$$

$$\text{Disponibilidade (\%)} = (137,5 \text{ horas} * 100) / 160 \text{ horas} = 85,9\%$$

(ii) Índice de performance:

$$\text{Performance (\%)} = (7.600 \text{ peças} * 100) / (60 \text{ peças/hora} * 137,5 \text{ horas}) = 92,1\%$$

(iii) Índice de qualidade:

$$\text{Qualidade (\%)} = (7.600 \text{ peças} - 95 \text{ peças}) / 7.600 \text{ peças} = 98,8\%$$

(iv) Índice OEE:

$$\text{OEE (\%)} = 0,859 * 0,921 * 0,988 = 78,2\%$$

O valor do OEE resultou inferior a 85% (índice normalmente perseguido pelas empresas), indicando que o equipamento oferece oportunidade de melhoria. Uma vez que os índices de disponibilidade e de qualidade resultaram em valores inferiores a 90% e 99% respectivamente, a empresa deve concentrar seus esforços para melhorar essas parcelas.

Santos e Santos (2007) relatam que o OEE indica se o equipamento está funcionando e operando com a velocidade e qualidade esperada e, ainda, distingue todas as perdas geradas na produção. Portanto, a identificação das perdas é o processo mais importante para se obter o indicador OEE, pois sem ela as organizações não conseguem retornar as condições projetadas de trabalho de seus equipamentos.

## 2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente capítulo abordou o conceito, a função e a importância da manutenção dentro das organizações. Foram descritas as mais importantes classificações da manutenção, sua evolução através do tempo e as novas abordagens, bem como as ferramentas que podem ser aplicadas à manutenção como a FMEA, a FTA e as mais importantes ferramentas da qualidade. Além disso, houve uma discussão breve sobre o OEE, um indicador amplamente utilizado na área de manutenção.

No próximo capítulo serão apresentados os procedimentos metodológicos que guiaram a fase aplicada do trabalho.

### 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os objetivos desse capítulo são classificar a pesquisa, definir a unidade de análise, apontar as técnicas de coleta e análise de dados que foram utilizadas, discorrer sobre as limitações do método e descrever como foi elaborada a metodologia de análise e solução de problemas de manutenção para a indústria em estudo.

#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DE PESQUISA

Visando gerar conhecimentos que tenham por objetivo solucionar problemas práticos identificados na área de manutenção de uma indústria de grande porte do setor alimentício localizada na região de Dourados/MS, a pesquisa teve um caráter aplicado.

A forma de abordagem do problema foi qualitativa, pois o cumprimento dos objetivos traçados neste trabalho dependeu das interpretações subjetivas dentro do ambiente organizacional (SANTOS; GOHR, 2010).

Considerando os objetivos do presente trabalho é possível perceber que a pesquisa foi explicativa, ou seja, foram observadas e analisadas as falhas mais graves nos equipamentos visando reconhecer os fatores que contribuem para ocorrência de tais fenômenos (SANTOS; GOHR, 2010).

Para cumprimento dos objetivos estabelecidos, neste trabalho foi adotada a abordagem da pesquisa-ação, buscando-se a obtenção de um conhecimento mais aprofundado do problema investigado, no qual o pesquisador guiou a implantação de um método para sua solução e entrevistou em alguns aspectos da realidade organizacional (SANTOS; GOHR, 2010).

Visando atingir o objetivo geral e os específicos, o presente trabalho foi desenvolvido conforme as seguintes etapas:

- Primeiramente, foram pesquisadas, em materiais bibliográficos, as metodologias já existentes de análise de falhas de manutenção;
- Posteriormente, foi desenvolvida uma metodologia de análise de falhas embasada na bibliografia e nas práticas da empresa em estudo;
- Em seguida, essa metodologia foi aplicada em um setor da empresa e, então, foram verificados seus resultados.

### 3.2 UNIDADE DE ANÁLISE

A unidade de análise inicial é a própria indústria. Porém, ao aplicar a metodologia proposta foi definido um setor piloto, restringindo a unidade de análise inicial.

Inicialmente, a metodologia proposta foi executada e analisada em um setor piloto dentro da empresa definido de acordo com a própria metodologia. Após essa etapa, tal metodologia pode ser refinada e enfim executada e analisada em toda a empresa, sempre priorizando os setores mais críticos, ou seja, com piores índices de manutenção.

### 3.3 COLETA E ANÁLISE DE DADOS

A principal técnica para coleta de dados foi a análise documental, complementada com a observação participante. Todos os dados foram levantados da planilha OEE da empresa, pois nela estão contidas todas as falhas em equipamentos mais impactantes para a produção. Esses dados foram tratados e analisados pela metodologia proposta, objetivando a avaliação da eficiência da mesma.

O modelo desenvolvido funcionou da seguinte forma. Primeiro, ele foi alimentado com os dados levantados na planilha OEE. Em seguida, ele auxiliou na análise desses dados por meio de suas ferramentas constituintes. Por fim, ele guiou a definição das respostas, que no caso foram as medidas a serem tomadas para resolução dos problemas de manutenção.

A planilha OEE da empresa contém todos os itens necessários para dimensionar os três índices que formam o OEE (disponibilidade, *performance* e qualidade). Contudo, sendo o objetivo do presente trabalho estudar as falhas de manutenção que causam paradas de produção, foram utilizados os itens que estão de acordo com esse objetivo, ou seja, foram analisados somente os dados da seção da planilha que era referente à disponibilidade. É importante observar que todo mês uma nova planilha OEE é criada por setor, portanto, os dados que ela contém são mensalmente atualizados.

De acordo com o mencionado, o item principal deste estudo que está contido na planilha é chamado de “Paradas Imprevistas”. Dentro deste item está alocado outro item de interesse nesse trabalho que na planilha está descrito como “Manutenção Elétrica/Mecânica”. Já este item contém outros três itens que estão apresentados como “Gargalo”, “Utilidades” e “Outras Máquinas”.

O item chamado de “Gargalo” é na verdade o equipamento que caso venha a falhar causará a parada de toda a linha produtiva do setor. Cada setor possui seu equipamento

gargalo, sendo que este item está separado em “Quebra Mecânica” e “Quebra Elétrica” em função de sua importância. Outro item contido neste é o chamado de “Total de Paradas da Máquina”, ou seja, total de paradas do equipamento gargalo.

O item descrito como “Utilidades” engloba os seguintes itens: “Falta de Ar Comprimido”, “Falta de Frio”, “Falta de Vapor”, “Falta de Energia”, “Falta de Água” e “Amônia”. Outro item contido neste é o chamado de “Total de Utilidades”.

Dentro do item “Outras Máquinas” estão listados cada um dos equipamentos do setor, menos o equipamento gargalo que, conforme citado anteriormente, apresenta-se destacado. Como cada setor possui seus próprios equipamentos produtivos, os itens apresentados neste item dependerão de cada setor. Outro item contido neste é o chamado de “Total de Outras Máquinas”.

Estes itens estão alocados na parte esquerda da planilha de cima para baixo. Já na parte superior, da esquerda para a direita, estão alocados os “Dias do Mês”, do um ao trinta e um, e também um item chamado de “Acumulado” e outro descrito como “Acumulado %”.

Os tempos de parada estão descritos no campo de confronto entre o “Dia do Mês” e o “Equipamento”. Cada campo preenchido com esse tempo deverá possuir uma observação da falha descrita pelo operador do equipamento. O campo de confronto entre “Equipamento” e “Acumulado” é preenchido com a soma dos tempos de parada do equipamento no mês e o campo de confronto entre “Equipamento” e “Acumulado%” é completado com o resultado da divisão entre o tempo acumulado de paradas do equipamento no mês pelo tempo operacional mensal planejado para o setor, estando este último item contido, também, na planilha OEE.

O último item de interesse é o apresentado na planilha como “Total de Manutenção”. Neste item é registrada a soma diária e mensal de todas as paradas advindas por problemas de manutenção. O índice de manutenção está demonstrado no campo de confronto entre o item “Total de Manutenção” e o item “Acumulado%”, resultando da divisão entre a soma total dos tempos de parada de manutenção do setor no mês pelo tempo operacional mensal planejado para o setor.

A seguir é apresentado um extrato da planilha OEE utilizada pela empresa, que apresenta apenas as dimensões que afetam o índice de disponibilidade por quebra em equipamentos, que é o foco do trabalho e alvo principal da função manutenção.

Figura 8 - Extrato da planilha OEE da empresa, contendo apenas as dimensões que afetam o índice de disponibilidade por quebra em equipamentos.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Acumulado	Acum. %				
<b>TEMPO OPERACIONAL (min)</b>																																						
<b>Paradas Imprevistas</b>	<b>GARGALO</b>	Quebra Mecânica																																				
		Quebra Elétrica																																				
	<b>TOTAL DE PARADAS DA MÁQ.</b>																																					
	<b>Utilidades</b>	Falta de Ar comprimido																																				
		Falta de Frio																																				
		Falta de Vapor																																				
		Falta de Energia																																				
		Falta de Água																																				
		Amônia																																				
	<b>TOTAL DE UTILIDADES</b>																																					
	<b>Manutenção Elétrica / Mecânica</b>	<b>Outras Máquinas</b>																																				
<b>TOTAL DE OUTRAS MÁQUINAS (min)</b>																																						
Tempo Esperando Mecânico/Eletricista																																						
<b>TOTAL DE MANUTENÇÃO (min)</b>																																						

Fonte: Empresa estudada.

### 3.4 LIMITAÇÕES DO MÉTODO

Assim como qualquer outro método de pesquisa já existente, esse também apresenta algumas limitações. Por exemplo, os dados de falhas em equipamentos produtivos observados na planilha OEE, que foram estudados pela metodologia proposta, às vezes, podem não conter informações totalmente reais devido às incertezas de quem a preenche: o tempo que o equipamento ficou em estado de falha ou ainda o efeito dessa falha no equipamento são exemplos de algumas das incertezas que permeiam tais dados.

Outra limitação desse método é quanto à forma de abordagem do problema, que no caso foi qualitativa. A pesquisa qualitativa tem a limitação de depender da subjetividade da interpretação do pesquisador e está muita ligada ao contexto no qual foi aplicada. Portanto, tem a limitação de não permitir generalizações muito amplas, de forma que ficaria difícil afirmar que o que funciona para essa indústria funcionará para outras organizações.

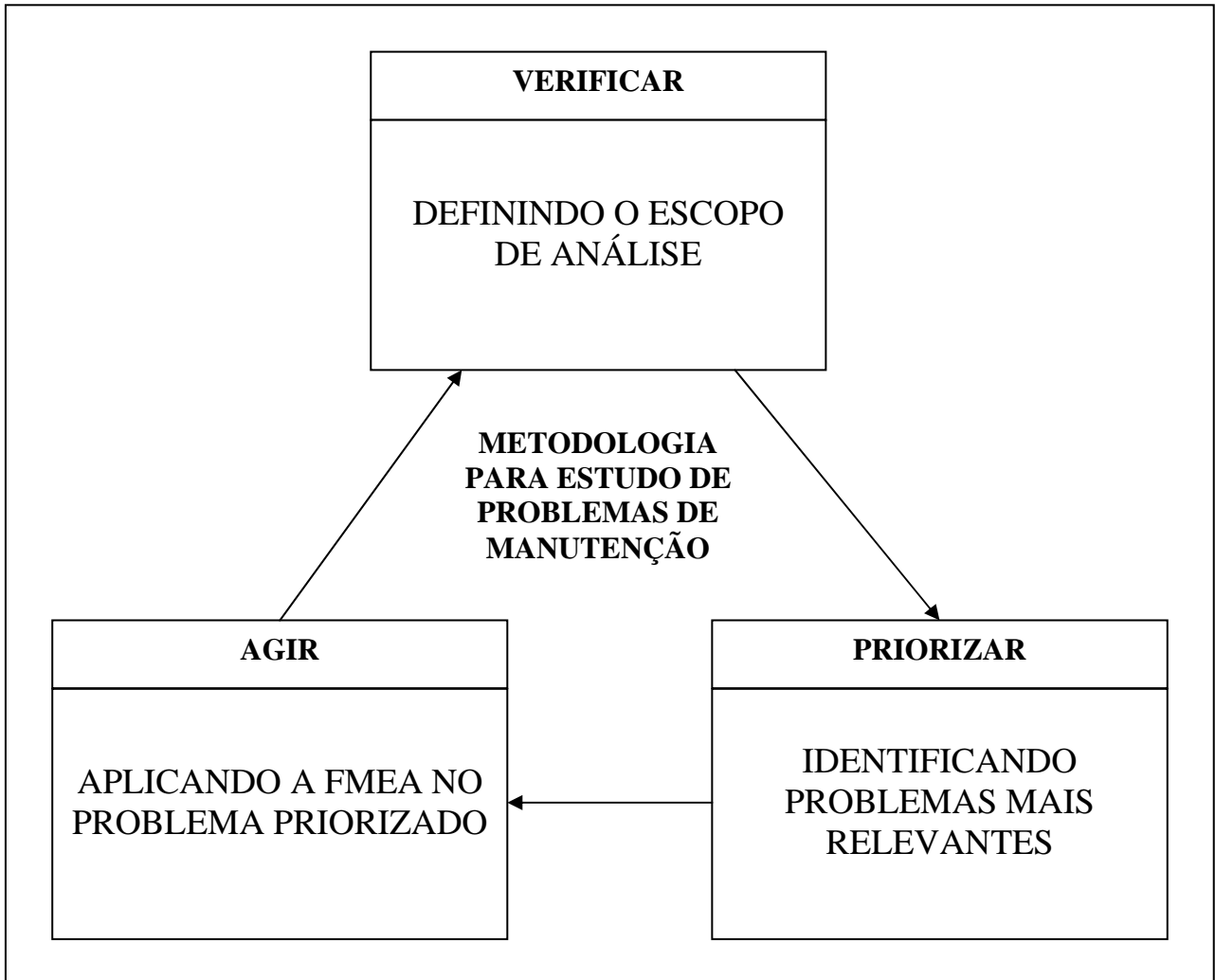
### 3.5 METODOLOGIA DE ANÁLISE E SOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE MANUTENÇÃO

A metodologia empregada nesse trabalho foi elaborada pelo autor, se valendo de algumas ferramentas citadas e explicadas no capítulo anterior a este. Na literatura, apesar do grande número de ferramentas aplicadas à manutenção, pouco se fala sobre uma metodologia padrão de análise dos problemas de manutenção. Isso acontece devido ao fato de nenhuma empresa ser igual à outra, apresentando problemas particulares de manutenção. Portanto, é necessário criar uma metodologia adaptada para utilização na empresa em estudo.

A seguir é apresentada uma figura que representa as três etapas principais da metodologia que foi proposta para estudar os problemas de manutenção na empresa.



Figura 9 - Representação esquemática da metodologia para estudo dos problemas de manutenção.

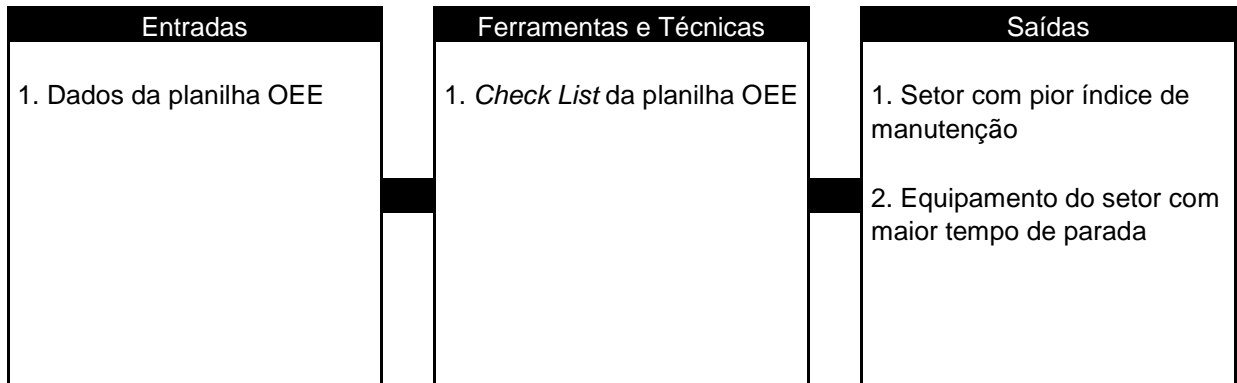


Fonte: Autor.

Como se pode observar na figura 9, a metodologia proposta é composta de três etapas. Cada uma dessas etapas é explicada em detalhe a seguir.

### 3.5.1 Verificar – definindo o escopo de análise

Quadro 5 - Resumo sistemático da primeira etapa.



Fonte: Autor.

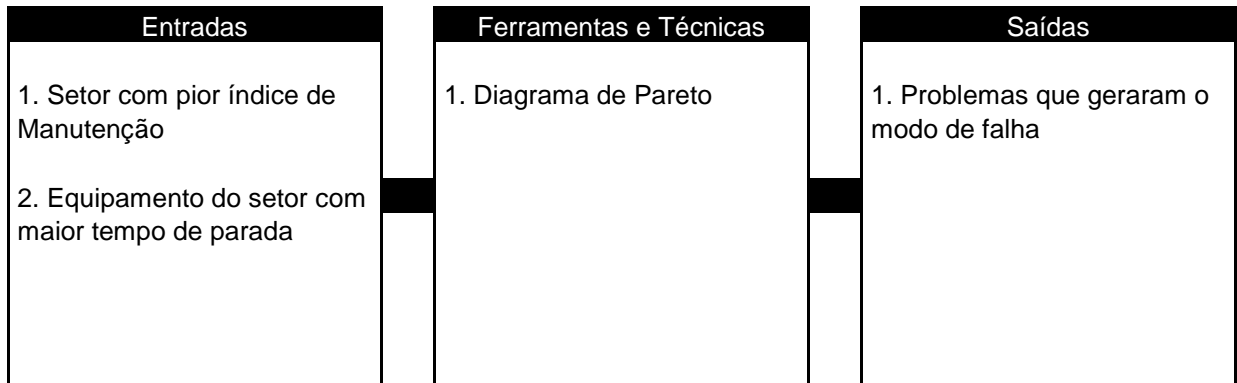
Na primeira fase dessa etapa do trabalho é necessário que se faça um *check list* nas planilhas OEE de cada um dos setores, verificando qual deles apresenta o pior índice de disponibilidade de equipamentos. O indicador de disponibilidade é usado porque analisa a porcentagem de tempo que os equipamentos realmente estão em operação, ou seja, alguns problemas de manutenção afetarão esse indicador, pois poderão parar a máquina que deveria estar produzindo. É possível de se observar esse dado na planilha OEE no campo de confronto entre o item “Total de Manutenção” e o item “Acumulado%”.

Encontrado, através da primeira fase, o setor que apresenta o pior índice de manutenção, a segunda fase dessa etapa consiste em fazer outro *check list* na planilha OEE desse setor, verificando mais detalhadamente cada uma de suas paradas. Na planilha OEE, todos os setores estão apresentados de forma detalhada, ou seja, estão listados todos os equipamentos que os compõem juntamente com seus respectivos tempos de paradas diárias.

Portanto, é preciso avaliar qual dentre os equipamentos do setor em análise está contribuindo de forma mais negativa para o índice de disponibilidade do setor, ou seja, é necessário avaliar qual equipamento apresenta o maior tempo de parada do setor dentro do mês. É possível de se observar esse dado na planilha OEE nos campos de confronto entre os equipamentos e o item descrito como “Acumulado”.

### 3.5.2 Priorizar – identificando problemas mais relevantes

Quadro 6 - Resumo sistemático da segunda etapa.

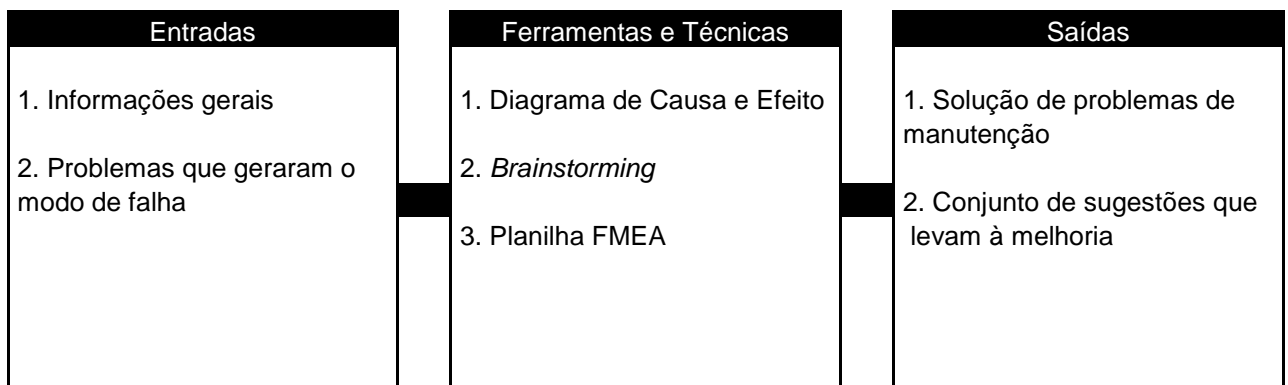


Fonte: Autor.

A segunda etapa da metodologia proposta é destinada a priorizar os problemas utilizando o Diagrama de Pareto. Após encontrar o setor, e dentro dele, o equipamento que mais vem afetando a produção com suas paradas, o próximo passo é qualificar em ordem decrescente os problemas que ocasionaram essas paradas e, em seguida, montar o Diagrama de Pareto. Essa etapa é muito importante, pois direcionará os primeiros esforços no combate dos problemas que mais vêm afetando o equipamento em estudo.

### 3.5.3 Agir – aplicando a FMEA no problema priorizado

Quadro 7 - Resumo sistemático da terceira etapa.



Fonte: Autor.

A terceira etapa desse método sugerido é a aplicação da FMEA, apoiada pela utilização do *brainstorming* e do diagrama de causa e efeito para identificar as principais causas dos problemas. A tabela FMEA deve ser preenchida, conforme o explicado no capítulo anterior, após uma minuciosa investigação dos problemas, através das seguintes fases:

- (i) Preenchimento de todos os itens contidos no cabeçalho da tabela;
- (ii) Preenchimento dos itens “Etapa do Processo” e “Propósito da Etapa”;
- (iii) Preenchimento do item “Modo de Falha”. Esse campo deverá ser preenchido sempre com o problema que ocasionou maior tempo acumulado de parada da máquina, que foi levantado e priorizado pelo Diagrama de Pareto, pois esse será o modo de falha que mais afetará o índice de manutenção;
- (iv) Preenchimento do item “Efeito”, sempre como paralisação da produção, e em seguida do item “Severidade”. Esse último item deve ser preenchido de acordo com o “Quadro 1” do capítulo anterior;
- (v) Preenchimento do item “Causa”. Nesse momento faz-se necessário o uso do Diagrama de Causa e Efeito. Após a Análise de Pareto, é preciso fazer um estudo mais detalhado das causas que vem impactando na parada do equipamento. O Diagrama de Causa e Efeito surge como principal ferramenta que auxilia nesse estudo.  
Os problemas ou causas principais serão aquelas listadas na análise de Pareto e as causas detalhadas, ou seja, as causas das causas serão encontradas através de um *brainstorming* conduzido por essa ferramenta e organizado por meio do diagrama de causa e efeito.  
Logo após, deve-se preencher o item “Ocorrência” de acordo com o “Quadro 2” do capítulo anterior;
- (vi) Preenchimento do item “Controle” com os tipos de controle usados atualmente para detectar a falha antes que ocorra. Em seguida, deve-se preencher o item “Detecção” de acordo com o “Quadro 3” do capítulo anterior;

- (vii) Preenchimento do item “Risco” com o resultado da multiplicação dos itens “Severidade”, “Ocorrência” e “Detecção”. Os modos de falha de maiores riscos deverão ser combatidos com maior prioridade;
  
- (viii) Preenchimento do item “Ações Recomendadas”. Essas recomendações devem ser levantadas num ambiente de *brainstorming* da equipe. Após preenchimento desse último item, a equipe deve estabelecer o responsável e a data prevista para execução da ação recomendada, que deverão estar descritos nos itens “Responsável” e “Data Prevista”;
  
- (ix) A última fase dessa etapa deverá acontecer após a execução da ação recomendada. O resultado dessa ação deverá ser avaliado para preenchimento do item “Risco Resultante”. Para facilitar o preenchimento desse item é importante que se preencha antecipadamente os novos valores de “Severidade”, “Ocorrência” e “Detecção”. Essa fase é necessária para avaliar a melhoria proporcionada com a ação que foi recomendada e executada. Caso a ação não tenha resultado na melhoria que se pretendia, novas ações devem ser recomendadas, executadas e avaliadas repetindo esse procedimento até que se chegue à melhoria esperada.

A seguir está ilustrada a tabela FMEA que foi usada neste trabalho (Quadro 8).

Quadro 8 - Tabela FMEA.

ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA - FMEA FMEA DE PROCESSO										NÚMERO DA FMEA:						
IDENTIFICAÇÃO DO PROCESSO:										SETOR:						
										EQUIPAMENTO:						
				DATA DA ELABORAÇÃO:			DATA DA ÚLTIMA REVISÃO:			COORDENADOR:						
										PARTICIPANTES:						
ETAPA DO PROCESSO	PROPÓSITO DA ETAPA	MODO DE FALHA	EFEITO	SEVERIDADE	CAUSA	OCORRÊNCIA	CONTROLE	DETECÇÃO	RISCO	AÇÕES RECOMENDADAS	RESPONSÁVEL	DATA PREVISTA	SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	DETECÇÃO	RISCO
SEVERIDADE				OCORRÊNCIA			DETECÇÃO			RISCO						
MUITO ALTA		10, 9		MUITO ALTA			10, 9		MUITO REMOTA		10		BAIXO		1 a 50	
ALTA		8, 7		ALTA			8, 7		REMOTA		9, 8		MÉDIO		51 a 100	
MODERADA		6, 5		MODERADA			6, 5, 4		BAIXA		7, 6		ALTO		101 a 200	
BAIXA		4, 3		BAIXA			3, 2		MODERADA		5, 4		MUITO ALTO		201 a 1000	
MUITO BAIXA		2, 1		MUITO BAIXA			1		ALTA		3, 2					
									MUITO ALTA		1					

Fonte: Autor.

### 3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo enquadrou a pesquisa dentro de alguns critérios de classificação, descreveu a unidade de análise e explicitou as técnicas de coleta e análise de dados. Também apontou as limitações do método de pesquisa utilizado.

Dentro do capítulo foi proposta uma metodologia para estudo de problemas de manutenção que afetam o cumprimento do plano produtivo que apresenta as seguintes características:

- Verifica qual setor e dentro dele qual o equipamento que apresenta os piores índices de manutenção;
- Prioriza os problemas que mais contribuem para essa situação;
- Aplica ferramentas de análise que direcionam para resolução do problema.

Por fim, neste capítulo foram descritos os passos julgados necessários para analisar e solucionar problemas de manutenção dentro da empresa que é objeto de estudo deste trabalho.

## 4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

Este capítulo tem como objetivo a aplicação da metodologia de análise e solução de problemas de manutenção em uma indústria de grande porte do setor alimentício localizada na região de Dourados/MS, incluindo também a caracterização da empresa em estudo, a organização do setor de manutenção nesta empresa e a discussão geral sobre a aplicabilidade da metodologia proposta.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

A empresa estudada encontra-se na região de Dourados no estado de Mato Grosso do Sul. O seu ramo de atividade é a indústria de alimentos. Está localizada em um terreno de 558.230,00 metros quadrados, sendo que destes, 55.817,37 metros quadrados são de área construída.

Esta empresa trabalha no segmento de aves, suínos e carnes processadas e emprega mais de setenta mil pessoas. Ela está presente em treze países com noventa e uma plantas. A mesma possui nove unidades industriais, vários escritórios de vendas nacionais e internacionais, além de um terminal portuário privado. Isso explica o porquê de ela ser líder na indústria global de alimentos e a quarta maior produtora mundial de carnes bovina, ovina, suína e de aves.

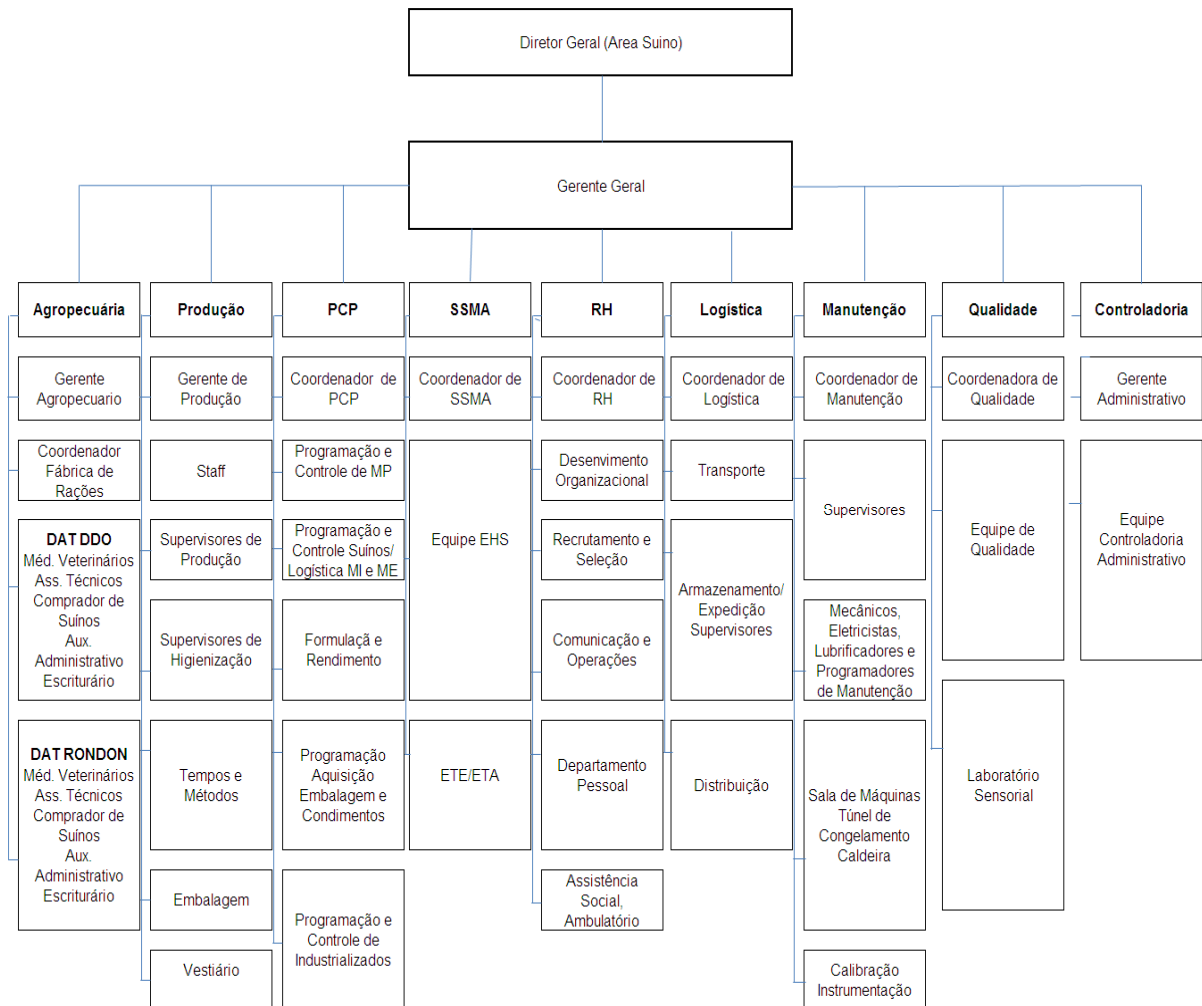
A unidade de Dourados oferece produtos consumidos tanto pela classe alta como também pelas classes média e baixa. No mercado nacional atende desde grandes atacados até empresas que atuam no varejo. Além disso, esta unidade exporta seus produtos para Angola, Argentina, Cingapura, Haiti, Hong Kong, Japão, Ucrânia e Venezuela, onde também são apreciados.

A empresa oferece os seguintes produtos para seus clientes: cortes a granel de aves, cortes de aves, cortes em bandeja de aves, empanados, feijoada, frango inteiro com miúdos congelados, hambúrgueres, lasanhas, linguiças curadas, linguiças frescas, linha festa, linha *light*, mortadelas, pão de queijo, pizzas, pratos prontos, presuntos, salames, salgados, salsichas, sanduíches prontos e *special line*.

Quanto à estrutura administrativa, a unidade empresarial de Dourados é composta por um Diretor Geral, logo abaixo um Gerente Geral e mais abaixo é composta por Coordenadores e Gerentes específicos de cada área da fábrica, juntamente com seus respectivos subordinados, conforme mostra a figura 10.



Figura 10 - Estrutura Administrativa da filial de Dourados/MS.



Fonte: Empresa estudada.

#### 4.2 ORGANIZAÇÃO DO SETOR DE MANUTENÇÃO NA EMPRESA

O setor de manutenção da empresa em estudo tem a seguinte estrutura funcional:

- Um coordenador;
- Três supervisores:
  - Um supervisor do primeiro turno;
  - Um supervisor do segundo turno;
  - Um supervisor de utilidades (Sala de Máquinas, Caldeira e Túnel de Congelamento);

- Mecânicos, Eletricistas, Lubrificadores e Programadores de Manutenção.

Os turnos de trabalho do setor de manutenção nessa empresa são os seguintes:

- Primeiro turno: 05:00 h às 13:20 h;
- Segundo turno: 13:00 h às 21:20 h;
- Terceiro turno: 21:00 h às 05:20 h.

O objetivo principal do setor de manutenção da empresa em estudo é garantir que os equipamentos produtivos estejam sempre disponíveis para realizar suas funções quando acionados de forma ajustada com aquilo que foram projetados.

Para isso, essa empresa utiliza três tipos de manutenção: a corretiva, a preditiva e a preventiva.

- A manutenção corretiva ocorre após o surgimento de uma falha no equipamento, parada de produção ou uma condição de não-conformidade relevante e objetiva recuperar as condições normais de funcionamento, retornando à normalidade do processo produtivo.
- A manutenção preditiva é realizada com base na aplicação de técnicas específicas de análise de medição, que no caso da empresa em estudo são a análise de vibração (utilizada para identificar e medir pontos de vibração em motores, redutores, bombas, acoplamentos, etc.) e a termografia (utilizada para identificar e medir pontos de aquecimento nas instalações elétricas). Caso essas análises encontrem alguma anomalia em algum equipamento, uma ação preventiva é programada para correção dessa anomalia.
- A manutenção preventiva ocorre em equipamentos através de um plano antecipadamente elaborado baseado em intervalos de tempo, promovendo a substituição de componentes a fim de evitar quebras que prejudicam o processo produtivo.

Na empresa em estudo também existem três roteiros de ações preventivas: roteiro de inspeção, roteiro de lubrificação e roteiro de serviços de limpeza em equipamentos. Esses roteiros são considerados itinerários que devem ser percorridos entre um equipamento e o

outro em intervalos de tempo definidos a fim de evitar quebras que prejudicam o processo produtivo. Se com o término do roteiro for identificada alguma anomalia em algum equipamento, uma ação preventiva é programada para correção dessa anomalia.

### 4.3 APLICAÇÃO

Na aplicação da metodologia proposta foi considerada a planilha OEE de fevereiro do ano de 2011, pois no dia que o estudo foi iniciado, esse era o último mês já encerrado e que, portanto, já tinha todas as suas informações contidas na planilha.

#### 4.3.1 Verificar – definindo o escopo de análise

Após fazer um *check list* nas planilhas OEE de cada um dos setores foi verificado que o setor com o pior índice de disponibilidade de equipamentos, ou seja, o setor que mais tem afetado a produção por paradas de máquina é o “termo processados”. A seguir é apresentado um quadro preenchido com as informações da planilha OEE na qual é possível observar essa constatação. A coluna “Acumulado %” exibe a porcentagem do tempo de produção que é afetado por paradas de máquina. Nessa tabela, nota-se que o setor termo processados aparece com 10,44%, que entre todos os setores é o pior índice.

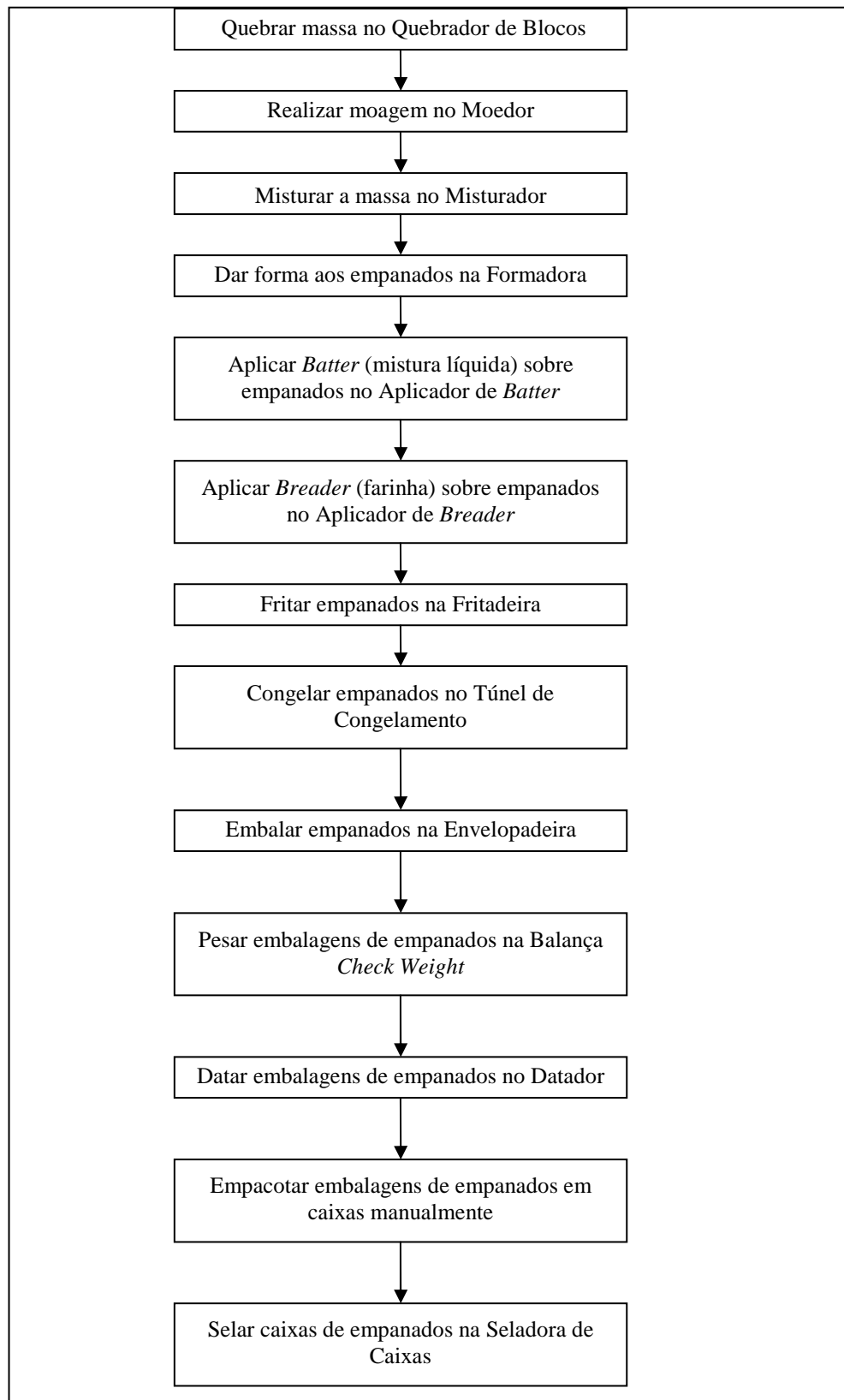
Quadro 9 - Porcentagem do tempo de produção que é afetado por paradas de máquinas por setores.

SETOR	Acumulado (minutos)	Tempo Operacional (minutos)	Acumulado %
Curados	1589	74648	2,13
Defumados	325	32777	0,99
Estufas	588	233453	0,25
Salamaria	539	22900	2,35
Salame	0	18720	0,00
Salgados	300	20135	1,49
Salsicharia	3261	76223	4,28
Termo Processados	1774	16989	10,44

Fonte: Autor.

A figura 11 a seguir mostra o fluxograma de produção do setor de termo processados, detalhando suas atividades e equipamentos.

Figura 11 - Fluxograma da linha de produção do setor de termo processados.



Fonte: Autor.

Constatado que o termo processados foi o setor que mais sofreu no mês de fevereiro por paradas de máquinas, o próximo passo foi fazer um *check list* na planilha OEE de fevereiro desse setor. Após essa verificação foi possível observar que o equipamento com o maior tempo de paradas foi o equipamento gargalo do setor, que é a formadora, com 712 minutos no acumulado do mês de paradas. A seguir é apresentada a planilha OEE do setor adaptada de forma a exibir apenas as informações necessárias para esta análise.

Figura 12 - Planilha OEE do setor termo processados adaptada de forma a exibir os tempos de paradas por equipamentos.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Acumulado	Acum. %			
<b>TEMPO OPERACIONAL (min)</b>		704	774	741	789	726		700	772	856	719	765	795		782	782	397	767	454	769		771	675	699	802	668	564		518				<b>16989</b>				
<b>Paradas Imprevistas</b>	<b>GARGALO</b>	Quebra Mecânica		10	420					18			5		50	2		11	16					36									<b>603</b>	<b>3,55%</b>			
		Quebra Elétrica		9								25	75																					<b>109</b>	<b>0,64%</b>		
		<b>TOTAL DE PARADAS DA MÁQ.</b>		<b>19</b>	<b>420</b>							<b>18</b>	<b>25</b>	<b>75</b>	<b>5</b>		<b>50</b>	<b>2</b>		<b>11</b>	<b>16</b>				<b>36</b>									<b>712</b>	<b>4,19%</b>		
	<b>Utilidades</b>	Falta de Ar comprimido																																			
		Falta de Frio	20			52			16	5		13	27	10		32	16		5	13	30		63	19	10	41		16		6				<b>394</b>	<b>2,32%</b>		
		Falta de Vapor																																			
		Falta de Energia								11																										<b>11</b>	<b>0,06%</b>
		Falta de Água				3			5																						6					<b>14</b>	<b>0,08%</b>
		Amônia																																			
	<b>TOTAL DE UTILIDADES</b>		<b>20</b>			<b>55</b>			<b>21</b>	<b>16</b>		<b>13</b>	<b>27</b>	<b>10</b>		<b>32</b>	<b>16</b>		<b>5</b>	<b>13</b>	<b>30</b>		<b>63</b>	<b>19</b>	<b>10</b>	<b>41</b>		<b>16</b>		<b>12</b>			<b>419</b>	<b>2,47%</b>			
	<b>Outras Máquinas</b>	QUEBRADOR DE BLOCOS																																			
		MOEDOR			30				10									28								45										<b>113</b>	<b>0,67%</b>
		MISTURADOR																																			
		APLICADOR DE BATTER																																			
		APLICADOR DE BREADER							5																	19	14									<b>38</b>	<b>0,22%</b>
		FRITADEIRA			12		30															17														<b>59</b>	<b>0,35%</b>
		TÚNEL DE CONGELAMENTO										12														27		74								<b>113</b>	<b>0,67%</b>
		ENVELOPADEIRAS							10				14												32						31					<b>87</b>	<b>0,51%</b>
		BALANÇA CHECK WEIGHT																																			
		SELADORA DE CAIXAS																																			
DATADOR																																				<b>24</b>	<b>0,14%</b>
ESTEIRAS		11				9					18	5							62	20	6				36			10		32				<b>209</b>	<b>1,23%</b>		
<b>TOTAL DE OUTRAS MÁQUINAS (min)</b>		<b>11</b>		<b>42</b>		<b>39</b>		<b>5</b>	<b>20</b>	<b>30</b>		<b>19</b>				<b>28</b>	<b>62</b>	<b>20</b>	<b>23</b>		<b>32</b>			<b>127</b>	<b>14</b>	<b>74</b>	<b>34</b>		<b>63</b>			<b>643</b>	<b>3,78%</b>				
Tempo Esperando Mecânico/Eletricista																																					
<b>TOTAL DE MANUTENÇÃO (min)</b>		<b>31</b>	<b>19</b>	<b>462</b>	<b>55</b>	<b>39</b>		<b>26</b>	<b>36</b>	<b>48</b>	<b>38</b>	<b>121</b>	<b>15</b>		<b>82</b>	<b>18</b>	<b>28</b>	<b>78</b>	<b>49</b>	<b>53</b>		<b>95</b>	<b>55</b>	<b>137</b>	<b>55</b>	<b>109</b>	<b>50</b>		<b>75</b>			<b>1774</b>	<b>10,44%</b>				

Fonte: Empresa estudada.

Nesta primeira etapa da aplicação da metodologia proposta para a empresa em estudo, chegou-se à conclusão que o setor com o pior índice de manutenção é o termo processados e o equipamento que mais contribui com essa situação negativa é a formadora. A próxima etapa foi priorizar os problemas através do diagrama de Pareto.

#### **4.3.2 Priorizar – identificando problemas mais relevantes**

Nesta etapa do trabalho o objetivo foi priorizar os problemas que levaram as paradas de produção através do diagrama de Pareto. Esses problemas estão descritos como observações em cada campo que está preenchido com o tempo de parada na planilha OEE.

Conforme mencionado no capítulo anterior, todo campo da planilha OEE preenchido com o tempo de parada deveria possuir uma observação da falha descrita pelo operador do equipamento que parou, porém, nem sempre isso acontece. Como foi possível de observar neste estudo e está esboçado no quadro 11, 20% dos problemas que ocasionaram as paradas não possuíam nenhum tipo de observação.

O quadro 10, a seguir, exhibe as observações feitas na planilha OEE pelo operador a cada parada do equipamento gargalo, ou seja, a cada parada da formadora.

Quadro 10 - Observações sobre a parada da formadora descritas na planilha OEE.

<b>Dia</b>	<b>Tempo de parada (minutos)</b>	<b>Observação</b>
02/02/11	10	Não especificada
02/02/11	9	Não especificada
03/02/11	420	Quebrou a ponta do eixo
09/02/11	18	Não especificada
10/02/11	25	Não especificada
11/02/11	75	Não especificada
12/02/11	5	Não especificada
14/02/11	50	Esteira de saída estava com a engrenagem fora de posição
15/02/11	2	Malha quebrada
17/02/11	11	Ajuste na temperatura do óleo e malha quebrada
18/02/11	16	Quebra da mangueira do óleo
22/02/11	36	Quebrou o parafuso da prensa
25/02/11	35	Quebra da mangueira de ar do enchimento
<b>Acumulado</b>	<b>712</b>	-

Fonte: Autor.

Com as informações do quadro 10 foi possível separar os tempos de paradas da máquina por tipos de componentes que falharam e que dessa forma ocasionaram estas panes, conforme o quadro 11, a seguir.



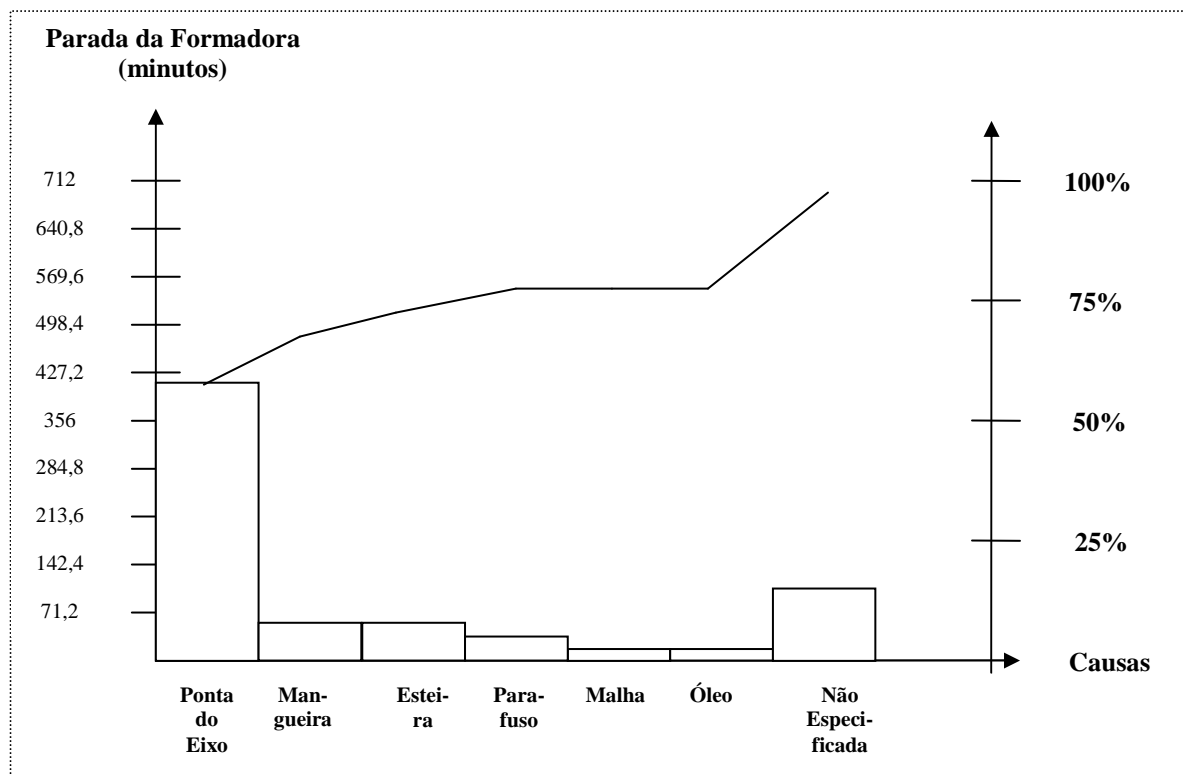
Quadro 11 - Tipos de componentes da formadora que ocasionaram as paradas.

Problema	Minutos	% do Total	% Acumulada
Ponta do eixo	420	59%	59%
Mangueira	51	7%	66%
Esteira	50	7%	73%
Parafuso	36	5%	78%
Malha	8	1%	79%
Óleo	5	1%	80%
Não especificado	142	20%	100%
<b>Total</b>	<b>712</b>	<b>100%</b>	<b>-</b>

Fonte: Autor.

Em seguida, o próximo passo foi elaborar o diagrama de Pareto para melhor visualização dos principais problemas que estavam ocasionando as paradas da formadora, conforme figura 13, exibida a seguir.

Figura 13 - Diagrama de Pareto dos problemas que ocasionaram as paradas da formadora descritas na planilha OEE.



Fonte: Autor.

Com o diagrama de Pareto montado foi possível observar todos os problemas, que ocasionaram as paradas da formadora, em ordem decrescente de tempo de parada. Então, chegou-se à conclusão que o problema principal das paradas da máquina foi a falha do componente ponta do eixo que corresponde a mais da metade do total de tempo de parada no mês em estudo.

Portanto, de acordo com a metodologia proposta, os esforços para evitar paradas da formadora deveriam ser concentrados no intuito de evitar problemas no componente ponta do eixo. A próxima etapa foi elaborada de acordo com essa conclusão, ou seja, os problemas na ponta do eixo foram analisados pela ferramenta de análise dos modos e efeitos de falha (FMEA) a fim de solucioná-los.

#### **4.3.3 Agir – aplicando a FMEA no problema priorizado**

Nesta etapa do trabalho o objetivo foi analisar mais detalhadamente o problema no componente ponta do eixo, causador do maior tempo de parada da formadora, a fim de oferecer soluções que priorizem as causas mais graves desse problema e que dessa forma proporcionem os melhores.

De acordo com esse objetivo, esta etapa foi aplicada conforme as fases descritas no capítulo anterior e pode ser visualizada no quadro 12.

Primeiramente todos os itens do cabeçalho foram preenchidos da seguinte maneira:

- “Número da FMEA”: “1”;
- “Setor”: “Termo Processados”;
- “Equipamento”: “Formadora”;
- “Coordenador”: “Adibe Caetano”;
- “Participantes”: “Funcionários da empresa em estudo”;
- “Identificação do Processo”: “Produção de produtos termo processados”;
- “Data da elaboração”: “28/03/2011”.

Logo após, as colunas “Etapa do Processo” e “Propósito da Etapa” foram preenchidas com “Formação” e “Dar forma aos empanados”, respectivamente, pois o equipamento em estudo era a formadora que tem como função dar forma aos empanados.

Em seguida, as colunas “Modo de Falha” e “Efeito” foram preenchidas com “Quebra da ponta do eixo” e “Paralisa a produção”, respectivamente, conforme estabelecido pela metodologia descrita no capítulo anterior.

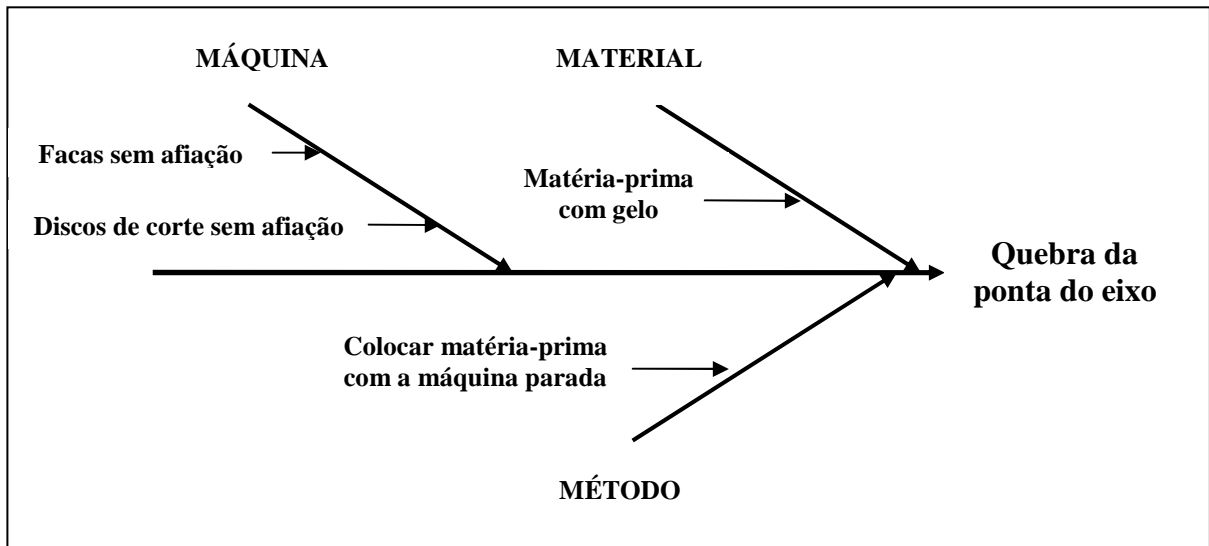
A próxima fase foi preencher a coluna “Severidade”, de acordo com o quadro 1, apresentado no capítulo 2 desse trabalho. Neste momento foi necessário fazer uma estimativa do quão severo é o efeito da falha. Para isso foi necessário fazer um *brainstorming* entre os participantes da FMEA, o qual se concluiu que a coluna deveria ser preenchida com “10”, pois a paralisação da produção foi considerada uma severidade muito alta pelo fato de atrapalhar todo o planejamento produtivo e diminuir a produtividade industrial.

Depois, foi necessário preencher a coluna “Causa” da tabela FMEA. Nesse momento já se sabia que o estudo estava sendo executado objetivando eliminar problemas na ponta do eixo, causa essa estabelecida como prioridade pelo diagrama de Pareto.

Contudo, era necessário chegar às causas raízes do problema na ponta do eixo. Então, de acordo com o estabelecido pela metodologia proposta, foi necessário usar o diagrama de causa e efeito. Os participantes da FMEA se reuniram e num ambiente de *brainstorming* chegaram a essas causas raízes, possíveis de serem visualizadas na figura 14.

Durante o *brainstorming* para a identificação das causas do problema de quebra na ponta do eixo, constatou-se que o equipamento que realmente havia quebrado era o moedor, ou seja, a ponta do eixo do moedor havia quebrado não a da formadora. Isso evidenciou que as informações exibidas na planilha OEE podem não ser confiáveis. Esse assunto foi discutido adiante no item 4.4 deste trabalho, ao avaliar a factibilidade da metodologia. Contudo, para a continuação da aplicação da metodologia, a análise passou a ser feita no moedor, não mais na formadora.

Figura 14 - Diagrama de causa e efeito que esboça as causas raízes do problema na ponta do eixo.



Fonte: Autor.

Chegado às causas raízes do problema, a próxima fase foi completar a coluna “Ocorrência”, de acordo com o quadro 2, apresentado no Capítulo 2 desse trabalho. Nesse momento foi necessário estimar os números que representam as frequências de ocorrências de cada uma dessas causas. Mais uma vez os participantes da FMEA se reuniram e após uma análise subjetiva das causas levantadas, chegaram a esses números conforme descrito a seguir:

- Matéria-Prima com gelo: 8 (alta);
- Facas sem afiação: 5 (moderada);
- Discos de Corte sem afiação: 5 (moderada);
- Colocar Matéria-Prima com a máquina parada: 6 (moderada).

Depois de estimado os números que representam as frequências de ocorrências das causas do modo de falha, a próxima fase foi preencher a coluna “Controle” com os tipos de controles usados até aquele momento para detectarem as falhas antes que ocorram.

Claramente não existia nenhum tipo de controle para evitar as causas “Matéria-Prima com gelo” e “Colocar Matéria-Prima com a máquina parada”. Já para evitar as causas “Facas sem afiação” e “Discos de Corte sem afiação” o tipo de controle existente para ambos era a inspeção visual.

Após essa constatação foi preciso preencher a coluna “Detecção”, de acordo com o quadro 3, exibido no Capítulo 2 desse trabalho. Nesse momento foi necessário estimar os números que representam a probabilidade de detecção das causas do modo de falha, pelos controles existentes, antes que elas ocorram. Outra vez os participantes da FMEA se agruparam e após uma análise subjetiva dos controles existentes, chegaram a esses números conforme descrito abaixo:

- Não há controle: 10 (controle existente não detectará a causa do modo de falha);
- Inspeção Visual: 5 (controle existente possivelmente detectará a causa do modo de falha).

Com as colunas “Severidade”, “Ocorrência” e “Detecção” preenchidas, foram calculados os valores dos riscos através da multiplicação dos valores dessas três colunas. Com o fim desses cálculos chegou-se a quatro valores de riscos, correspondentes as quatro causas do modo de falha. Esses valores foram 800 para a causa “Matéria-Prima com gelo” onde não havia controle, 250 para as causas “Facas sem afiação” e “Discos de corte sem afiação” nos quais o controle existente era a inspeção visual e 600 para a causa “Colocar a matéria-prima com a máquina parada” em que também não havia nenhum tipo de controle.

Com esses valores dos riscos estabelecidos, a próxima fase foi preencher a coluna “Ações Recomendadas”. Todos os participantes da FMEA se reuniram e através de um *brainstorming* decidiram que para os riscos de valores iguais a 800 e a 600 a ação que deveria ser tomada era “Treinamento e conscientização do pessoal de produção”. Já para os outros dois riscos de valor igual a 250 a ação que deveria ser tomada era “Treinamento dos inspetores”.

Após a recomendação das ações, a tabela FMEA não foi mais completada. As próximas colunas poderiam ser preenchidas apenas após a realização dessas ações recomendadas. A ordem para realização dessas ações não dependia dos participantes da FMEA, mas sim da gerência da empresa em estudo, algo que até o presente momento não aconteceu.

A seguir segue o quadro 12, que esboça a aplicação da FMEA para analisar problemas de quebra no componente ponta do eixo, conforme descrito anteriormente.

Quadro 12 - Aplicação da FMEA para analisar problemas de quebra no componente ponta do eixo.

ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA - FMEA FMEA DE PROCESSO										NÚMERO DA FMEA: 1														
IDENTIFICAÇÃO DO PROCESSO: Produção de produtos termoprocessados										DATA DA ELABORAÇÃO: 28/03/2011			DATA DA ÚLTIMA REVISÃO:				SETOR: Termoprocessados							
																	EQUIPAMENTO: Formadora							
										COORDENADOR: Adibe Caetano														
										PARTICIPANTES: Funcionários da empresa em estudo														
ETAPA DO PROCESSO	PROPÓSITO DA ETAPA	MODO DE FALHA	EFEITO	SEVERIDADE	CAUSA	OCORRÊNCIA	CONTROLE	DETECÇÃO	RISCO	AÇÕES RECOMENDADAS	RESPONSÁVEL	DATA PREVISTA	SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	DETECÇÃO	RISCO								
Formação	Dar forma aos empanados	Quebra da ponta do eixo	Paralisa a produção	10	Matéria-Prima com gelo	8	Não há controle	10	800	Treinamento e conscientização do pessoal da produção														
				10	Facas sem afiação	5	Inspeção visual	5	250	Treinamento dos inspetores														
				10	Discos de corte sem afiação	5	Inspeção visual	5	250	Treinamento dos inspetores														
				10	Colocar a matéria-prima com a máquina parada	6	Não há controle	10	600	Treinamento e conscientização do pessoal da produção														
SEVERIDADE				OCORRÊNCIA			DETECÇÃO			RISCO														
MUITO ALTA				10, 9			MUITO ALTA			10, 9			MUITO REMOTA			10			BAIXO			1 a 50		
ALTA				8, 7			ALTA			8, 7			REMOTA			9, 8			MÉDIO			51 a 100		
MODERADA				6, 5			MODERADA			6, 5, 4			BAIXA			7, 6			ALTO			101 a 200		
BAIXA				4, 3			BAIXA			3, 2			MODERADA			5, 4			MUITO ALTO			201 a 1000		
MUITO BAIXA				2, 1			MUITO BAIXA			1			ALTA			3, 2								
													MUITO ALTA			1								

Fonte: Autor.

#### 4.4 DISCUSSÃO SOBRE A APLICABILIDADE DA METODOLOGIA PROPOSTA

Para a avaliação da aplicabilidade da metodologia proposta foram adotados três critérios: a factibilidade, a usabilidade e a utilidade. O critério factibilidade foi adotado com o objetivo de responder se a metodologia pode ser utilizada na prática. Já o critério usabilidade foi adotado com a finalidade de saber se a metodologia é de fácil uso. O terceiro critério, a utilidade, foi adotado no intuito de verificar se a metodologia traz resultados relevantes (PLATTS *apud* SANTOS, 2006).

Considerando o critério de **factibilidade** foi possível concluir que a metodologia proposta é factível e pode ser utilizada na prática, mas depende de alguns fatores para que a aplicação seja confiável. Ao verificar a aplicação feita é possível chegar-se a conclusão de que a empresa não tem contribuído para a acuracidade das informações e, por isso, deve adotar alguns procedimentos para isso, explicados a seguir.

As informações que alimentam a primeira etapa da metodologia, e que servem como ponto de partida para a aplicação, advêm da planilha OEE utilizada pela empresa. Porém, como foi observado na terceira etapa da aplicação, elas podem não ser verdadeiras. Durante o *brainstorming* que objetivava chegar às causas raízes do problema de quebra na ponta do eixo, foi identificada uma falha na informação contida na planilha OEE. A quebra da ponta de eixo estava esboçada no campo que deveria conter as quebras da formadora, porém esse problema ocorreu no moedor.

Esse problema afetou inicialmente toda a aplicação. Contudo, após ser identificada essa anomalia, foi dado continuidade ao procedimento, porém o estudo passou a ser feito no moedor. Ao final da aplicação foi possível perceber que esse problema não chegou a afetar os objetivos buscados.

A forma que a planilha OEE é usada na empresa é questionável devido às incertezas das informações que ela contém. Três aspectos devem ser respeitados para se utilizar essa planilha como base de dados para a metodologia: é importante que o seu formato seja adequado; que os dados sejam inseridos corretamente, ou seja, deve haver acurácia na inserção dos dados; e, que os funcionários responsáveis pelo seu preenchimento saibam da importância que isso tem para a empresa.

Com a observação desses três aspectos na utilização da planilha OEE pela empresa a metodologia poderá se tornar mais confiável. A aplicação da metodologia demonstrou que todas as etapas foram concluídas de forma objetiva, ou seja, foram alcançadas todas as saídas almeçadas para as etapas da metodologia proposta. Apenas na última etapa não foi possível



evidenciar essa constatação, pois ela não foi aplicada por completo pelo motivo já explicado no item anterior.

Avaliando o critério de **usabilidade** pode-se dizer que a metodologia proposta é de fácil uso, pois os procedimentos para aplicação de cada uma das etapas são de simples entendimento e aplicação. Qualquer pessoa que ficar responsável pelas análises dos problemas de manutenção e quiser utilizar essa metodologia não precisará de um treinamento específico para entendê-la, bastando apenas seguir os procedimentos descritos nela. Essa constatação ficou evidenciada ao aplicar a metodologia, pois não se notou problemas gerados pela falta de entendimento dos procedimentos de cada uma das etapas.

Ao analisar o terceiro critério, a **utilidade**, foi percebido que a metodologia proposta atingiu os objetivos para qual foi desenvolvida, enfocando a resolução de problemas relevantes para a empresa. Cada etapa aplicada conseguiu chegar às metas almejadas, ou seja, cada etapa forneceu os dados de saída necessários para alimentar a próxima etapa, e por fim a metodologia atingiu os objetivos buscados.

A metodologia foi desenvolvida no intuito de se obter procedimentos adequados para estudar os problemas de manutenção mais graves da empresa, ou seja, que mais afetam a produção, a fim de gerar soluções que exterminem as causas raízes desses problemas. Ao final da aplicação foi possível perceber que a metodologia cumpriu seu papel, pois algumas ações foram recomendadas com a finalidade de resolver o problema que foi estudado. Porém, não foi possível fazer uma avaliação dessas ações recomendadas, pois a empresa até o momento não as executou.

#### 4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse capítulo descreveu algumas características gerais da empresa, tanto do grupo, como da unidade onde o estudo foi feito. Também, discorreu sobre a organização da manutenção dentro da empresa.

Dentro do capítulo foram aplicadas as três etapas da metodologia proposta no capítulo anterior. Primeiro, foi identificado o setor e, dentro dele, o equipamento com os piores índices de manutenção. Em seguida, foram priorizados os problemas que mais afetam o índice desse equipamento. Por fim, foram aplicadas as ferramentas de análise que resultaram nas recomendações para resolução do problema.

Ao final da aplicação, foi discutida a aplicabilidade da metodologia proposta segundo três critérios: factibilidade, usabilidade e utilidade. Constatou-se que a metodologia é aplicável para a empresa.

## 5. CONCLUSÕES

Para a execução deste trabalho foi necessária a criação de uma metodologia nova para a empresa, se valendo de ferramentas encontradas no referencial teórico, pois não foi encontrada nenhuma outra metodologia que fosse adequada às particularidades da área de manutenção da fábrica estudada. Os problemas que ocorrem na área de manutenção são suficientemente relevantes para justificar o estudo, pois repercutem em toda a empresa e contribuem com a diminuição da produtividade da indústria e da satisfação das pessoas que nela trabalham.

As conclusões aqui delineadas apresentam uma breve menção ao percurso da pesquisa e a seus resultados. Portanto, esse capítulo tem a finalidade de verificar se houve atendimento aos objetivos traçados no capítulo 1, de destacar os principais resultados e contribuições do trabalho e, por fim, de propor soluções para futuros trabalhos tomando como base o presente estudo.

### 5.1 ATENDIMENTO AOS OBJETIVOS, PRINCIPAIS RESULTADOS E CONTRIBUIÇÕES

Ao analisar os principais resultados da pesquisa é possível dizer que os objetivos traçados no capítulo 1 deste trabalho foram totalmente alcançados, uma vez que:

- Foi desenvolvida uma metodologia de análise e solução de problemas de manutenção para a empresa de alimentos estudada, utilizando ferramentas encontradas na literatura e algumas das informações dispostas pela empresa;
- O desenvolvimento da metodologia se baseou na bibliografia levantada no capítulo 2 e nas práticas da empresa;
- A metodologia proposta foi validada em campo e sua aplicabilidade foi comprovada.

Ao verificar os resultados da pesquisa é possível dizer que todos os objetivos específicos foram atendidos. Consequentemente, é razoável dizer que o objetivo geral também foi alcançado, uma vez que esses objetivos específicos nada mais são que desdobramentos do objetivo geral.

O total atendimento ao objetivo geral evidencia a relevante contribuição dessa pesquisa. É possível dizer que a metodologia de análise de problemas de manutenção desenvolvida e avaliada na prática nesse trabalho é um tema relativamente novo, uma vez que não existem muitos trabalhos (pelo menos em nível de Graduação) que abordam esse assunto. Dessa forma, o presente trabalho pode servir como ponto de partida para outros futuros trabalhos que pretendam estudar assuntos relacionados ao tema aqui tratado.

## 5.2 RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

O presente trabalho tratou de analisar somente os problemas de manutenção que afetam o índice de disponibilidade de equipamentos, tomando por base apenas as informações que tratam das paradas por quebra dos equipamentos produtivos da planilha OEE da empresa. Isso demonstra que é amplo o campo de estudo para futuros trabalhos baseado neste, sendo possível propor as seguintes sugestões:

- Desenvolver uma metodologia de análise e solução de problemas de manutenção que leve em consideração todos os problemas de manutenção que afetam o índice OEE da empresa e não somente o índice de disponibilidade;
- Aperfeiçoar a metodologia desenvolvida, através de uma aplicação em maior escala, incluindo outros setores da empresa, a fim de eliminar os seus principais pontos fracos e integrar novos procedimentos que a deixe mais eficaz;
- Aplicar a metodologia desenvolvida em outros ramos industriais ou em indústrias de menor porte, a fim de investigar a sua aplicabilidade de um modo mais abrangente e comparar os resultados obtidos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Robson de P.; FALSARELLA, Orandi M. Modelo Conceitual de inteligência organizacional aplicada à função manutenção. *Gestão e Produção*, v. 16, n. 2, p. 313-324, 2009.

CORRÊA, Henrique L.; CORRÊA, Carlos A. *Administração de Produção e Operações*. São Paulo: Atlas, 2005.

FOGLIATTO, Flávio S.; RIBEIRO, José L. D. *Confiabilidade e Manutenção Industrial*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

NEPOMUCENO, Lauro X. *Técnicas de Manutenção Preditiva*. v. 1. São Paulo: Edgard Blücher, 1989.

RAMOS, Alberto W. *Controle estatístico de processo in* CONTADOR, José C. *Gestão de Operações*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

SANTOS, Ana C. O.; SANTOS, Marcos J. Utilização do indicador de eficácia global de equipamentos (OEE) na gestão de melhoria contínua do sistema de manufatura – um estudo de caso. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 27, 2007, Foz do Iguaçu - PR. **Anais...** Foz do Iguaçu: ABEPRO, 2007. CD-ROM.

SANTOS, Luciano Costa; GOHR, Cláudia Fabiana. **Orientações gerais para a elaboração de trabalhos de conclusão de curso**. Apostila – (Curso de Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2010.

SANTOS, Luciano Costa. **Um modelo para a formulação da estratégia de operações de serviços**. 2006. 319f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SLACK, Nigel. *et al. Administração da Produção*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

VAZ, José C. *Gestão da manutenção in* CONTADOR, José C. *Gestão de Operações*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

VIANA, Herbert R. C. *Planejamento e Controle da Manutenção*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.