

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE**  
**PRODUÇÃO**

Rafael Nunes da Rosa

**APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM**  
**CONFIABILIDADE EM UM PROCESSO DA**  
**INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA**

Porto Alegre  
2016

Rafael Nunes da Rosa

**Aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade em um Processo da Indústria  
Automobilística**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, modalidade Profissional, na área de concentração em Sistemas de Produção (ou de Qualidade ou de Transportes).

Orientador: Prof. Michel Anzanello, PhD.

Porto Alegre

2016

Rafael Nunes da Rosa

**Aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade em um Processo da Indústria  
Automobilística**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção na modalidade Acadêmica (ou Profissional) e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

---

**Prof. Michel Anzanello, *Ph.D.***

Orientador PMPEP/UFRGS

---

**Prof. Ricardo Augusto Cassel, Dr.**

Coordenador PMPEP/UFRGS

**Banca Examinadora:**

Professor Gilberto dos Santos Tavares, Dr. (ADM/UFRGS)

Professora Liane Werner, Dra. (PMPEP/UFRGS)

Professor Ricardo Augusto Cassel, Dr. (PMPEP/UFRGS)

## Dedicatória

“Dedico este trabalho a minha querida esposa que todos os dias me faz acreditar que sou a pessoa mais inteligente do mundo, é isto que me dá forças, e me faz seguir em frente.”

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois ele me deu a oportunidade de realizar este sonho.

À minha esposa, Elisandra Paim, cujo apoio foi decisivo para a conclusão deste trabalho.

Aos meus pais que sempre tiveram orgulho de minhas realizações.

Ao meu orientador, Prof. Michel Anzanello, que apostou em minha capacidade, e esteve sempre à disposição para me direcionar. Ele é uma fonte de inspiração!

Aos meus colegas de aula, pois o compartilhamento de informações e experiências de diferentes ramos e atividades me agregou uma bagagem incalculável de conhecimentos.

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela oportunidade de realizar o Mestrado em uma das melhores Universidades do País.

Agradeço aos meus líderes e colegas de trabalho que me auxiliaram no desenvolvimento desta dissertação e que me prestaram todo o suporte possível, com muito profissionalismo e amizade.

Enfim, agradeço a todos que colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho, até mesmo a minha fiel escudeira Cindy, (Mix de Poodle com Cocker) para não dizer uma vira-latas.

## RESUMO

A utilização de ferramentas estruturadas na gestão da manutenção proporciona eficácia, segurança e qualidade nos processos produtivos, tornando os equipamentos mais disponíveis a um menor custo de manutenibilidade, aumentando a produtividade e, conseqüentemente, tornando as organizações mais competitivas. Nesta ótica, a MCC (Manutenção Centrada em Confiabilidade) tem sido amplamente utilizada no cenário automobilístico, setor este reconhecido por sua competitividade. Esta dissertação descreve a implementação da MCC em uma indústria do setor automobilístico, evidenciando as razões de aplicação da ferramenta no processo em questão, bem como ganhos em segurança, qualidade, produtividade, redução de custos e confiabilidade dos equipamentos. Para tanto, os passos metodológicos estão estruturados na seguinte ordem: (i) Seleção e capacitação de uma equipe multidisciplinar, (ii) Seleção do sistema/processo e coleta de informações, (iii) Análise de confiabilidade dos equipamentos críticos, (iv) Análise das funções e falhas funcionais, (v) Aplicação da FMEA (Análise de modos e efeitos de falha) e (vi) Determinação dos novos planos de manutenção. A implantação da MCC permitiu visualizar e aplicar melhorias em dois equipamentos responsáveis por 23% das falhas do processo registradas no período Pré-MCC. Os resultados deste estudo proporcionaram uma maior confiabilidade nos equipamentos através das ações direcionadas pelas análises estruturadas da FMEA, além de evidenciar uma evolução nos indicadores de desempenho dos equipamentos estudados. A aplicação da MCC levou ainda a uma significativa redução nos custos decorrentes de linha parada no valor estimado de US\$ 428.102,94, referente ao período Pós-MCC (março a agosto de 2015).

Palavras-chave: Manutenção; FMEA; Confiabilidade; Automobilística.

## ABSTRACT

The use of advanced tools for maintenance management increases processes efficacy, safety and quality, and increasing productivity and competitiveness. In that sense, the Reliability Centered Maintenance (RCM) has been widely used in the automotive scenario, which is recognized for its competitiveness. This thesis describes the implementation of the MCC in an automotive industry, highlighting the application of such tool in terms of safety, quality, productivity increasing, and cost reduction. The methodological steps rely on the following steps: (i) Selection and training of a multidisciplinary team, (ii) selection of the system / process and information gathering, (iii) Reliability analysis of critical equipments, (iv) Analysis the functions and malfunctions, (v) Application of FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) and (vi) Determination of the new maintenance plans. The RCM implementation improved the performance of two equipments responsible for 23% of process failures recorded in the pre-MCC period. The results of this study also increased the equipment reliability through the actions directed by the FMEA, and depicted an evolution in the performance indicators of the studied equipment. The RCM application also led to a significant reduction in costs due to down machinery (US\$ 428,102.94) for the period post-RCM (March-August 2015).

Key words: Maintenance. FMEA; Reliability; Automotive.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução dos tipos de Manutenção.....	23
Figura 2 – Indicadores de desempenho de manutenção .....	29
Figura 3 – Classificação de falhas .....	31
Figura 4 – Taxas de falhas por curva de desgaste .....	33
Figura 5 – Exemplo hipotético de histograma e papel de probabilidade.....	42
Figura 6 – Etapas para implementação da MCC .....	55
Figura 7 – Árvore Lógica de Decisão.....	60
Figura 8 – Diagrama de decisão para seleção das tarefas de manutenção .....	61
Figura 9 – Fluxo do Processo da montagem de veículos .....	66
Figura 10 – Layout de distribuição estratégica dos técnicos de atendimento de linha.....	67
Figura 11 – Processo contínuo com ramal de manutenção .....	69
Figura 12 – Processo de produção contínuo sem ramal de manutenção .....	69
Figura 13 – Gráfico de ranqueamento dos equipamentos com maior número de falha que integram o Sistema Transportador de Unidades .....	73
Figura 14 – Papel de probabilidade Pré-MCC – Equipamentos: “A” e “B” .....	74
Figura 15 – Papel de probabilidade Pós-MCC – Equipamentos: “A” e “B” .....	85
Figura 16 – Histogramas da função confiabilidade do equipamento A: Pré e Pós - MCC .....	85
Figura 17 – Histogramas da função confiabilidade do equipamento B: Pré e Pós - MCC .....	86
Figura 18 – Taxas de falhas Pré e Pós-MCC.....	86
Figura 19 – Transportador de unidades .....	87



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Modelo de tabela FMEA .....	51
Tabela 2 – Escala do índice de severidade do efeito .....	52
Tabela 3 – Escala do índice de ocorrência de falha.....	52
Tabela 4 – Escala do índice de possibilidade de detecção .....	53
Tabela 5 – Critérios para classificação dos equipamentos .....	58
Tabela 6 – Formulário de decisões do Plano de MP .....	63
Tabela 7 – Planilha para classificação e priorização de equipamentos .....	72
Tabela 8 – Descrição das funções e falhas funcionais.....	75
Tabela 9 – Planilha FMEA do Transportador de Unidades.....	78
Tabela 10– Planilha FMEA com Plano de Manutenção proposto.....	81
Tabela 11– Resumo dos parâmetros Pré e Pós-MCC – Equipamentos “A” e “B” .....	84
Tabela 12 – Perdas registradas no período Pré-MCC .....	87
Tabela 13 – Perdas registradas no período Pós-MCC .....	88
Tabela 14 – Custos de manutenção dos novos planos de trabalho Pós-MCC.....	88

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Evolução da manutenção .....	25
Quadro 2 - Síntese dos tipos de manutenção .....	27
Quadro 3 - Comparação das sistemáticas para a implantação da Manutenção Centrada em Confiabilidade.....	46

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- ABRAMAN** – Associação Brasileira de Manutenção
- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ANFAVEA** – Associação nacional dos fabricantes de veículos automotores
- CIAG** – Complexo Industrial Automotivo de Gravataí
- CLP** – Controlador Lógico Programável
- FAA** – *Federal Aviation Authority*
- FMEA** – Análise de modos e efeitos de falha
- GM** – *General Motors*
- IBM** - *International Business Machines*
- JIT** - *Just in Time*
- MCC** – Manutenção Centrada em Confiabilidade
- MSG-1** – *Maintenance Steering Group*
- MS** - *Microsoft*
- MTBF** – *Mean Time Between Failures*
- MTTF** – *Mean Time To Failure*
- NASA** – *NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION*
- NS** – Nível de Segurança
- PCM** – Planejamento e Controle da Manutenção
- RCM** – *Reliability Centered Maintenance*
- RPN** – *Risk Priority Number*
- RS** - *Rockwell Simulator*
- TPM** – Manutenção Produtiva Total
- WFG** – *Worldwide Facilities Group*

## LISTA SÍMBOLOS

$\lambda(t)$  - função taxa de falhas

$\beta$  - Parâmetro de forma

$\theta$  - Parâmetro de escala

$\gamma$  - Parâmetro de localização

$\lambda$  - Taxa de falhas

$f(t)$  - Densidade de falhas

$F(t)$  - Probabilidade acumulada de falhas

$h(t)$  - Função de risco

$H0$  - Hipótese nula

$H1$  - Hipótese alternativa

$R(t)$  - Função de confiabilidade

$t$  - Variável tempo T Conjunto de parâmetro de tempo

$t0$  - Tempo inicial isento de falhas

$t1$  - Unidade de tempo 1

$t2$  - Unidade de tempo 2

$X(t)$  - Variável de estado

$X2$  - Qui-Quadrado

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	15
1.2 JUSTIFICATIVA DO TEMA.....	16
1.3 OBJETIVOS.....	17
1.4 MÉTODOS DE PESQUISA .....	17
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	18
1.6 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO .....	19
<b>2. MANUTENÇÃO NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA COM FOCO NA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE .....</b>	<b>20</b>
2.1 MANUTENÇÃO .....	20
2.1.1 CONCEITO DE MANUTENÇÃO .....	20
2.1.2 HISTÓRICO E EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO .....	22
2.1.3 TIPOS DE MANUTENÇÃO .....	26
2.1.4 INDICADORES DE DESEMPENHO DA MANUTENÇÃO.....	28
2.1.5 MANUTENÇÃO NA INDÚSTRIA AUTMOBILÍSTICA.....	29
2.2 FALHAS .....	30
2.3 CONFIABILIDADE .....	34
2.3.1 CONCEITO DE CONFIABILIDADE .....	34
2.3.2 MEDIDAS DE CONFIABILIDADE .....	35
2.3.3 DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE EM CONFIABILIDADE .....	38
2.4 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE - MCC.....	43
2.4.1 AS SETE QUESTÕES BÁSICAS DA MCC E PASSOS PARA IMPLANTAÇÃO DA MCC .....	44
2.4.2 APLICAÇÕES DA MCC .....	47
2.5 ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHAS - FMEA .....	48
2.5.1 ELEMENTOS DA FMEA E SUA OPERACIONALIZAÇÃO .....	49
<b>3. IMPLEMENTAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE EM UM PROCESSO DA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA.....</b>	<b>55</b>
3.1 ESCOLHA E CAPACITAÇÃO DA EQUIPE.....	56
3.2 SELEÇÃO DO SISTEMA E COLETA DE INFORMAÇÕES.....	56

3.3 ANÁLISE DAS FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS .....	59
3.4 ANÁLISE DOS MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS .....	59
3.5 SELEÇÃO DAS TAREFAS DE MANUTENÇÃO E ELABORAÇÃO DO PLANO DE MANUTENÇÃO .....	60
<b>4. IMPLEMENTAÇÃO DA MCC .....</b>	<b>64</b>
4.1 EMPRESA E PROCESSO SOB ANÁLISE.....	64
4.2 MANUTENÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DA MONTAGEM GERAL.....	68
4.3 ESCOLHA E CAPACITAÇÃO DA EQUIPE.....	70
4.4 SELEÇÃO DO SISTEMA E COLETA DE INFORMAÇÕES.....	70
4.4.1 ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DOS EQUIPAMENTOS.....	71
4.5 ANÁLISE DAS FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS .....	74
4.6 ANÁLISE DOS MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS .....	76
4.7 SELEÇÃO DAS TAREFAS DE MANUTENÇÃO E ELABORAÇÃO DO PLANO DE MANUTENÇÃO .....	80
4.8 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS .....	84
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>90</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>92</b>
APÊNDICE A – Gabarito para execução do plano de manutenção preventiva elétrica .....	99
APÊNDICE B – Gabarito de posicionamento do sensor de leitura do código de barras .....	99
APÊNDICE C – Dispositivo para execução do plano de manutenção preventiva mecânica... 99	99
ANEXO A – Plano de manutenção preventiva elétrica APÓS a MCC.....	100
ANEXO B – Plano de manutenção preventiva <i>on-line</i> inserido APÓS a MCC .....	101
ANEXO C – Plano de manutenção preventiva mecânica APÓS a MCC .....	102

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O Brasil é o sexto maior fabricante de veículos do mundo, ficando atrás de Índia, Alemanha, Japão, Estados Unidos e China. Tal segmento representa cerca de 5% do PIB nacional e 23% do industrial, de acordo com a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2016). Dada a importância do segmento, torna-se fundamental a busca pela excelência nos processos e a garantia da qualidade nos produtos, de modo a manter a organização competitiva em um mercado cada vez mais demandante de inovação de produtos, respeito ao meio ambiente, redução dos custos de produção, eficiência, agilidade, qualidade e confiabilidade nos processos produtivos. Johansson et al. (2013) reforçam que a indústria automobilística está inserida em um mercado mundial instável e enfatizam a necessidade de estabelecer um negócio eficaz, com visão em redução de custos e maximização da qualidade.

A indústria nacional tem no setor automotivo uma das suas principais referências em razão de sua característica estratégica, repercussão econômica e desenvolvimento tecnológico. Este segmento apresenta uma particularidade de multiplicação e dinamismo, com potencial para expansão e desenvolvimento de modelos de produção em série, bens de consumo e emprego, oportunizando desta maneira o desenvolvimento e qualificação do setor industrial ao país.

A percepção, no entanto, é de que o mercado automotivo está atravessando um período complexo de transição, com grandes desafios nos aspectos econômicos, político e social. Acrescenta-se a isso o fato do consumidor estar cada vez mais exigente em relação à variedade de equipamentos de conforto, segurança e tecnologia, mesmo nos veículos com menor valor agregado. Em um país que vinha crescendo muito sua produção de automóveis desde 2006, o que atualmente se percebe é uma queda substancial de aquisição de veículos e muitos desafios a vencer (KARDEC; NASCIF, 2012).

Dentro deste contexto, as empresas automotivas se vêm forçadas a aperfeiçoar o desempenho de seus equipamentos e sistemas produtivos. De acordo com Xenos (2004), parte deste aperfeiçoamento está associada aos equipamentos de produção, para os quais têm sido estabelecidas metas cada vez mais desafiadoras em termos de qualidade dos produtos, custos e volumes de produção. Tal situação demanda a aplicação de metodologias que promovam

aos equipamentos níveis elevados de confiabilidade, proporcionando assim um aumento na disponibilidade dos mesmos (GUIMARÃES; NOGUEIRA; SILVA, 2012).

Takahashi e Osada (1993) defendem o gerenciamento orientado para o equipamento, compreendido em todos os níveis de gestão, destacando que a confiabilidade, a segurança, a manutenção e as características operacionais do processo de fabricação são aspectos imprescindíveis para alcançar qualidade, quantidade e custo coerentes com as exigências provocadas pelas mudanças da sociedade contemporânea.

De acordo com Kardec e Nascif (2012), visando alavancar a competitividade da empresa através de um eficaz programa de gestão da manutenção, buscam-se melhores práticas que se têm mostrado superiores em resultados selecionados por um processo sistemático e julgados exemplares. Orientam ainda que as ferramentas a serem aplicadas dependam do estágio atual em que a manutenção se encontra, e recomendam a adoção de técnicas tradicionais para resolução eficaz de problemas, as quais incluem a FMEA e a MCC. A FMEA permite identificar e priorizar falhas potenciais em equipamentos, sistemas ou processos, tendo como objetivo antecipar os modos de falhas conhecidos ou potenciais e recomendar ações corretivas para eliminar ou compensar os efeitos das falhas (LAFRAIA, 2001). A MCC, por sua vez, é uma metodologia que estuda um equipamento ou um sistema em detalhe, analisando como o mesmo pode falhar e definindo a melhor estratégia de manutenção com vistas a evitar a falha ou reduzir as perdas decorrentes das falhas (KARDEC e NASCIF, 2012). A utilização conjunta de tais ferramentas permite entender o sistema em termos de seus mecanismos e causas de falha, bem como estabelecer um plano de melhorias bem estruturado com vistas ao aumento da confiabilidade do sistema.

## 1.2 JUSTIFICATIVA DO TEMA

Esta dissertação tem como tema a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), cuja aplicação tem encontrado crescente justificativa em processos automobilísticos, os quais são impactados pelo aumento da concorrência, exigências de mercado, renovações de portfólio, flexibilidade de manufatura e estrutura viária deteriorada, dentre outros. No processo automobilístico em análise, onde se produz um automóvel a cada 57 segundos, a confiabilidade dos processos e dos equipamentos nele inseridos se torna fator fundamental para obtenção de níveis competitivos de produtividade. Desta forma, é necessário contar com



sistemas e ferramentas estruturados que enderecem anomalias de forma eficiente com vistas à elevação da confiabilidade dos equipamentos.

O gerenciamento dos equipamentos de manutenção na General Motors de Gravataí é desenvolvido através de análises de relatórios gerenciais, os quais são derivados de dados lançados diariamente em um software de gerenciamento de manutenção. Com base nas informações processadas e extraídas do sistema, são tomadas decisões e gerados planos de ações em conformidade com cada equipamento. No entanto, não há uma abordagem estruturada de identificação e endereçamento dos problemas advindos de falhas da manutenção, o que gera ações pouco eficientes. Neste contexto, a adoção da MCC justifica-se por permitir a identificação de características críticas e significativas dos equipamentos, o direcionamento dos planos de controle, o estabelecimento de prioridades de ações de contenção, o oferecimento de um plano de ação robusto que elimine ou reduza a frequência de incidência de falhas, documente as modificações e padronize as intervenções de manutenção.

No aspecto acadêmico, o tema proposto nesta dissertação é justificado pela aplicação de uma ferramenta consagrada em diversos ramos industriais, e neste estudo o mesmo será aplicado em um sistema transportador de automóveis, o qual é caracterizado por elevados níveis de complexidade.

### 1.3 OBJETIVOS

O objetivo deste estudo reside na aplicação dos preceitos da MCC em equipamentos de um sistema transportador de automóveis com vistas ao aprimoramento da confiabilidade do processo. Dentre os objetivos específicos, destaca-se o levantamento bibliográfico da fundamentação teórica e aplicações práticas da MCC, a identificação das causas e consequências dos principais modos de falha através da aplicação da FMEA e a geração de um plano de melhorias com base nos modos de falha apontados como preponderantes pela FMEA.

### 1.4 MÉTODOS DE PESQUISA

Este trabalho utiliza uma pesquisa que tem como objetivo a produção de conhecimentos para a aplicação prática, abrangendo fatos e interesses locais. Quanto a sua natureza, o presente trabalho pode ser classificado como pesquisa aplicada, onde se busca

gerar conhecimentos para a solução de problemas específicos (SILVA; MENEZES, 2005; VERGARA, 1998). Para Gil (2010), a pesquisa-ação é a metodologia utilizada para desenvolver grupos, organizações e comunidades, com o propósito de proporcionar a aquisição de conhecimentos claros, precisos e objetivos, visando alcançar resultados práticos. Neste sentido, o presente trabalho busca estudar o comportamento de um processo, com o intuito de gerar ações para melhorar os resultados da organização.

Esta pesquisa tem uma abordagem de caráter quantitativo, a qual traduz em números as opiniões e informações para classificá-las e organizá-las. Para Sampieri et al. (2006) e Marconi e Lakatos (2010), a pesquisa de enfoque quantitativo utiliza medições numéricas, coleta e análise de dados, para estabelecer com maior exatidão o comportamento de uma população. No caso deste estudo, são quantificados tempos entre falhas, frequência de falhas e tempos de reparo.

A técnica de pesquisa e o levantamento dos dados utilizados para elaboração desta dissertação foi pesquisa documental. A pesquisa documental caracteriza-se como uma fonte de coleta de dados restrita a documentos, escritos ou não (Marconi e Lakatos, 2010).

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos, apresentados como segue:

O Capítulo 1 é voltado à introdução ao trabalho, tema de pesquisa, objetivos da pesquisa, método de pesquisa, estrutura e delimitações do trabalho.

No Capítulo 2 desenvolve-se a fundamentação teórica, abordando bibliografias que tratam do tema em questão. São apresentados conceitos básicos de manutenção de equipamentos e sua história, métodos com maior aplicabilidade na indústria automobilística, indicadores mais difundidos na área, conceito de Falhas e Confiabilidade e, por último, uma abordagem a respeito da Manutenção Centrada em Confiabilidade e FMEA.

O Capítulo 3 apresenta a proposta e as diretrizes para a aplicação da metodologia MCC em dois equipamentos instalados no processo de montagem de veículos na planta da General Motors de Gravataí.

No Capítulo 4 realiza-se a aplicação da metodologia proposta no capítulo 3.

No Capítulo 5, relatam-se as considerações finais do estudo aplicado no capítulo 4.

## 1.6 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

Para o desenvolvimento deste trabalho, optou-se por analisar dados referentes a dois equipamentos com reduzida confiabilidade. A aplicação da MCC em um número maior de componentes, embora desejada, não foi realizada.

Este trabalho limitou-se a análise de dados históricos disponíveis, não direcionando atenção à causa raiz de cada falha do banco de dados.

O estudo limita-se a estudar o comportamento de falhas do sistema transportador de unidades com velocidade de trabalho de 57 unidades por hora. Assim, não contemplará falhas em sistemas operando a uma velocidade diferente da atual e a outros sistemas e equipamentos, ficando estes abertos a novos trabalhos.

## **2. MANUTENÇÃO NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA COM FOCO NA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE**

Este capítulo apresenta a revisão bibliográfica dos temas abordados nesta dissertação, passando pelos conceitos básicos de manutenção de equipamentos, manutenção com foco na indústria automobilística, conceitos de confiabilidade, manutenção centrada na confiabilidade e Análise de Modos e Efeitos de Falha (sendo estes dois últimos os pilares de cunho quantitativo desta dissertação).

### **2.1 MANUTENÇÃO**

Nesta seção são apresentados os conceitos de manutenção, histórico e evolução, também são abordadas definições associadas aos tipos de manutenção, indicadores de desempenho que estão relacionados à manutenção de equipamentos e a relevância da manutenção de equipamentos na indústria automotiva.

#### **2.1.1 CONCEITO DE MANUTENÇÃO**

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (1994), a manutenção é definida como “combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”. Kardec e Nascif (2012) complementam, afirmando que a missão da manutenção é garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de forma a atender a um processo de produção ou de serviço com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custo adequado.

De maneira básica, as atividades de manutenção existem para evitar a degradação dos equipamentos, sistemas e instalações, a qual é causada pelo seu desgaste natural e pelo uso; em um sentido restrito, estão limitadas ao retorno de um equipamento às suas condições originais (XENOS, 2004). No que se refere ao aspecto de custos, Stevenson (2001) afirma que o objetivo principal da manutenção é conservar o sistema de produção em boas condições de operação e incorrendo no menor custo possível. De tal forma, torna-se importante verificar o

custo de tal manutenção, o que implica em um estudo cuidadoso do método a ser utilizado, visando evitar que o custo de manutenção supere as vantagens que a mesma pode oferecer.

Já Ohno (1997) entende que:

“Toda e qualquer fábrica ou instalação industrial, ou ainda toda e qualquer atividade que pretenda fabricar alguma coisa, precisa de vários meios que permitam a produção, tais meios podem ser simples ferramentas, assim como conjuntos e máquinas de alta complexidade, abrangendo máquinas automatizadas, equipamentos simples. Entretanto, em todos os casos aparece o problema de fadiga, desgaste, quebras, rompimento, corrosão, trincas, fissuras e muitos outros problemas que acontecem durante a produção ou o ciclo de vida do equipamento. Assim, as máquinas e equipamentos precisam de tempos em tempos determinados no cronograma de manutenção ser reparados, ou seja, ser executada a manutenção destes equipamentos, para que a produção não seja interrompida pela falta de funcionalidade dos mesmos.”

Na maioria das instalações industriais existe um departamento de manutenção. Tal atividade é tipicamente tolerada como um mal necessário, já que as máquinas vão quebrar e então, alguém deverá consertá-las. Normalmente, o pessoal de manutenção é considerado somente para consertar o que se quebra, entretanto, estudos mostram que os custos de manutenção, quando existente em uma organização que controla estes indicadores, reduzem substancialmente quando comparados com os lucros que possibilitam, por conservar a capacidade produtiva (STEVENSON, 2001).

A organização na manutenção deve ser baseada primordialmente em uma metodologia bem elaborada, objetiva e que leve em consideração todos os elementos da instalação, até os mínimos detalhes da organização e do método que é empregado, visando à obtenção de lucro. Para isso é importante não somente reduzir os custos, mas, o que é mais importante, realizá-los da maneira mais eficiente (OHNO, 1997). Stevenson (2001) complementa, afirmando que:

“De forma ideal, a manutenção deve ser realizada imediatamente antes de uma quebra ou falha, porque isso resultaria na utilização mais extensa possível, sem falhas, das instalações ou dos equipamentos. Como todo o equipamento apresenta desgaste, tal desgaste leva, invariavelmente ao rompimento ou quebra de um ou mais componentes, quando isto acontece aparece a necessidade de realizar um conserto. Em pouco tempo com uma manutenção bem planejada e organizada através da aplicação de métodos e processos usuais de organização sabe-se quais os componentes que se rompem, qual a duração de cada componente, a vida útil de cada equipamento e qual a frequência de manutenções que devem ser executadas cada manutenção, assim poderá ser elaborado um eficiente cronograma de manutenção.”

Fogliatto e Ribeiro (2009) apontam que o objetivo principal da manutenção é prevenir falhas e restaurar ou recolocar em funcionamento os sistemas e equipamentos quando os mesmos estiverem inoperantes, no caso de ocorrência de uma falha. Resumidamente, objetiva-se manter e melhorar a confiabilidade e regularidade dos sistemas ou equipamentos que fazem parte do processo produtivo.

### 2.1.2 HISTÓRICO E EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO

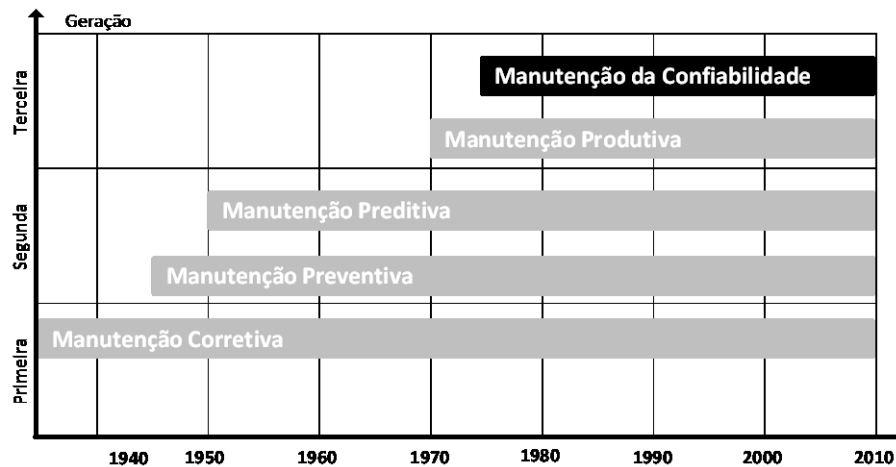
O termo “manutenção”, na literatura especializada, tem origem no vocabulário militar, cujo sentido é Manu + Tener, ou seja, ter à mão, nas unidades de combate, o efetivo e o material em um nível constante, que na filosofia contemporânea quer dizer garantir a disponibilidade (KARDEC; NASCIF, 2012).

Nos primórdios do processo de manufatura, a manutenção não era considerada um item de importância, sendo na maioria das vezes realizada pelo próprio operador do processo (e sua interferência na produtividade não era mensurada). Com a criação de fábricas e a divisão das tarefas no processo produtivo, a manutenção industrial passou a ser considerada um item de relevante importância no procedimento, tornando-se um diferencial em relação à concorrência.

De acordo com Muassab (2002), a manutenção é praticada desde os primórdios da civilização. A conservação de instrumentos e ferramentas é uma prática observada historicamente; os Vikings, já no início do século X, dependiam fortemente do estado de suas esquadras para o sucesso de suas investidas, sendo que os reparos dos navios eram realizados em espécies de diques construídos em suas aldeias na Escandinávia. Para isto, as embarcações ficavam secando e, com uso de ferramentas desenvolvidas especialmente para este fim, os navios eram reparados; estes são os primeiros indícios da manutenção organizada de que se têm registro.

Segundo Fernández e Márquez (2012), a manutenção vem registrando uma evolução lenta, mas constante ao longo dos anos, partindo do conceito de “mal necessário” até ser considerada uma função integral da empresa e uma forma de vantagem competitiva. Conforme Siqueira (2005), a história da manutenção pode ser dividida em três fases distintas: Mecanização, Industrialização e Automatização. A Figura 1 ilustra a evolução temporal destas fases, após a Segunda Guerra Mundial.

Figura 1 – Evolução dos tipos de Manutenção



Fonte: Siqueira (2005)

As atividades de manutenção apresentam um processo de evolução que pode ser caracterizado por estágios definidos em diferentes gerações e momentos. As alterações neste processo são consequência, principalmente, da importância da manutenção como função estratégica para melhorar os resultados do negócio e aumentar a competitividade das organizações (KARDEC; NASCIF, 2012). Segundo os mesmos autores, pode-se dividir, a partir de 1930, a evolução da manutenção em cinco gerações.

a) *Primeira Geração – 1940-1950*: Indústria pouco mecanizada, equipamentos simples e superdimensionados. A produtividade não era um fator relevante, conseqüentemente não necessitava de uma manutenção sistematizada, apenas serviços de limpeza e lubrificação eram sistematizados e os reparos sempre ocorriam após a quebra, ou seja, a manutenção era, fundamentalmente, corretiva não planejada. A visão em relação às falhas dos equipamentos era a de que todos os equipamentos se desgastavam com o passar dos anos, vindo a sofrerem falhas ou quebras. A competência que se buscava era basicamente a habilidade do executante em realizar o reparo necessário. Siqueira (2005) complementa, afirmando que a atividade de manutenção, na forma planejada, praticamente inexistia, limitando-se a tarefas preventivas de serviço, tais como limpeza e lubrificação de equipamentos, e tarefas corretivas para reparação de falhas.

b) *Segunda Geração – 1960-1970*: Forte aumento da mecanização devido à redução do contingente de mão de obra industrial e à ascendente demanda por todo o tipo de produtos. Neste período começa a evidenciar-se a necessidade de maior disponibilidade dos equipamentos. A indústria era bastante dependente do bom funcionamento das máquinas,

levando à ideia de que falhas dos equipamentos poderiam e deveriam ser evitadas, o que resultou no conceito de manutenção preventiva (intervenções nos equipamentos feitas a intervalos fixos). O custo da manutenção também começou a se elevar em comparação com outros custos operacionais. Neste contexto, Siqueira (2005) afirma que houve um esforço científico de pesquisa e desenvolvimento de técnicas de manutenção preventivas, orientadas para a minimização dos impactos de falhas nos processos e meios de produção.

c) *Terceira Geração – 1980-1990*: O crescimento da automação e da mecanização passou a indicar que confiabilidade e disponibilidade se tornaram pontos-chave do negócio. Neste período inicia uma grande preocupação com segurança e meio ambiente, fazendo com que exigências ligadas a condições de segurança e meio ambiente fossem se consolidando de tal forma que as plantas que não atendessem aos padrões estabelecidos eram impedidas de funcionar. Nesta fase, além dos requisitos de maior disponibilidade, confiabilidade, e vida útil, a sociedade passou a exigir melhor qualidade e garantia de desempenho dos produtos, bem como preservação do meio ambiente, e segurança para os usuários de produtos e processos industriais (SIQUEIRA, 2005). Na década de 90 inicia a implantação do processo de Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC ou RCM em inglês), apoiado nos estudos de confiabilidade da indústria aeronáutica.

d) *Quarta Geração – 2000-2005*: Algumas expectativas com relação à manutenção existente na terceira geração, como confiabilidade, disponibilidade e preservação ambiental continuam a existir na quarta geração. Porém, nesta geração há um direcionamento para a redução de falhas prematuras dos equipamentos utilizando técnicas de manutenção dirigidas ao aumento da manutenção preditiva e ao monitoramento da condição, com posterior redução nas manutenções preventiva e corretiva não planejada, análise de falhas, técnicas de confiabilidade e projetos voltados à confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade.

e) *Quinta Geração – 2005-2015*: As práticas voltadas à quarta geração são mantidas, mas o enfoque nos resultados empresariais é obtido através do esforço conjunto em todas as áreas coordenadas pela sistemática de gestão dos equipamentos. A expectativa com relação à manutenção é o gerenciamento de ativos, planejando o ciclo de vida desde o projeto a fim de reduzir falhas utilizando técnicas de manutenção focadas no aumento da preditiva e no monitoramento da condição. De tal forma, garante-se máxima eficiência de operação dos equipamentos e excelência na engenharia de manutenção, com participação no projeto, aquisição, instalação, operação e manutenção dos equipamentos. O Quadro 1 apresenta a evolução da manutenção a partir da década de 40, projetada em cinco gerações.



Quadro 1 – Evolução da manutenção

EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO					
Geração	Primeira Geração	Segunda Geração	Terceira Geração	Quarta Geração	Quinta Geração
Ano	1940 - 1950	1960 - 1970	1980 – 1990	2000 - 2005	2010 - 2015
Aumento das expectativas em relação à manutenção.	- Conserto após a falha.	- Disponibilidade crescente - Maior vida útil do equipamento.	- Maior confiabilidade; - Maior disponibilidade; - Melhor relação custo-benefício; - Preservação do meio ambiente.	- Maior confiabilidade; - Maior disponibilidade; - Preservação do meio ambiente; - Segurança; - Gerenciar ativos; - Influir nos resultados do negócio.	- Gerenciar ativos - Otimizar o ciclo de vida dos ativos; - Influir nos resultados do negócio.
Visão quanto à falha do ativo.	- Todos os equipamentos se desgastam com a idade e por isso falham.	- Todos os equipamentos se comportam de acordo com a curva da banheira.	- Existência de outros padrões de falhas.	- Reduzir drasticamente as falhas prematuras.	- Planejamento do ciclo de vida desde o projeto para reduzir falhas.
Mudança nas técnicas de manutenção.	- Habilidades voltadas para o reparo.	- Planejamento manual da manutenção. - Computadores grandes e lentos. - Manutenção preventiva (por tempo).	- Monitoramento da condição; - Manutenção preditiva; - Análise de risco; - Computadores pequenos e rápidos; - Grupos disciplinares; - Projetos voltados para a confiabilidade.	- Aumento da manutenção preditiva; - Redução da manutenção preventiva e corretiva; - Análise de falhas; - Técnicas de confiabilidade; - Projetos voltados para disponibilidade; - Contratação por resultados.	- Aumento da manutenção preditiva e monitoramento da condição <i>on e off-line</i> ; - Participação efetiva no projeto, aquisição, instalação; - Excelência em engenharia de manutenção;

Fonte: Adaptado Kardec e Nascif (2012).

### 2.1.3 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Conforme Nascif e Dorigo (2009), a maneira pela qual é feita a intervenção nos equipamentos, sistemas ou instalações caracteriza os vários métodos de manutenção (sendo que os resultados da manutenção são, em grande parte, dependentes das práticas adotadas). Kardec e Nascif (2012) apontam que as principais atividades ou metodologias de atuação de manutenção são definidas conforme a Norma Brasileira 5462 (NBR 5462) em: (i) Manutenção Corretiva, (ii) Manutenção Preventiva, e (iii) Manutenção Preditiva, as quais são detalhadas na sequência.

**Manutenção Corretiva** – manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane, objetiva recolocar uma unidade em condições de executar uma função requerida. Conforme (STEVENSON, 2001), manutenção corretiva é a atuação para correção de falha ou de razão que acarrete desempenho inferior ao esperado. Segundo Moraes (2010), a manutenção corretiva pode ser dividida em duas fases:

1ª *Manutenção corretiva não planejada* – correção da falha de maneira aleatória, ou seja, é a correção da falha ou desempenho menor que o esperado após a ocorrência do fato. Esse tipo de manutenção implica em altos custos, pois causa perdas de produção e danos aos equipamentos;

2ª *Manutenção corretiva planejada* – é a correção que se faz em função de um acompanhamento preditivo, detectivo ou até mesmo pela decisão gerencial de se operar até ocorrer à falha. Pelo fato de ser planejada, tende a ser mais barata, segura e rápida.

**Manutenção Preventiva** – manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação de uma unidade. Objetiva reduzir falhas ou queda no desempenho, obedecendo a um planejamento baseado em períodos estabelecidos de tempo. De acordo com Xavier (2010), um dos segredos de uma boa preventiva está na determinação dos intervalos de tempo; como se percebe uma tendência conservadora nessas ações, os intervalos normalmente são menores que o necessário, o que pode implicar em paradas e troca de peças desnecessárias.

Na manutenção preventiva, uma questão importante a ser definida é a frequência de manutenção. À medida que se aumenta o intervalo de tempo entre manutenções, o custo da manutenção preventiva tipicamente diminui, enquanto que o risco de quebras e falhas aumenta. Objetiva-se então alcançar um equilíbrio entre o custo de manutenção e o custo de uma máquina parada. A determinação da frequência e da abrangência da manutenção

preventiva, depende da frequência esperada de falhas e do custo de uma falha (incluindo os custos reais de reparos e de perda de produção).

Um bom esforço de manutenção preventiva dependerá da existência de registros completos para cada equipamento, assim como a leitura e a interpretação dos registros. Os registros precisam incluir informações que contemplem dados de instalação, número de horas de operação, datas dos reparos realizados e sua natureza.

**Manutenção Preditiva** – ou manutenção controlada – permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática e técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva. Compreende um conjunto de atividades de acompanhamento das variáveis ou parâmetros que indicam o desempenho dos equipamentos, de modo sistemático, visando a definir a necessidade ou não de intervenção. Segundo Xavier (2010), tal intervenção também é conhecida por manutenção baseada na condição; essa manutenção permite que os equipamentos operem por mais tempo e a intervenção ocorra com base em dados e não em suposições. O Quadro 2 apresenta uma síntese dos tipos de manutenção, conforme definido por Lafraia (2001).

Quadro 2 - Síntese dos tipos de manutenção

TIPO/MÉTODO/ATIVIDADE	AÇÃO	FREQUÊNCIA
CORRETIVA	Retornar o sistema falho para um estado operacional ou disponível.	Determinada pela confiabilidade do equipamento.
PREVENTIVA	Reter o sistema em estado operacional ou disponível através da prevenção de ocorrência de falhas.	Prefixada em função da previsão do comportamento do equipamento.
PREDITIVA	Reter o sistema em estado operacional ou disponível através da predição de ocorrência de falhas.	Variável em função da previsão do comportamento baseado na monitoração do estado do equipamento.

Fonte: Adaptado de Lafraia (2001)

#### 2.1.4 INDICADORES DE DESEMPENHO DA MANUTENÇÃO

Com as mudanças em curso no pensamento estratégico das organizações, o aumento da necessidade de terceirização, da separação dos fabricantes de equipamentos originais e os proprietários de ativos, tornam-se crucial medir, controlar e melhorar o desempenho da manutenção dos equipamentos (KUMAR et al., 2013). Os principais desafios enfrentados pelas organizações hoje são escolher as estratégias mais eficazes para melhorar as capacidades operacionais continuamente, visando reduzir os custos de manutenção e alcançar competitividade da indústria em questão. Portanto, além da formulação de políticas e estratégias para manutenção, é importante avaliar a sua eficácia através de indicadores apropriados (KUMAR et al., 2013).

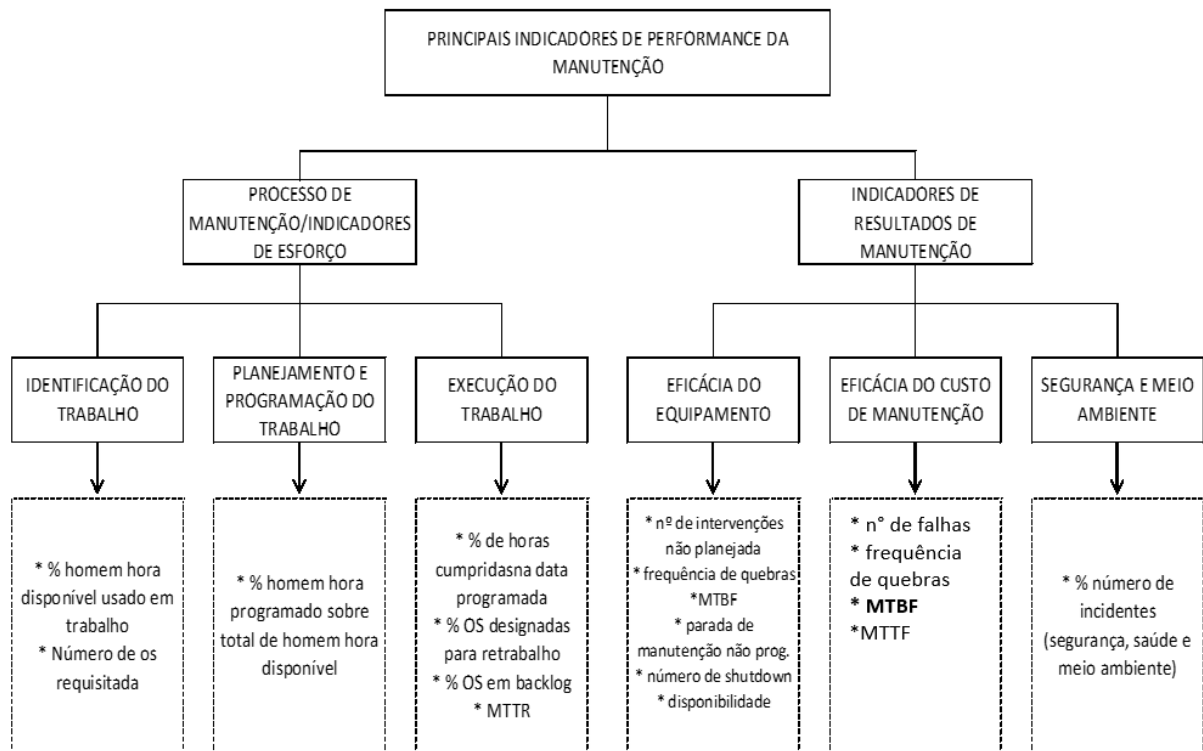
Todo o indicador utilizado necessita medir de forma adequada o aspecto operacional a ser medido: ser aceitável e adequado para a medição, ser fácil de entender, coletar e interpretar, ser comparável e analisado em relação a outros dados, e deve tornar possível, de forma fácil e rápida, aprender como o sistema está funcionando e as razões para o seu comportamento (NASCIF; DORIGO, 2009).

Xavier (2010) coloca que, para a função manutenção, pode-se afirmar que os indicadores de desempenho habilitam o gerenciamento da atividade de modo eficaz e sintonizado com os objetivos estratégicos da empresa. O mesmo autor reforça que é preciso ter cuidado com duas armadilhas que envolvem a questão de definição e acompanhamento de indicadores: os indicadores devem acompanhar a performance da manutenção nos seus processos principais e não aspectos particulares; e é melhor ter poucos indicadores importantes e acompanhá-los bem.

De acordo com Parida (2013), a medição de desempenho de manutenção pode ser definida como o processo de medir e justificar o valor criado por investimentos em manutenção, atendendo aos acionistas da organização nos requisitos de visão estratégica com foco na perspectiva global de negócios.

A medição de desempenho de manutenção permite que as empresas entendam o valor criado por manutenção, de maneira que seja possível reavaliar e rever suas políticas e técnicas de manutenção, para justificar o investimento em novas tendências, técnicas e metodologias, rever a alocação de recursos e compreender os efeitos de manutenção em outras funções e partes interessadas (PARIDA, 2013). A Figura 2 apresenta os indicadores de desempenho de manutenção trazidos por Kumar et al. (2013).

Figura 2 – Indicadores de desempenho de manutenção



Fonte: Adaptado Kumar et al. (2013)

### 2.1.5 MANUTENÇÃO NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA

O sistema de produção da indústria automobilística tem características de produção contínua, ou seja, o fluxo da linha apresenta uma sequência linear para executar as operações e os produtos fluem de um posto de trabalho a outro numa sequência prevista. O elevado grau de automatização, grande precisão e capacidade de produção fazem com que a busca pela eficiência e produtividade sejam pontos chave para o sucesso (GRUPPI, 2006).

Estanqueiro (2008) afirma que a indústria automobilística, por estar inserida em um mercado extremamente competitivo caracterizado pela busca por redução de custos e maior produtividade, acaba por se ver obrigada a buscar novas formas de gerenciar seus negócios, aplicando filosofias de gestão que ajudem a alcançar seus objetivos.

Mediante as colocações da importância de um processo com eficácia e produtividade, Portela et al. (2012) afirmam que existem algumas razões lógicas para se manter a manutenção em dia com relação a equipamentos e máquinas na indústria automobilística, por exemplo, evitar interrupções na produção, evitar aumento dos custos de paradas de produção

oriunda de quebras de equipamentos, manter elevada a qualidade do produto e evitar perdas de prazos de entrega.

Para evitar estes problemas, os equipamentos dos sistemas de produção possuem um esquema de manutenção que compreende vários elementos e aspectos distintos com relações de interdependência, que precisa garantir total disponibilidade dos equipamentos, deixando clara a importância da manutenção nos equipamentos desse sistema (PORTELA et al. 2012). Sendo assim, o setor de manutenção na indústria automotiva exige uma dinâmica de trabalho baseada nas atividades preventivas e corretivas dos equipamentos que possibilitem o correto funcionamento do processo produtivo (PEREIRA, 2013). Esta dinâmica de trabalho resulta em maior qualidade no produto final, redução de desperdícios, redução de custos, aumento na produtividade e maior agilidade no atendimento aos pedidos (CORRÊA, 2012).

Porém, tendo-se em vista as demandas produtivas do mercado automobilístico, percebe-se que as metodologias de manutenção existentes, já não são mais capazes de suportar a demanda crescente deste mercado. É chegado então o momento da aplicação da MCC; tal abordagem (iniciada na indústria aeronáutica e disseminada para a indústria automobilística) ganha espaço e apresenta resultados satisfatórios no que diz respeito à maior confiabilidade e disponibilidade de sistemas e equipamentos (GALVÃO, 2002).

Martins e Laugeni (2000), afirmam que uma instalação bem mantida, com baixas interrupções, acaba por trazer à empresa uma vantagem competitiva sobre seus concorrentes. Sabendo-se que no mercado automobilístico a concorrência é acirrada, a manutenção está intimamente ligada a este aspecto, pois equipamentos confiáveis reduzem as paradas de processo e conseqüentemente custos provenientes de falhas em equipamentos. Kardec e Nascif (2012) corroboram tal opinião, afirmando que o custo total de manutenção em relação ao faturamento de uma indústria gira em torno de um percentual de 2,17%; em algumas empresas, este custo pode duplicar.

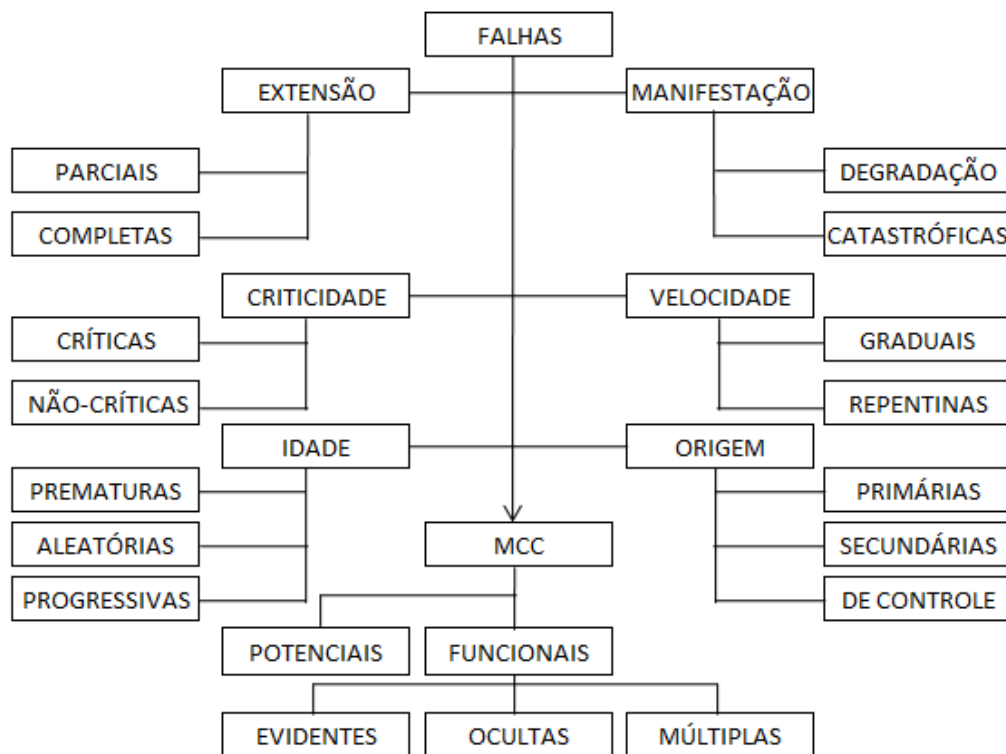
## 2.2 FALHAS

A falha pode ser definida pela incapacidade de satisfazer a um padrão de desempenho de uma unidade. Ela pode trazer prejuízos através da parada e diminuição da produção, operação instável e deterioração do produto (KARDEC E NASCIF, 1998). Tal teoria é reforçada por (LAFRAIA, 2001), que advoga a falha como o “término da capacidade de um item desempenhar a função requerida”. Conforme Blache e Shrivastava (1994) salientam, as

falhas são eventos que determinam a inadequação de um recurso para o uso. Rausand (1998) define falha como sendo o fim da habilidade de um item executar uma função exigida. Chaïb et al. (2014) traduzem o termo “falha” como uma fonte de progresso para manutenção, pois através deste comportamento patológico é possível detectar os componentes mais críticos em equipamentos, determinar a ordem de prioridade e ações de manutenção, de modo a aumentar sua disponibilidade, até mesmo aumentar a vida útil e melhoria em futuros projetos.

Uma das principais funções da manutenção é evitar e corrigir falhas. Para isso, as mesmas devem ser devidamente classificadas, analisadas e catalogadas, ou seja, deve se entender a forma com que os sistemas falham. Uma forma de se efetuar essa análise é através da aplicação da FMEA (descrita na seção 2.5), a qual é parte fundamental da MCC. Na visão da MCC, as falhas podem ser classificadas basicamente como Falhas Funcionais, quando o equipamento deixa de executar sua função primária, e Falhas Potenciais, quando o ativo apresenta algum defeito identificável e que resultará em falha funcional. A Figura 3 apresenta um desdobramento das classificações das falhas conforme (SIQUEIRA, 2005).

Figura 3 – Classificação de falhas



Fonte: Siqueira, 2005

Deve-se destacar que as Falhas Funcionais são classificadas ainda em três categorias, de acordo com sua visibilidade, segundo Siqueira (2005): (i) Falha Evidente – possível de ser detectada durante o trabalho normal; (ii) Falha Oculta – não possível de ser detectada durante o trabalho normal; e (iii) Falha Múltipla – combinação de uma falha oculta com uma segunda falha que a torne evidente.

Segundo Xenos (2004), a existência da falha leva a unidade a um estado de indisponibilidade, sendo importante que existam parâmetros mensuráveis ou indicações claras associadas às falhas para que não ocorram critérios ambíguos para a definição das mesmas. O mesmo autor aponta três categorias de causas para as falhas: a) falta de resistência, oriunda das deficiências do projeto, sendo uma característica do próprio equipamento; b) uso inadequado, resultado da aplicação de esforços que excedem a capacidade do equipamento; e c) manutenção inadequada, resultado de medidas preventivas insuficientes ou inexistentes.

As falhas podem ainda ser classificadas conforme a frequência de sua ocorrência em constante, crescente ou decrescente. Quando a frequência é do tipo constante, caracteriza a ocorrência de falhas causadas por eventos aleatórios, com uma probabilidade de não variar na medida em que a unidade em análise envelhece. A frequência do tipo crescente caracteriza situações típicas de desgaste e fadiga, com uma probabilidade de aumentar na medida em que a unidade em análise envelhece. A frequência do tipo decrescente caracteriza situações onde a confiabilidade aumenta com o tempo, com uma probabilidade de diminuir no início da vida útil da unidade em análise (XENOS, 2004). Tal definição é corroborada por Siqueira (2005), o qual aponta estudos elaborados na United Airlines, conduzidos por Nowlan e Heap, visando à identificação de três comportamentos dos equipamentos quanto à taxa de falhas:

1. Comportamento bem definido de desgaste, com um aumento rápido na probabilidade condicional de falha;
2. Crescimento constante da probabilidade condicional de falha;
3. Degradação funcional em qualquer fase da vida útil.

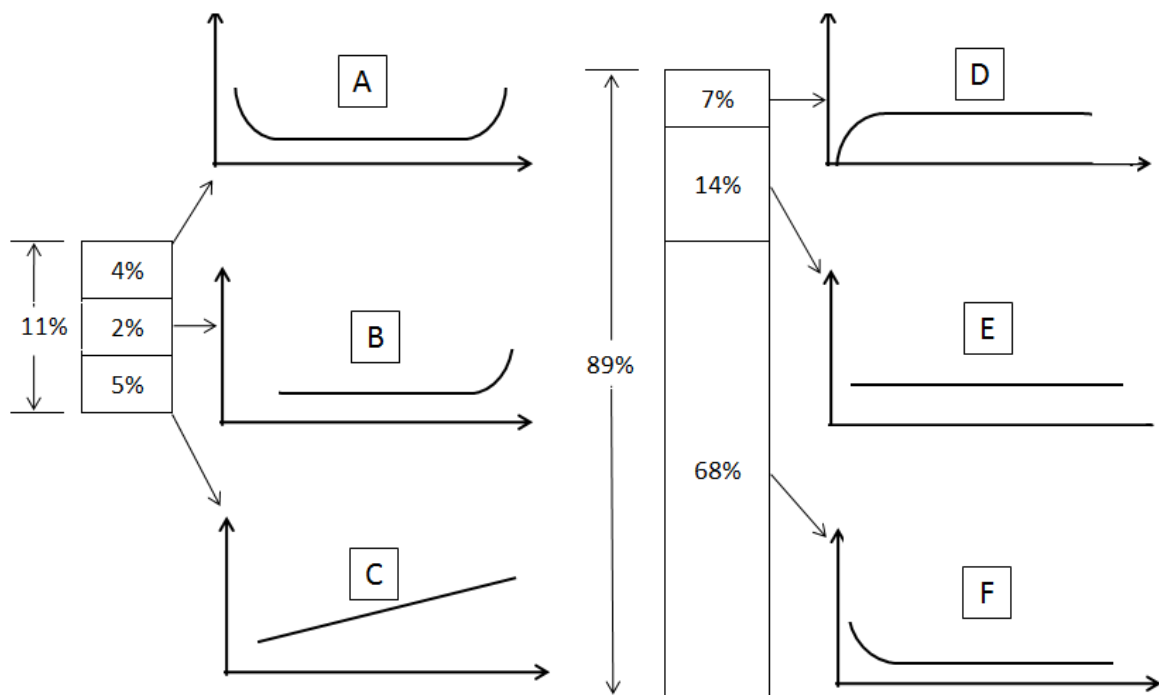
Esses comportamentos originaram as seis curvas básicas de taxa de falha observadas durante a vida útil, conforme a Figura 4.

A curva “A”, chamada de “Curva da Banheira” devido ao seu formato característico, normalmente identificada em equipamentos complexos (ex: motores elétricos) define uma combinação de modelos ou curvas, ponderada pela participação de cada item na probabilidade de falha. Nessa curva, três regiões são claramente definidas. A parte inicial, com probabilidade de falha decrescente, corresponde à mortalidade infantil, ou seja, refere-se à



probabilidade de um item falhar já no início da operação do equipamento, e essa probabilidade diminui com o passar do tempo. A curva “F” corresponde a essa fase inicial da Curva da Banheira; softwares são itens que apresentam tal curva. A parte central da curva apresenta uma probabilidade constante de falha, assim como a curva “E”; lâmpadas são exemplos de componentes que têm como característica de desgaste este modelo de curva. Finalmente, a parte final da Curva da Banheira representa uma probabilidade de falha crescente em função do tempo; conforme o item se aproxima do final da vida útil, maior é a probabilidade de a falha acontecer (resultante do envelhecimento dos componentes com mecanismo de falha sujeito ao desgaste e fadiga, o que pode ser exemplificado por máquinas a pistão, discos e aerofólios). Da mesma forma se apresenta a curva “B”. No caso da curva “C”, a probabilidade de falha aumenta constantemente com o passar do tempo desde o início do funcionamento do componente; como exemplo pode-se citar turbinas, compressores, selos de ar, rolamentos. Recomenda-se a estratégia de acompanhamento preditivo da condição, a fim de se determinar o melhor momento para se intervir no equipamento antes da falha funcional. Finalmente, tem-se a curva “D”, que apresenta um crescimento exponencial da probabilidade de falha a partir do início da operação e, transcorrido determinado tempo de operação, a probabilidade de falha se estabiliza.

Figura 4 – Taxas de falhas por curva de desgaste



Fonte: Siqueira, 2005.

Segundo Siqueira (2005), a curva da banheira dominou a filosofia e a ação da Manutenção durante o período denominado 2ª geração, onde as grandes revisões que paravam as instalações por um longo período, com desmontagem quase que total dos equipamentos, eram justificadas pela proximidade do período de desgaste dos componentes. Nessas revisões, praticamente todas as peças eram substituídas ou restauradas em bloco, o que custava muito tempo, dinheiro e ainda aumentava a taxa de probabilidade de falhas. A MCC contribuiu substancialmente com setores de manutenção ao constatar que a maior parte dos componentes e conjuntos dos sistemas modernos não apresentava sintomas de falhas por desgaste. Os estudos de Nowlan e Heap comprovaram que 89% dos defeitos verificados em partes não estruturais de aeronaves eram oriundos de componentes cujos mecanismos de falha não apresentavam taxas de falhas crescentes, conforme demonstrado na Figura 4. Sob essas condições, dificilmente qualquer tipo de restauração produziria resultados benéficos, podendo inclusive piorar o desempenho com a introdução de falhas por mortalidade infantil.

Conforme Lafraia (2001), a taxa de falhas é a frequência com que as falhas ocorrem num certo intervalo de tempo, medida pelo número de falhas para cada hora de operação ou número de operações do sistema ou componente.

## 2.3 CONFIABILIDADE

Nesta seção serão apresentados os conceitos básicos de Confiabilidade aplicados à manutenção de equipamentos, as medidas de confiabilidade e as principais distribuições de probabilidade.

### 2.3.1 CONCEITO DE CONFIABILIDADE

Confiabilidade é a probabilidade que um item tem de desempenhar adequadamente suas funções, por um determinado tempo e sob condições ambientais predeterminadas (LEEMIS, 1995). Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), a confiabilidade é associada à boa operação dos recursos utilizados, como sistemas ou produtos, ausentes de falhas ou quebras, e está associada à execução com sucesso de uma determinada função de um produto e/ou sistema, onde não ocorrem falhas e quebras. Wang et al. (2015) complementam, afirmando que a confiabilidade do processo é uma capacidade de produzir produtos de acordo com os requisitos de projeto, de forma eficiente, constante e sob condições específicas.

A confiabilidade apoia-se em uma função atrelada a um período de tempo, que conforme Fogliatto e Ribeiro (2009) implica em cinco sequências: (i) o analista deve definir uma unidade de tempo (por exemplo, minutos, horas ou anos) para a realização das análises; (ii) os modelos que descrevem os tempos até a falha utilizam a variável aleatória T para descrever o tempo até a falha de um item; (iii) o termo tempo não deve ser interpretado literalmente, já que em muitos contextos o número de milhas ou o número de ciclos pode representar o tempo até a falha de um item; (iv) o conceito de confiabilidade deve ser associado a um período de tempo ou duração de missão, e (v) a determinação do que deveria ser usado para medir a vida de um item nem sempre é clara, como exemplo, o tempo até a falha de um componente elétrico pode ser definido como o número contínuo de horas até a falha ou como o número somado de horas até a falha, considerando o número típico de acionamentos a que o componente é submetido.

Quanto aos conceitos de qualidade e confiabilidade, a principal diferença que se deve notar é que a passagem de tempo é incorporada nas análises de confiabilidade, enquanto o conceito de qualidade é a descrição estática de um item (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Para Lafraia (2001), os benefícios com a aplicação da confiabilidade são: a) aumento dos lucros da empresa através da redução de paradas programadas, redução dos custos de manutenção e operação, redução da possibilidade de acidentes; b) criação de soluções para algumas necessidades das empresas como o aumento da produção com mais lucro, resposta rápida para mudanças de produtos, cumprimento de legislação (ambiental e segurança); c) aplicação de investimentos baseados nas informações quantitativas do programa; d) mudança de postura com a atuação nas causas dos problemas e não nos sintomas, uma vez que existe um histórico de falhas dos equipamentos e a determinação dos fatores para a manutenibilidade dos equipamentos.

O conceito de confiabilidade é aplicado em diversas áreas. Conforme Rausand e Hoyland (2003), as áreas associadas à engenharia de produção que têm maior interligação incluem Análises de Risco e Segurança, Qualidade, Otimização da Manutenção, Proteção Ambiental e Projeto de Produtos.

### 2.3.2 MEDIDAS DE CONFIABILIDADE

Em confiabilidade existe a preocupação com a probabilidade de que a unidade consiga sobreviver a um dado intervalo estabelecido. Desta maneira, essa seção traz as principais

medidas e parâmetros relacionados ao monitoramento de confiabilidade (LAFRAIA, 2001; FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009):

**Tempo até a falha:** Por tempo até a falha de uma unidade entende-se o tempo transcorrido desde o momento do início da operação até primeira falha. Convenciona-se  $t = 0$  como início da operação do sistema. Por estar sujeito a variações aleatórias, o tempo até a falha é definido como uma variável aleatória, designada por  $T$ . O estado da unidade em um tempo  $t$  pode ser descrito por uma variável de estado  $X(t)$ , que é uma variável aleatória definida por dois estados:  $X(t) = 1$ , no caso de a unidade estar operacional no tempo  $t$ , e  $X(t) = 0$ , no caso de a unidade estar não operacional no tempo  $t$ .

O tempo até a falha nem sempre é medido de forma contínua, podendo assumir valores discretos, como número de ciclos até a falha. Para os propósitos deste contexto, pressupõe-se uma variável  $T$  distribuída continuamente, com densidade de probabilidade dada por  $f(t)$  e função de distribuição dada por:

$$F(t) = P(T \leq t) = \int_0^t f(u)du, t > 0 \quad (1)$$

A função  $F(t)$  denota, assim, a probabilidade de falha da unidade em uma missão de duração menor ou igual a  $t$ .

A densidade de probabilidade  $f(t)$  é definida como:

$$f(t) = F'(t) = \frac{d}{dt} F(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t+\Delta t) - F(t)}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < T \leq t + \Delta t)}{\Delta t} \quad (2)$$

Para valores pequenos de  $\Delta t$ , a seguinte aproximação pode ser usada:

$$P(t < T \leq t + \Delta t) \approx f(t) \cdot \Delta t \quad (3)$$

**Densidade de falhas:** é representada por  $f(t)$  e apresenta a variação da probabilidade de falhas por unidade de tempo. É definida como:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (4)$$

Probabilidade acumulada de falhas: é representada por  $F(t)$  e apresenta a probabilidade de falha. É definida como:

$$f(t_2) - f(t_1) = \int_{t_1}^{t_2} f(t). dt \quad (5)$$

Desta maneira,  $F(t)$  é a probabilidade de falha do sistema, definida como:

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (6)$$

**Tempo Médio Entre Falhas:** A taxa de falhas apresentada no final da seção 2.2, é normalmente representada por  $\lambda$ . O inverso da taxa de falhas é representado por MTBF (*Mean Time Between Failures*). Esta expressão matemática é aplicada a componentes reparáveis, neste caso o componente poderá ser reparado e voltar a operar (LAFRAIA, 2001).

$$MTBF = \text{Horas de operação} / \text{Número de falhas} \quad (7)$$

A NASA (2000) menciona que o MTBF é geralmente usado como um guia para estabelecer o intervalo entre tarefas de manutenção nos casos onde a taxa de falhas é constante.

**Tempo Médio Até a Falha:** é representado por MTTF (*Mean Time To Failure*) e apresenta o tempo médio até a falha de uma unidade que não pode ser reparada, ou seja, cuja vida termina na primeira falha (LAFRAIA, 2001). É definido como:

$$MTTF = \frac{\sum_{i=1}^N TTF_i}{N} \quad (8)$$

**Função de confiabilidade:** Também conhecida como função de sobrevivência, é representada por  $R(t)$  e apresenta a probabilidade de sucesso na operação em um dado intervalo de tempo, e de permanecer funcionando neste mesmo intervalo de tempo. Define-se a função de confiabilidade como:

$$R(t) = \frac{n_s(t)}{n_s(t) + n_f(t)} = \frac{n_s(t)}{n_0} \quad (9)$$

onde  $n_s(t)$  são as unidades que não falharam e  $n_f(t)$  são as unidades que falharam em um dado tempo ( $t$ ) de monitoramento. Levando em consideração uma variável aleatória, a função de confiabilidade é definida como:

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(u)du = \int_t^{+\infty} f(u)du \quad (10)$$

**Função de risco:** Também conhecida como taxa de falha ou taxa de risco, é representada por  $h(t)$  e apresenta a quantidade de risco que está associada a uma unidade no tempo ( $t$ ). Demonstra a maneira como uma unidade envelhece e serve como base para comparar unidades que têm características distintas. É definida como:

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (11)$$

### 2.3.3 DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE EM CONFIABILIDADE

Para determinar a probabilidade de sobrevivência de uma unidade após um dado intervalo de tempo (ou seja, confiabilidade) é necessário que seja definido o modelo probabilístico (distribuição) que demonstra o comportamento dos tempos até falha da unidade em estudo. Através desta modelagem será possível estimar a probabilidade de sobrevivência de um item para qualquer tempo, além de tornar possível a definição de outras medidas de confiabilidade. Logo, a modelagem dos tempos até falha assume uma posição central na análise de confiabilidade (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

As seguintes distribuições de probabilidade são tipicamente avaliadas em estudos de confiabilidade: Exponencial, Weibull, Lognormal e Gama.

**Distribuição Exponencial:** se caracteriza por ser a única distribuição que apresenta uma função de risco constante (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Filho (2003) coloca que a

distribuição exponencial tem aplicação em sistemas que apresentam grande quantidade de componentes em série, como no caso de equipamentos eletrônicos (com taxa de falhas constante). Segundo Lafraia (2001), as principais aplicações da distribuição exponencial são verificadas em sistemas complexos onde não existe redundância, sistemas complexos com componentes que apresentam taxas de falhas independentes e sistemas com dados de falhas que mostram causas heterogêneas. Suas equações são apresentadas de (12) a (15).

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (12)$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (13)$$

$$h(t) = \lambda \quad (14)$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (15)$$

**Distribuição de Weibull:** se caracteriza pela modelagem de tempos até falha com comportamentos distintos, apresentam funções de risco constante, estritamente crescente e estritamente decrescente. Para Lafraia (2001), a distribuição de Weibull pode ser utilizada para a análise de confiabilidade de um equipamento porque consegue determinar de maneira clara as suas três fases de vida: mortalidade infantil, vida útil e desgaste. Utiliza três parâmetros para determinar a probabilidade de falha, confiabilidade e função de risco: parâmetro de forma ( $\beta$ ), parâmetro de escala ( $\theta$ ) e parâmetro de localização ( $\gamma$ ) (LAFRAIA, 2001).

Conforme Lafraia (2001), a distribuição de Weibull é usada para descrever unidades ou produtos com tempo de vida ou taxas de falhas constantes; suas equações são apresentadas de (16) a (19).

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta^\beta} (t - t_0)^{\beta-1} e \left[ - \left( \frac{t - t_0}{\eta} \right)^\beta \right] \quad (16)$$

$$F(t) = 1 - e \left[ - \left( \frac{t - t_0}{\eta} \right)^\beta \right] \quad (17)$$

$$R(t) = e \left[ - \left( \frac{t - t_0}{\eta} \right)^\beta \right] \quad (18)$$

$$h(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t - t_0}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (19)$$

**Distribuição Lognormal:** se caracteriza por ser uma distribuição com limite à esquerda que modela tempos em unidades reparáveis. Tem uma taxa de falhas com crescimento inicial e posterior decréscimo, apresentando um formato invertido de curva da banheira (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Segundo Lafraia (2001), as principais aplicações da Distribuição Lognormal são para determinação da distribuição de tempos para falha e tempo médio para manutenção de componentes mecânicos sujeitos a desgaste. As equações são apresentadas de (20) a (23).

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma t}} e \left\{ \frac{-1}{2} \left[ \frac{\ln t - \mu}{\sigma} \right]^2 \right\} \quad (20)$$

$$R(t) = \Phi \left( \frac{\mu - \ln t}{\sigma} \right) \quad (21)$$

$$h(t) = \frac{\phi [ (\mu - \ln t) / \sigma ] / \sigma t}{\Phi [ (\mu - \ln t) / \sigma ]} \quad (22)$$

$$MTTF = e^{(\mu + \sigma^2)/2} \quad (23)$$

Onde  $\Phi(x)$  é o valor da função de distribuição normal padronizada avaliada em  $x$ , e  $\phi(x)$  é o valor da função de densidade da distribuição normal padronizada avaliada em  $x$ . O valor médio é representado por  $\mu$  e corresponde ao parâmetro de escala, e o desvio padrão é representado por  $\sigma$  que representa o parâmetro de forma (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).



Dentre suas aplicações, permite estimar o tempo de vida de rolamentos, distribuição de tempos até a falha de componentes mecânicos por desgaste, tempo médio de reparo e ciclo da falha por desgaste de componentes metálicos em níveis menores que o limite de resistência (LAFRAIA, 2001).

**Distribuição Gamma:** se caracteriza por ser uma distribuição generalizada da Distribuição Exponencial. Tem formatos de densidade bastante similares ao da distribuição de Weibull, sendo utilizada principalmente na modelagem de reparo ideal, com tempo entre falhas distribuído exponencialmente (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). A distribuição Gamma também é usada para estimar o ciclo de vida de uma unidade, e suas medidas são trazidas de (24) a (27).

$$f(t) = \frac{\lambda}{\Gamma(\gamma)} (\lambda t)^{\gamma-1} e^{-\lambda t} \quad (24)$$

$$R(t) = 1 - \frac{1}{\Gamma(\gamma)} \int_0^{\lambda t} x^{\gamma-1} e^{-x} dx \quad (25)$$

$$h(t) = f(t)/R(t) \quad (26)$$

$$MTTF = \gamma/\lambda \quad (27)$$

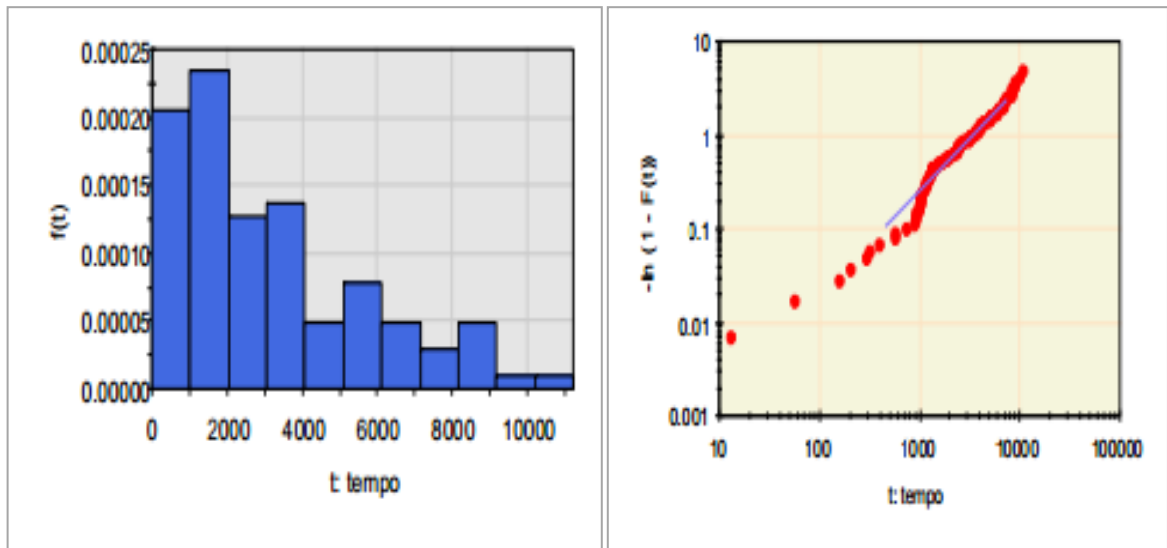
Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), para a verificação do ajuste dos dados à distribuição pode-se utilizar a forma gráfica (que incluem histogramas de frequência e papéis de probabilidade) e a forma analítica (testes de aderência).

Os histogramas de frequência e de risco que são obtidos a partir de dados da amostra são ajustados em comparação com distribuições tabeladas, a partir das estimativas dos parâmetros de cada modelo. O melhor modelo é aquele cujos pontos da função de confiabilidade estão mais próximos dos valores obtidos pela estimativa (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Por sua vez, o papel de probabilidade tem como ideia básica à construção de gráficos que devem ser aproximadamente lineares caso o modelo proposto seja apropriado. O papel de probabilidade distribui os dados da amostra em torno de uma reta, representando o comportamento esperado da distribuição; quanto mais próximos os dados estiverem da reta,

melhor será o ajuste a esta distribuição, com as diferenças de linearidades sendo verificadas visualmente (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). A Figura 5 ilustra um exemplo de histograma de frequência e de papel de probabilidade utilizados para a verificação do ajuste dos dados à distribuição hipotética.

Figura 5 – Exemplo hipotético de histograma e papel de probabilidade



Fonte: Elaborado pelo autor

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), a verificação analítica com os testes de aderência apresenta uma estrutura de teste de hipóteses, onde a hipótese nula ( $H_0$ ) indica que os dados seguem uma determinada distribuição. Os testes Qui-Quadrado ( $X^2$ ) e Kolmogorov-Smirnov (KS) são os mais utilizados para esta análise.

O teste de independência do Qui-Quadrado é usado para verificar se existe uma associação entre frequências esperadas e frequências observadas em diferentes intervalos de classe. A hipótese nula é de que as variáveis não estão associadas, assim elas são independentes. A hipótese alternativa é de que as variáveis estão associadas, ou dependentes (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Já o teste de Kolmogorov-Smirnov é usado de maneira equivalente ao do Qui-Quadrado, considerando a diferença entre as frequências acumuladas e a distribuição empírica dos dados, de maneira que se utiliza melhor a informação que está contida na amostra. O critério é a comparação da diferença com um valor crítico, considerando um dado nível de significância (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

## 2.4 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE - MCC

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), a MCC pode ser definida como um programa que reúne várias técnicas de engenharia para assegurar que os equipamentos de uma planta fabril continuarão realizando as funções especificadas. Devido a sua abordagem racional e sistemática, os programas de MCC têm sido reconhecidos como a forma mais eficiente de tratar as questões de manutenção. Tais programas permitem que as empresas alcancem excelência nas atividades de manutenção, ampliando a disponibilidade dos equipamentos e reduzindo custos associados a acidentes, defeitos, reparos, substituições e paradas indesejadas do processo. Para tornar isso possível, é necessário desenvolver um plano de manutenção que inclua tarefas corretivas, preventivas e preditivas; e que são aplicados de acordo com a criticidade de cada componente, e ajustando tarefas em todos os momentos para as metas de produção estabelecidas, otimizando a segurança, a qualidade e confiabilidade do processo (SAINZ; SEBASTIÁN, 2013).

Kardec e Nascif (2012) complementam, afirmando que a MCC é uma metodologia que estuda um equipamento ou um sistema em detalhes, analisa como ele pode falhar e define a melhor forma de executar a manutenção de modo a prevenir falhas ou minimizar as perdas decorrentes das falhas. Para Igba et al. (2013), é uma abordagem que emprega práticas e estratégias de manutenção reativa, preventiva e pró-ativa em uma forma integrada para aumentar a probabilidade de que um equipamento ou componente vai funcionar da maneira requerida ao longo do ciclo de vida com um mínimo de manutenção, enquanto Branco Filho (2006) entende que a MCC utiliza novas formas de se gerenciar a manutenção de sistemas complexos, o que torna possível a redução dos custos de manutenção através de melhorias em projetos, técnicas de manutenção e rotinas, possibilitando maior disponibilidade, confiabilidade dos equipamentos e menor dispêndio de mão-de-obra.

Segundo Siqueira (2005), o primeiro evento atribuído à origem da MCC refere-se à necessidade de certificação da linha de aeronaves Boeing 747 pela FAA (Federal Aviation Authority) nos Estados Unidos. Esse avião possuía equipamentos de automação embarcada jamais vistos em qualquer aeronave na aviação comercial, apresentando o triplo de assentos em relação às maiores aeronaves até então existentes (Douglas DC-8 e o Boeing 707). A aplicação de metodologias tradicionais de manutenção inviabilizaria o atendimento às exigências das autoridades aeronáuticas americanas. Essa necessidade motivou a criação de uma força tarefa na United Airlines em 1968, conhecida pela sigla MSG-1 (Maintenance

Steering Group). O relatório dessa comissão, hoje um clássico da literatura sobre manutenção, introduziu os conceitos da metodologia chamada MCC.

Segundo Lafraia (2001) e Siqueira (2005), a aplicação da MCC possibilita a obtenção de benefícios que incluem:

- Aumento dos lucros de produção através da redução de paradas não programadas nas indústrias e instalações, e da otimização da disponibilidade;
- Diminuição dos custos de manutenção relativos a manutenções indevidas ou ineficientes e aumento da vida útil de equipamentos;
- Fornecimento de soluções à indústria, no aumento de produção e unidades mais lucrativas, com respostas rápidas as mudanças de especificações de produtos e no cumprimento da legislação ambiental, de segurança e higiene;
- Banco de dados de manutenção possibilitando maior segurança nas informações, e maior confiança em investimentos e rastreabilidade;
- Maior conhecimento sobre equipamentos e o sistema, com interface entre manutenção e produção;
- Melhor eficiência em termos de confiabilidade dos equipamentos, de tempo de ciclo e de qualidade;
- Atuar conforme tipo, efeito, causa e consequência da falha, com contramedidas efetivas.

#### 2.4.1 AS SETE QUESTÕES BÁSICAS DA MCC E PASSOS PARA IMPLANTAÇÃO DA MCC

Segundo Moubray (2000), a decisão de se aplicar a MCC implica em sete perguntas sobre cada um dos itens sob revisão ou sob análise crítica, como segue:

1. Quais são as funções e padrões de desempenho de um equipamento no seu contexto presente de operação?
2. De que forma ele falha em cumprir suas funções?
3. O que causa cada falha funcional?
4. O que acontece quando ocorre cada falha?
5. De que forma cada falha importa?
6. O que pode ser feito para predizer ou prevenir cada falha?
7. O que deve ser feito se não for encontrada uma tarefa proativa apropriada?

Siqueira (2005) reformulou tais perguntas, associando a elas palavras-chaves diretamente relacionadas às etapas de implementação da MCC. Além disso, uma oitava pergunta foi incluída:

1. Quais as **funções** a se preservar?
2. Quais as **falhas** funcionais?
3. Quais os **modos** de falha?
4. Quais os **efeitos** das falhas?
5. Quais as **consequências** das falhas?
6. Quais as **tarefas** aplicáveis e efetivas?
7. Quais as **alternativas** restantes?
8. Quais as **frequências** ideais das tarefas?

Para a implementação da metodologia da MCC, um número de etapas deve ser seguido. Os principais procedimentos descritos por Smith (1993), Rausand et al. (1998), Moubray (2000), NASA (2000), Lafraia (2001), Siqueira (2005) e Fogliatto e Ribeiro (2009), foram agrupados no Quadro 3.

O Quadro 3 demonstra a visão geral do processo de implantação da MCC sugerida por diversos autores. Para a implantação da MCC neste trabalho, decidiu-se utilizar as etapas sugeridas por Rausand et al. (2003), Siqueira (2005) e Fogliatto e Ribeiro (2009). Levando em consideração as etapas sugeridas pelos autores, são descritas as etapas que serão seguidas neste trabalho para implementação da MCC: (i) Escolha e capacitação da equipe (ii) seleção do sistema e coleta de informações; (iii) análise das funções e falhas funcionais; (iv) análise dos modos de falhas e seus efeitos; (v) determinação do plano de manutenção. Tais etapas são detalhadas na seção 3.

Quadro 3 - Comparação das sistemáticas para a implementação da MCC

<b>Etapas</b>	<b>Smith (1993)</b>	<b>Rausand et al. (1998)</b>	<b>Moubray (2000)</b>	<b>NASA (2000)</b>	<b>Lafraia (2001)</b>	<b>Siqueira (2005)</b>	<b>Fogliatto e Ribeiro (2009)</b>
1	Seleção do sistema e coleta de informações.	Preparação do estudo.	Definição das funções e padrões de desempenho.	Identificação do sistema e suas fronteiras.	Requisitos operacionais.	Seleção do sistema e coleta de informações.	Escolha do comitê e equipes de trabalho.
2	Definição das fronteiras do sistema.	Seleção do sistema.	Definição da forma como o item falha ao cumprir suas funções.	Identificação do sistema e suas fronteiras.	Análise funcional.	Análise de Modos de Falha e Efeitos.	Capacitação em MCC.
3	Descrição do sistema.	Análise das Funções e Falhas Funcionais.	Descrição da causa de cada falha funcional.	Examinar as funções.	Elaborar FMEA.	Seleção de Funções Significantes.	Estabelecimento dos critérios de confiabilidade.
4	Funções e falhas funcionais.	Seleção dos itens críticos.	Descrição das consequências de cada falha.	Definir falhas e modos de falha.	Diagrama de decisões.	Seleção de Atividades Aplicáveis.	Estabelecimento da base de dados.
5	Análise dos modos, efeitos e criticidade das falhas.	Coleta e análise de informações.	Definição da importância de cada falha.	Identificar as consequências da falha.	Programa de Manutenção.	Avaliação da efetividade das Atividades.	Aplicação da FMEA e classificação dos componentes.
6	Análise da árvore lógica.	Análise dos modos, efeitos e criticidade das falhas.	Seleção de tarefas preditivas e preventivas para cada falha.	Análise do diagrama lógico de decisão.		Seleção das atividades Aplicáveis e Efetivas.	Seleção das atividades de MP pertinentes.
7	Seleção das tarefas preventivas.	Seleção das tarefas de manutenção.	Seleção de tarefas alternativas.	Seleção das tarefas preventivas.		Definição da periodicidade das Atividades.	Documentação das atividades de MP.
8		Determinação da frequência das tarefas de Manutenção.					Estabelecimento de metas e indicadores.
9							Revisão do programa de MCC.

Fonte: Elaborado pelo autor

## 2.4.2 APLICAÇÕES DA MCC

Dentre seus diversos cenários de aplicação, a MCC é adequada para empresas de processamento contínuo, a exemplo da indústria automobilística. Neste tipo de empresa, as corridas de produção são longas e o tamanho do lote é pequeno. O produto tem pequenas variações de matérias-primas e o impacto do resultado da manutenção no resultado do processo usualmente é grande (WUTTKE e SELLITTO, 2008). No setor da geração de energia nuclear, a adoção da metodologia ocorreu especialmente após os acidentes ocorridos nas usinas de Three Miles Island em Middletown / Pennsylvania (Estados Unidos, 1979) e Chernobyl (Ucrânia – ex-União Soviética, 1986). Em ambos os casos, ficou comprovado que ocorreram falhas humanas ao se realizar procedimentos operacionais dos equipamentos. Atualmente, a MCC é adotada em mais de 400 usinas nucleares nos Estados Unidos.

A MCC também foi aplicada em um processo de envase de uma indústria de bebidas, permitindo identificar com precisão os conjuntos e subconjuntos responsáveis por maiores impactos na confiabilidade dos equipamentos. Como resultado obteve-se a ampliação do faturamento em cerca de um milhão por ano, ampliação da moral e satisfação das pessoas, redução do uso de horas extras, redução de 10% no descarte de produtos não conformes e a possibilidade de adiar em cerca de um ano investimentos de ampliação da linha. Verificaram-se ainda reduções dos níveis de estoque, uma vez que se elevou o grau de confiança na confiabilidade dos equipamentos (NASCIMENTO, 2014).

No setor de Preparação de Polpa na Fábrica de Pasta Químico-mecânica da Celulose Irani S.A foi implementada MCC. Constatou-se que a MCC é um importante processo de documentação, análise de falhas e definição de tarefas de manutenção, a qual permitiu definir um grande número de ações de manutenção voltadas para atividades de rotina que eram desconhecidas pelo plano de manutenção da empresa, elevando assim a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos (ZAIONS, 2003).

Um exemplo de aplicação da MCC na indústria aeronáutica foi a alteração no intervalo entre inspeções da estrutura do DC-8, com a manutenção tradicional era de 20.000hs. Já com a aplicação da MCC, este intervalo passou para 66.000hs, aumentando a disponibilidade da aeronave para a operação. Com a aplicação da MCC, houve redução de 50% no número de sobressalentes de uma turbina, impactando em uma redução de US\$ 1 milhão por turbina (LAFRAIA, 2001).

Por fim, a aplicação da MCC em três máquinas empacotadoras de uma indústria alimentícia situada na cidade de Lajeado, proporcionou resultados positivos em relação ao ciclo de vida e estratégias de manutenção dos equipamentos. Também foi possível evidenciar claramente que um dos equipamentos passa por uma fase de mortalidade infantil, de falhas prematuras; como estratégia de manutenção, optou-se pela manutenção corretiva. Em outro equipamento estudado, foram evidenciados resultados muito semelhantes e mascarados por um plano de manutenção já existente; ambos os resultados apresentaram a importância da melhoria contínua em um plano de manutenção para equipamentos (ROTHER, 2010).

## 2.5 ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHAS - FMEA

Conforme Fogliatto e Ribeiro (2009), a MCC refere-se à identificação dos modos de falha, isto é, como os equipamentos podem falhar em cumprir suas funções. Os modos de falhas correspondem a eventos, que caracterizam falha em cumprir uma das funções especificadas para o componente. Uma vez que as ações preventivas não são direcionadas aos modos de falha e sim às suas causas, uma importante preocupação da metodologia MCC é a identificação das causas de cada falha funcional, reconhecendo seus efeitos e explicitando o que acontece quando cada falha ocorre. Para cumprir os requisitos da MCC de identificação, consequências e tarefas que impeçam que falhas ocorram, será utilizada neste trabalho a Análise de modos e efeitos de falha, ou FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*); a FMEA analisa os modos potenciais de falha de um componente, seus efeitos e suas causas e fornece uma avaliação do risco da falha, permitindo concentrar esforços nos componentes que apresentam maior risco de falha.

De acordo com Hasbullah e Ahmad (2015), a FMEA foi desenvolvida pela primeira vez como metodologia de projeto formal em 1960 pela indústria aeroespacial, buscando primar por seus requisitos de confiabilidade e segurança. Desde então, ela tem sido amplamente utilizada para garantir a segurança e a confiabilidade dos produtos utilizados em uma ampla gama de indústrias. Segundo Kardec e Nascif (2012), a FMEA é uma abordagem que ajuda a identificar e priorizar falhas potenciais em equipamentos, sistemas ou processos. FMEA é um sistema lógico que hierarquiza as falhas potenciais e fornece as recomendações para ações preventivas. É um processo formal que utiliza especialistas dedicados a analisar as falhas e solucioná-las. Tal definição é corroborada por Thurnes et al. (2015), os quais definem a FMEA como sendo a ferramenta mais estabelecida para análise de riscos e prevenção de



falhas em engenharia. Por fim, Sainz e Sebastián (2013), afirmam que a FMEA é uma metodologia destinada a identificar e analisar falhas potenciais e quantificar o efeito que essas falhas têm no funcionamento normal do sistema de produção, minimizando os efeitos sobre a produção, facilitando o planejamento de atividades de trabalho e estratégias para otimizar a confiabilidade dos componentes.

Conforme Fogliatto e Ribeiro (2009), a FMEA tem como objetivos: (i) reconhecer e avaliar as falhas potenciais que podem surgir em um produto ou processo, (ii) identificar ações que possam eliminar ou reduzir a chance de ocorrência dessas falhas, e (iii) documentar o estudo, criando um referencial técnico que possa auxiliar em revisões e desenvolvimentos futuros do projeto ou processo.

Sugere-se que o grupo de FMEA, tenha engenheiros, técnicos de manutenção e de operação. Os grupos devem ser multidisciplinares pela complementaridade de conhecimentos, além da vantagem de decisões colaborativas. Esse tipo de grupo apresenta maior produtividade, além de eficiência no aspecto de custos.

### 2.5.1 ELEMENTOS DA FMEA E SUA OPERACIONALIZAÇÃO

Inicialmente, o responsável pela condução do estudo de FMEA deve reunir a equipe de trabalho. As principais habilidades associadas ao trabalho em equipe, segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), são: (i) capacidade de identificar o papel de cada um na equipe (inclusive seu próprio papel); (ii) disposição para cooperar com os demais, contribuindo com informações e ideias relevantes ao estudo; (iii) capacidade de lidar com as diferenças, respeitando-as; (iv) capacidade de planejar e tomar decisões em conjunto com outras pessoas; (v) empatia, entendida como a capacidade de entender as preocupações e opiniões dos demais; (vi) esforço no sentido de manter todos envolvidos, encorajando os demais a aceitar a mudança; e (vii) disposição para aceitar decisões da equipe. Paralelamente à formação da equipe, o responsável deve reunir os documentos que servirão de suporte ao desenvolvimento da FMEA de processo.

O estudo propriamente dito deve iniciar listando as características que o processo deve satisfazer. Quanto melhor a definição das características desejadas, mais fácil será identificar os modos potenciais de falha e as possíveis ações corretivas. Logo de início, deve ser feito o desenho do fluxograma do processo, indicando o encadeamento geral das etapas do processo. Esse desenho deve esclarecer a sequência das etapas que compõem o processo,

homogeneizando terminologia, facilitando a visualização das interfaces e as discussões técnicas (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Uma vez reunida à equipe, os documentos de suporte e o fluxograma das etapas do processo, a análise de FMEA de processo, fisicamente caracterizada pelo preenchimento da tabela FMEA, pode iniciar.

De acordo com Palady (1997), os seguintes elementos são tipicamente identificados em uma FMEA, a qual é ilustrada na Tabela 1.

*Elemento #1 - Cabeçalho da FMEA:* É importante que o cabeçalho contenha todas as informações necessárias para identificar precisamente do que se trata a FMEA, quem está envolvido, data de início, data de modificação e responsável.

*Elemento #2 - Funções:* O que esse projeto, processo ou serviço deve fazer para satisfazer os clientes?

*Elemento #3 - Modos de falhas:* Neste momento inicia o trabalho técnico propriamente dito. Os participantes da equipe analisam a primeira operação e indicam modos de falhas potenciais. O modo potencial de falha é definido como a maneira na qual um determinado processo pode falhar em atingir os requerimentos ou especificações do projeto.

A lista de modos potenciais de falhas é construída com base na experiência da equipe, em geral fruto da interação entre os participantes, conduzida em um ambiente de *brainstorming*, em que todos podem se manifestar (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

*Elemento #4 - Efeitos:* Nesta etapa deve ser descrito as consequências dos modos de falhas, o que os clientes sentem quando esse modo de falha potencial ocorre? Ao desenvolver esta etapa, se torna fundamental a contribuição do cliente.

*Elemento #5 - Severidade:* Qual a gravidade do efeito do modo de falha? Neste item é feita uma avaliação qualitativa de severidade do efeito listado na coluna anterior.

A severidade é medida por uma escala de 1 a 10, onde 1 significa efeito pouco severo e 10 significa muito severo. Lafraia (2001) sugere o uso do critério apresentado na Tabela 2.

*Elemento #6 – As Causas:* Para cada modo de falha potencial, devem-se listar todas as causas ou razões possíveis que poderiam resultar nesse modo de falha. A causa potencial de falha pode ser entendida como uma deficiência no processo, cuja consequência é o modo de falha.

Tabela 1– Modelo de Tabela FMEA

N° FMEA:										Resp.:								
Máquina:										Data:								
Processo:										REV.:								
Conjunto	Função do processo	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potencial da Falha	SEV	Causa(s) e Mecanismo (s) Potencial da Falha	OCO	Controles Atuais do Processo Prevenção	Controles Atuais do Processo Detecção	DET	RPN	Ações recomendadas	Resp.	Prazo	Ações tomadas	New SEV	New OCC	New DET	New RPN

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 2 – Escala do índice de severidade do efeito

<b>Severidade</b>	<b>Descrição</b>	<b>Índice</b>
Muito alta	Envolve riscos à operação segura do sistema e/ou descumprimento dos requisitos legais.	<b>10</b>
		<b>9</b>
Alta	Provoca um alto grau de insatisfação do cliente. O sistema se torna inoperante. A falha não envolve riscos a segurança operacional ou descumprimento de requisitos legais.	<b>8</b>
		<b>7</b>
Moderada	A falha ocasiona razoável insatisfação ao cliente. O cliente ficará desconfortável e irritado com a falha. O cliente notará razoável deterioração no desempenho do sistema.	<b>6</b>
		<b>5</b>
Baixa	A falha causa pequenos transtornos ao cliente. O cliente notará, provavelmente, leves variações no desempenho do sistema.	<b>4</b>
		<b>3</b>
Mínima	A falha não teria efeito real no sistema. O cliente, provavelmente, nem notaria a falha.	<b>2</b>
		<b>1</b>

Fonte: Lafraia, 2001

*Elemento #7 – A Ocorrência:* Qual a chance desta causa estar realmente ocorrendo? A ocorrência relaciona-se com a probabilidade que uma causa/mecanismo listado anteriormente venha a ocorrer. A avaliação da ocorrência é feita em uma escala de 1 a 10. A Tabela 3 apresenta o critério de avaliação sugerido Lafraia (2001).

Tabela 3 – Escala do índice de ocorrência de falha

<b>Frequência de Falha</b>	<b>Possíveis Taxas de Falha</b>	<b>Índice</b>
Muito alta: falha é quase inevitável	1 em 2	<b>10</b>
	1 em 8	<b>9</b>
Alta: falhas repetidas	1 em 20	<b>8</b>
	1 em 40	<b>7</b>
Moderada: falhas ocasionais	1 em 80	<b>6</b>
	1 em 400	<b>5</b>
	1 em 1000	<b>4</b>
Baixa: relativamente poucas falhas	1 em 4000	<b>3</b>
	1 em 200000	<b>2</b>
Remota	$\leq 1$ em 1000000	<b>1</b>

Fonte: Lafraia, 2001

*Elemento #8 – Formas de Controles:* Que tipos de controles foram planejados ou estão em vigor para garantir que todos os modos de falha sejam identificados e eliminados. O uso de dispositivos a prova de erros (*Poka-Yoke e Error Proofing*), controle estatístico, inspeção

final são muito comuns na indústria automobilística. As escalas para ocorrência e detecção devem ser baseadas nesses controles.

*Elemento #9 – A Detecção:* Qual a chance de detectar o modo de falha ou das causas que resultam nesse modo de falha? A detecção refere-se a uma estimativa dos controles atuais em detectar causas ou modos potenciais de falha antes de o componente passar para a operação posterior. Também é utilizada uma escala de qualitativa de 1 a 10, onde 1 representa uma situação favorável (modo de falha será detectado), e 10 representa uma situação desfavorável (modo de falha, caso existente, não será detectado). Lafraia (2001) sugere a utilização do critério apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Escala do índice de possibilidade de detecção

<b>Detecção</b>	<b>Detecção do Efeito</b>	<b>Índice</b>
Absolutamente indetectável	O modo de falha não será detectável com certeza.	<b>10</b>
Muito baixa	O modo de falha é provavelmente muito pouco detectável.	<b>9</b>
Baixa	Não é provável que o modo de falha seja detectável.	<b>8</b> <b>7</b>
Moderada	Há 50% de chance de detectar o modo de falha.	<b>6</b> <b>5</b>
Alta	Há boa chance de detectar o modo de falha.	<b>4</b> <b>3</b>
Muito Alta	O modo de falha será, certamente, detectado durante a operação do sistema.	<b>2</b> <b>1</b>

Fonte: Lafraia, 2001

*Elemento #10 – Ações Recomendadas:* Quais as ações recomendadas para prevenir os problemas potenciais, reduzir a severidade e as consequências dos problemas potenciais, aumentar a probabilidade de detectar os problemas potenciais? Objetivamente, as ações recomendadas representam o que será corrigido e melhorado no processo. Assim, elas constituem o principal resultado da FMEA.

*Elemento #11 – A Situação das Recomendações:* Frequentemente, as ações recomendadas feitas para abordar um problema potencial identificado na FMEA são implementadas sem a avaliação adequada dos custos de implementação e benefícios de qualidade e confiabilidade resultantes previstos por essas ações recomendadas, por isso, é de

suma importância a avaliação de viabilidade financeira e de retorno esperado para as ações recomendadas.

Palady (1997), defende duas diretrizes a respeito da interpretação do uso da ferramenta FMEA, porém neste trabalho será abordado somente a diretriz que prioriza o uso do RPN (*Risk Priority Number*) no processo decisório. Essa diretriz sugere que os mais altos Graus de Prioridade de Risco garantem as primeiras considerações de melhorias na análise e alocação de recursos, assim, a equipe deve concentrar esforços nos modos de falha que apresentarem RPNs mais elevados.

O risco é calculado para priorizar as ações de correção e melhoria do processo. No cálculo do risco leva-se em conta a severidade, ocorrência e detecção. A equação empregada para avaliação do risco é a multiplicação desses três itens, conforme a equação (28):

$$RPN = S \times O \times D \quad (28)$$

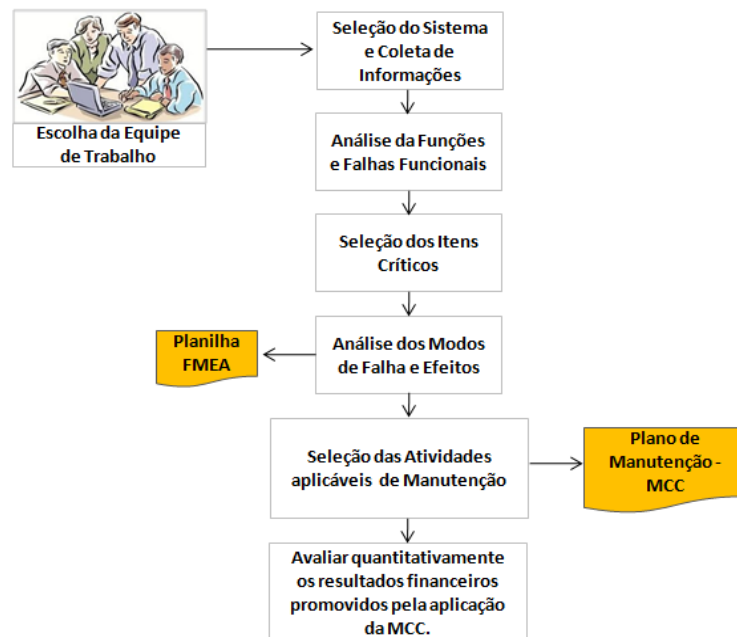
Como pode ser visto, o risco cresce à medida que cresce a severidade, a probabilidade de ocorrência e a probabilidade de não-detecção. O valor do risco pode variar entre 1 e 1.000, e a equipe deve concentrar esforços nos itens em que o risco é maior.

### 3. IMPLEMENTAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE EM UM PROCESSO DA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA

Conforme mencionado anteriormente, a MCC visa, dentre outros objetivos: (i) preservar as funções do sistema; (ii) identificar os modos de falha que possam interromper as funções do sistema; (iii) priorizar as necessidades das funções; (iv) selecionar apenas as tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas; e (v) determinar periodicidades ótimas para as atividades de manutenção, de modo a elevar a confiabilidade do sistema. De maneira a atender os objetivos da MCC, busca-se, em nível de sistema, determinar as funções, falhas funcionais, modos de falha, causa e efeito da falha e as estratégias de manutenção com vistas à preservação das funções do sistema. De tal forma, a operacionalização da MCC apoia-se nas etapas sugeridas no capítulo 2: (i) Escolha e capacitação da equipe (ii) seleção do sistema e coleta de informações; (iii) análise das funções e falhas funcionais; (iv) análise dos modos de falhas e seus efeitos; (v) determinação do plano de manutenção; (vi) Avaliar quantitativamente os resultados financeiros promovidos pela aplicação da MCC.

A Figura 6 apresenta tais etapas, as quais são detalhadas na sequência.

Figura 6 – Etapas para implementação da MCC



Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.1 ESCOLHA E CAPACITAÇÃO DA EQUIPE

Todas as pessoas envolvidas na implementação da MCC devem possuir um conhecimento básico de conceitos de confiabilidade, falhas funcionais, padrões de falha, redundância, FMEA, manutenção preventiva, manutenção preditiva, manutenção corretiva, diagrama de decisão da MCC e etapas de implantação da metodologia. De tal forma, engenheiros e gestores são candidatos naturais na composição da equipe.

Uma vez escolhidas as pessoas que irão fazer parte do grupo de implementação da MCC, se torna fundamental capacitar à equipe que participará ativamente do trabalho. Alguns conceitos-chave para a implementação da metodologia devem ser entendidos por todos, como falhas escondidas, componentes críticos, componentes potencialmente críticos, análise de falhas simples ou múltiplas, análise de modos e efeitos de falha e redundância. Tais termos são agora explicados: (i) falhas escondidas são aquelas que não são detectadas quando ocorrem porque existe algum tipo de redundância que assegura que a função continue desempenhando o seu objetivo. A ocorrência de falhas escondidas reduz a confiabilidade estabelecida no projeto, por isso, ressalta-se a importância de identificar e monitorar eventuais ocorrências; (ii) componentes críticos são aqueles cuja falha conduz imediatamente ao não cumprimento de uma função do sistema. Esses componentes devem receber a maior atenção nas atividades de manutenção preventiva e preditiva, pois sua falha tem consequências instantâneas; (iii) componentes potencialmente críticos são aqueles cuja falha não interrompe alguma função do sistema, porém diminuem a confiabilidade do sistema. As falhas nestes componentes deixam o sistema vulnerável, de maneira que a falha em outro componente possa interromper a função do sistema; (iv) a análise de falhas simples é apropriada para sistemas em série, em que a falha de um componente conduz a falha imediatamente à interrupção de uma função do sistema. A análise de falhas múltiplas é apropriada para sistemas que possuem redundância, cuja interrupção de uma determinada função do sistema dependa da ocorrência de mais de uma falha; e (v) redundância significa que há mais de um componente disponível para realizar uma determinada função.

### 3.2 SELEÇÃO DO SISTEMA E COLETA DE INFORMAÇÕES

A MCC requer que as informações referentes à confiabilidade dos componentes estudados estejam disponíveis. Para tanto, é essencial gerar um banco de dados que armazene,



registre e classifique as informações a respeito do equipamento em análise. Entre outros campos, o banco de dados deve conter a indicação do equipamento, data e hora da falha, modo de falha, causa da falha, classificação da falha (elétrica/mecânica/crítica/potencialmente crítica), ação corretiva, data e hora do retorno à operação. Esta etapa é de fundamental importância para a implementação do processo de MCC.

De acordo com Fogliatto e Ribeiro (2009), o banco de dados é importante para definir a estrutura de sistema/equipamento/componente que será atualizada em todas as análises de FMEA, a estrutura de programação de atividades de manutenção e as estruturas de registro de intervenções. Além disso, o banco de dados irá permitir a realização de estudos formais de confiabilidade que conduzam as estimativas de taxas de falha e priorização de componentes em função da intensidade de ocorrência de falhas. Estes estudos servirão de base para o dimensionamento das atividades de manutenção.

Para escolha do sistema, devem-se levar em consideração os seguintes critérios: altas taxas de falha, tempo e custos de reparo, impacto na segurança, impacto ambiental, impacto na produção e complexidade técnica. Rausand (1998), afirma que a seleção do sistema com maior criticidade é importante para não se perder tempo na análise de sistemas ou equipamentos que não trarão um retorno significativo com a aplicação da metodologia.

A classificação dos equipamentos com maior criticidade no processo em estudo está baseada na Tabela 5; esta tabela é utilizada para classificar e definir a criticidade de cada equipamento de acordo com o risco e os fatores de impacto em caso de falha/quebra, seguindo os conceitos da MCC. Os critérios de avaliação de criticidade dos equipamentos são apresentados a seguir: (i) apresenta risco pessoal, ambiental ou danos? (ii) Afeta Produção ou Qualidade?, (iii) É vital e único?, (iv) A ocupação deste equipamento é integral?, (v) O tempo/custo de reparo é elevado?, (vi) É de difícil acesso?, (vii) Tem histórico de falha elevado?, (viii) É um ativo de complexidade técnica elevada?

O sistema classificado como “A0” na planilha de criticidade e priorização, será potencial candidato à aplicação da MCC, pois esta classificação denota um alto risco para pessoas, ambiente e danos gravíssimos.

Tabela 5 – Critérios para classificação dos equipamentos

<b>Prioridade</b>	<b>Sistema Maximo</b>	<b>Estratégia de Manutenção</b>	<b>Estratégia de peças de reposição</b>
A0	9 Impacto imediato para as operações, sem backup	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Avaliar dispositivo para um monitoramento contínuo</li> <li>· Otimizar os métodos preditivos ou preventivos</li> <li>· Aplicar Manutenção do Operador</li> <li>· Elimine tarefas redundantes e ordens de serviço</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Revisão histórico de falhas</li> <li>· Identificar as partes críticas baseadas em FMEA / Histórico e plano de manutenção</li> </ul>
A1	8 Impacto ao turno atual, nenhum backup	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Revisar tarefas, duração da atividade e a frequência</li> <li>· Manter registros precisos e histórico de falhas</li> <li>· Deve ter FMEA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Determinação local para armazenamento com base no impacto</li> </ul>
A2	7 Alto impacto para as operações, sem backup		
B1 To B30	6 Alto impacto para as operações, com backup; manual ou aut.	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Revisão para backup Man. / aut; usar trabalho padrão</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Revisão do histórico de falha</li> </ul>
B31 to B60	5 Impacto nas operações, sem backup	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Otimizar os métodos preditivos ou preventivos</li> <li>· Aplicar Manutenção do Operador</li> <li>· Revisão dos tipos de manutenção realizadas</li> <li>· Reduzir a frequência e redundância</li> <li>· Revisão / tarefas, duração da atividade e a freq.</li> <li>· Manter registros precisos e histórico de falhas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Revisão do plano de manutenção</li> <li>· Ajustar os parâmetros de gerenciamento de inventário e locais com base em revisão dos planos de manutenção</li> </ul>
B61 to B93	4 Impacto nas operações, com o backup - manual ou aut.	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Usar manutenção preventiva</li> <li>· Reduzir a frequência, as tarefas e redundância</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Sem peças no estoque central</li> </ul>
C1 to C46	3 Impacto fora de sazonalidade para operações		
C47 to C84	2 Nenhum impacto para as operações, custo elevado de reparo	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Reparar após a falha</li> <li>· Eliminar todas as tarefas agendadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Sem peças no estoque central</li> </ul>
C85 to C128	1 Nenhum impacto p/ as operações, custo reduzido de reparo		
	0 Fora de serviço		

Fonte: Documentação interna General Motors

### 3.3 ANÁLISE DAS FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS

Nesta etapa analisam-se as funções e as respectivas falhas funcionais do sistema ou equipamentos abordados na implantação da MCC, bem como define-se o padrão de desempenho esperado para cada sistema/equipamento. A função refere-se a qualquer atividade que o item desempenha, sob o ponto de vista operacional; sugere-se evitar o uso de nomes de componentes na descrição das funções. Também é importante não confundir a função do componente com a utilidade que o mesmo tem para o usuário; por exemplo, a função de um lápis não é escrever, quem escreve é o usuário do lápis.

As funções podem ser principais ou secundárias; as principais exprimem o motivo pelo qual o item existe, e são normalmente dadas pelo nome do componente. As funções secundárias são menos óbvias que as primárias, mas contribuem para aumentar o valor agregado do item e para sua qualidade, por exemplo, a aparência do item (LAFRAIA, 2001; KARDEC; NASCIF, 1998; FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Uma falha funcional é definida como a incapacidade de qualquer item em atingir o padrão de desempenho esperado. Os padrões de desempenho devem ser estabelecidos em conjunto com a engenharia, produção e manutenção, no caso de uma FMEA realizada durante uma análise de MCC. O time de implantação da MCC irá discriminar em um formulário padrão as funções e as falhas funcionais de cada conjunto do sistema. A descrição das funções deve ser clara, utilizando um verbo para descrever a ação (ex.: Içar unidades). As falhas funcionais são esclarecidas como a incapacidade do componente exercer aquilo pelo qual foi projetado, e devem ser descritas de forma clara e objetiva.

### 3.4 ANÁLISE DOS MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS

Nesta etapa, utiliza-se a FMEA para identificar e documentar as funções e modos de falhas do sistema em análise, assim como os efeitos adversos produzidos por elas e a criticidade ou a severidade do efeito. Para construção da FMEA, conforme ilustrado na Tabela 1, deve-se descrever os modos e efeitos de falhas relacionados a cada conjunto. Nas colunas “SEV”, “OCO” e “DET” deve-se estabelecer uma pontuação para cada efeito dos modos de falha, seguindo as escalas apresentada nas Tabela 2,3 e 4 da seção 2.5.1. Na coluna “RPN”, é calculado o risco, conforme detalhado e apresentado na equação (28).

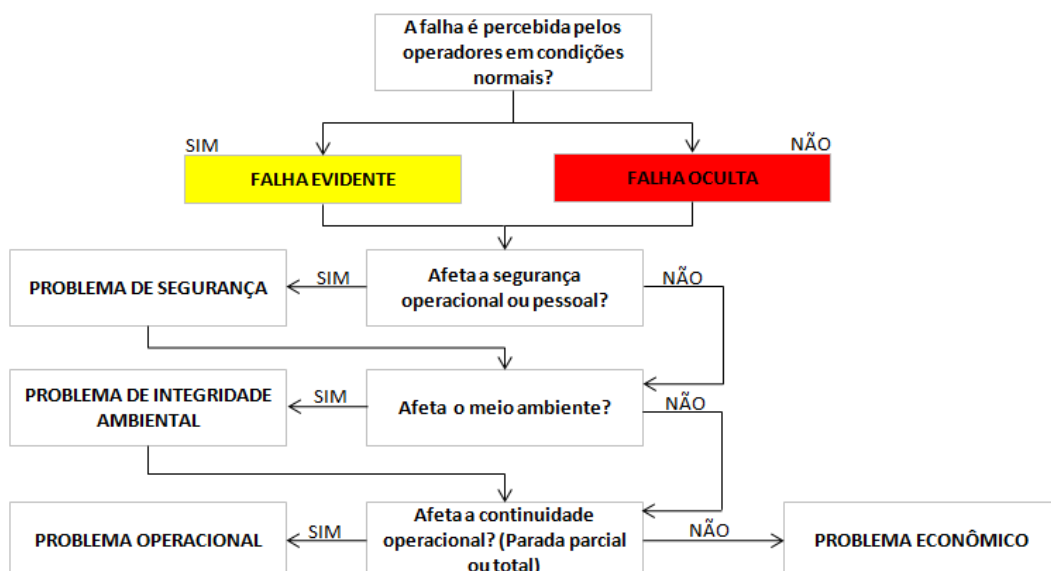
O valor do risco servirá para disparar ações de correção do projeto; contudo, sabendo que diferentes equipes podem ser mais ou menos rigorosas na avaliação de severidade, ocorrência e detecção, recomenda-se utilizar o princípio de Pareto, atuando nos itens que apresentam maior risco, independente do valor obtido (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

### 3.5 SELEÇÃO DAS TAREFAS DE MANUTENÇÃO E ELABORAÇÃO DO PLANO DE MANUTENÇÃO

Nesta etapa, as atividades de manutenção são especificadas para um determinado modo de falha e seguem um processo estruturado que leva em conta a adequação e a efetividade de cada tarefa. A MCC estrutura este processo de forma a maximizar os resultados econômicos e operacionais, sujeito às restrições de segurança e proteção ao meio ambiente. As ferramentas básicas para o desenvolvimento dessa etapa são a Árvore Lógica de Decisão e o Diagrama de Decisão para Seleção das Tarefas de Manutenção.

A análise da Árvore Lógica de Decisão ilustrada na Figura 7 permitirá classificar cada modo de falha em uma das quatro categorias: (i) relacionado com segurança; (ii) relacionado com integridade ambiental; (iii) relacionado com problema operacional; e (iv) relacionado com perdas econômicas.

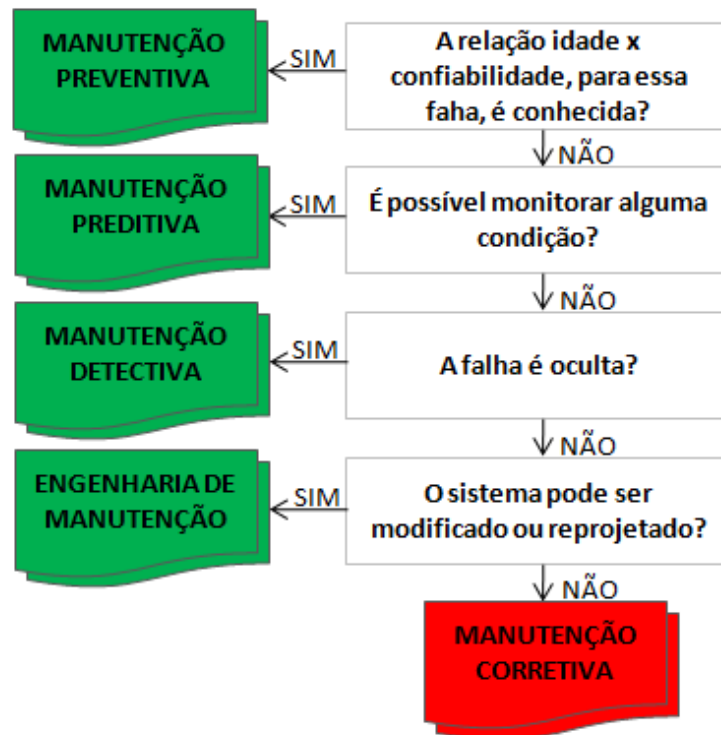
Figura 7– Árvore Lógica de Decisão



Fonte: Adaptação feita a partir de Kardec e Nascif (2012)

Por sua vez, o diagrama de decisão para seleção de tarefas, ilustrado na Figura 8, é utilizado para especificar as tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas. Para cada tipo de efeito de falha determinado na FMEA, é possível estabelecer o tipo de manutenção seguindo o diagrama de decisão.

Figura 8 – Diagrama de decisão para seleção das tarefas de manutenção



Fonte: Adaptação de Kardec e Nascif (2012)

Para a elaboração do plano de manutenção, recomenda-se o envolvimento do time de implementação da metodologia MCC, visto que os integrantes do grupo devem estar alinhados com as novas estratégias de manutenção aplicadas ao processo. De acordo com Siqueira (2005), o plano de manutenção representa a peça principal de um sistema de gestão da manutenção, visto que contém a especificação de cada atividade de manutenção recomendada para cada equipamento e modo de falha, com a respectiva frequência de execução recomendada pela MCC.

O plano de manutenção deve contemplar: (i) como a falha pode ser prevenida? (ii) tipo de manutenção a ser adotado; (iii) descrição das tarefas que compõem a manutenção; (iv)

frequência determinada para cada plano, e o responsável por cada tarefa, conforme Tabela 6 - formulário de decisões de MP.

A equipe de PCM (planejamento e controle de manutenção) é responsável por desenvolver e implantar os planos de manutenção. Os planos são elaborados a partir dos manuais técnicos, recomendações do fabricante do equipamento, histórico de falhas de cada equipamento e também da própria experiência acumulada pela equipe de implementação da MCC.

Para garantir a eficácia na execução das atividades de manutenção implementadas, torna-se necessário seguir um padrão de desenvolvimento do plano de trabalho de manutenção. Neste documento devem constar detalhadamente todas as etapas a serem executadas, permitindo ao técnico de manutenção ou responsável pela execução garantir a eficácia do plano. Após o estabelecimento do plano de manutenção, deve ser calculado o risco resultante para o novo cenário, conforme ilustrado na coluna (NEW RPN), da Tabela 6.

O procedimento proposto para avaliar quantitativamente os resultados promovidos pela aplicação da MCC nos equipamentos de manutenção consiste em:

- a) levantar o histórico de paradas do sistema que levaram à classificação do tipo “A0” definido na Tabela Classificação e priorização de equipamentos;
- b) extrair os equipamentos com maior número de falhas que compõem este sistema; e
- c) realizar a análise de confiabilidade antes e depois da aplicação da MCC, determinando a distribuição probabilística e testes de aderência para os equipamentos com maior número de falhas extraídos do Sistema.

Tabela 6 – Formulário de decisões do Plano de MP

CONJUNTO	SUBCONJUNTO	FUNÇÃO DO PROCESSO	MODO DE FALHA	RISCO	CLASSIFICAÇÃO DO EFEITO	TIPO DE MANUTENÇÃO	PLANO DE MANUTENÇÃO PROPOSTO			JUSTIFICATIVA DA ATIVIDADE	NOVO CENÁRIO			
							DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE	FREQUÊNCIA	RESP.		SEV	OCO	DET	NEW RPN

Fonte: Adaptado de Lafraia (2001).

## 4. IMPLEMENTAÇÃO DA MCC

### 4.1 EMPRESA E PROCESSO SOB ANÁLISE

A General Motors Corporation foi fundada em Flint – Michigan em 16 de setembro de 1908 por William Durant. A General Motors do Brasil foi fundada em 1924 no bairro do Ipiranga em São Paulo, mas as operações de montagem completa de veículos nacionais iniciaram efetivamente em 1930 com a inauguração da unidade de São Caetano do Sul, no ABC paulista. Em 1958 iniciaram as operações da segunda unidade da empresa, em São José dos Campos. Em 2000 foi inaugurada a unidade de Gravataí no Rio Grande do Sul onde, atualmente, a GM produz os veículos Prisma e Onix. Nessa unidade são produzidos aproximadamente 350.000 automóveis por ano. A GM possui fábricas em 34 países e comercializa seus produtos em mais de 140 países. A GM do Brasil é a terceira principal montadora do país considerando o número de veículos vendidos no território nacional. Além das plantas de montagem de veículos, a GM possui fábricas de motores e transmissões, chamadas Powertrain. No Brasil, a Powertrain está localizada em São José dos Campos – SP e uma nova planta de usinagem de blocos e montagem de motores está instalada em Joinville – SC.

A implementação da metodologia MCC foi realizada na unidade de Gravataí, tida como uma planta modelo devido ao sistema (JIT - *Just in Time*) de fornecimento de peças desenvolvido em parceria com fornecedores chamados de Sistemistas que integram o CIAG – Complexo Industrial Automotivo de Gravataí. A principal característica desse sistema é a proximidade física da maior parte dos fornecedores de peças e subconjuntos demandados na montagem dos veículos, resultando em uma melhor comunicação e engajamento entre as empresas do Complexo, além da redução do risco de falta de peças e também dos custos operacionais. Além disso, a unidade é considerada, juntamente com outras poucas plantas inauguradas pela GM há menos de 15 anos (China, Polônia, Índia), como um Green Field (unidades caracterizadas pelo sistema enxuto de manufatura, ou *Lean Manufacturing*). O principal objetivo do sistema de manufatura enxuta é a eliminação de desperdícios operacionais.

A estrutura de Manutenção da GM de Gravataí é descentralizada, pois cada uma das áreas fabris (Prensas, Funilaria, Pintura e Montagem Geral) possui seu próprio setor de Manutenção constituído por uma equipe de Mecânicos, Eletricistas, Ferramenteiros e

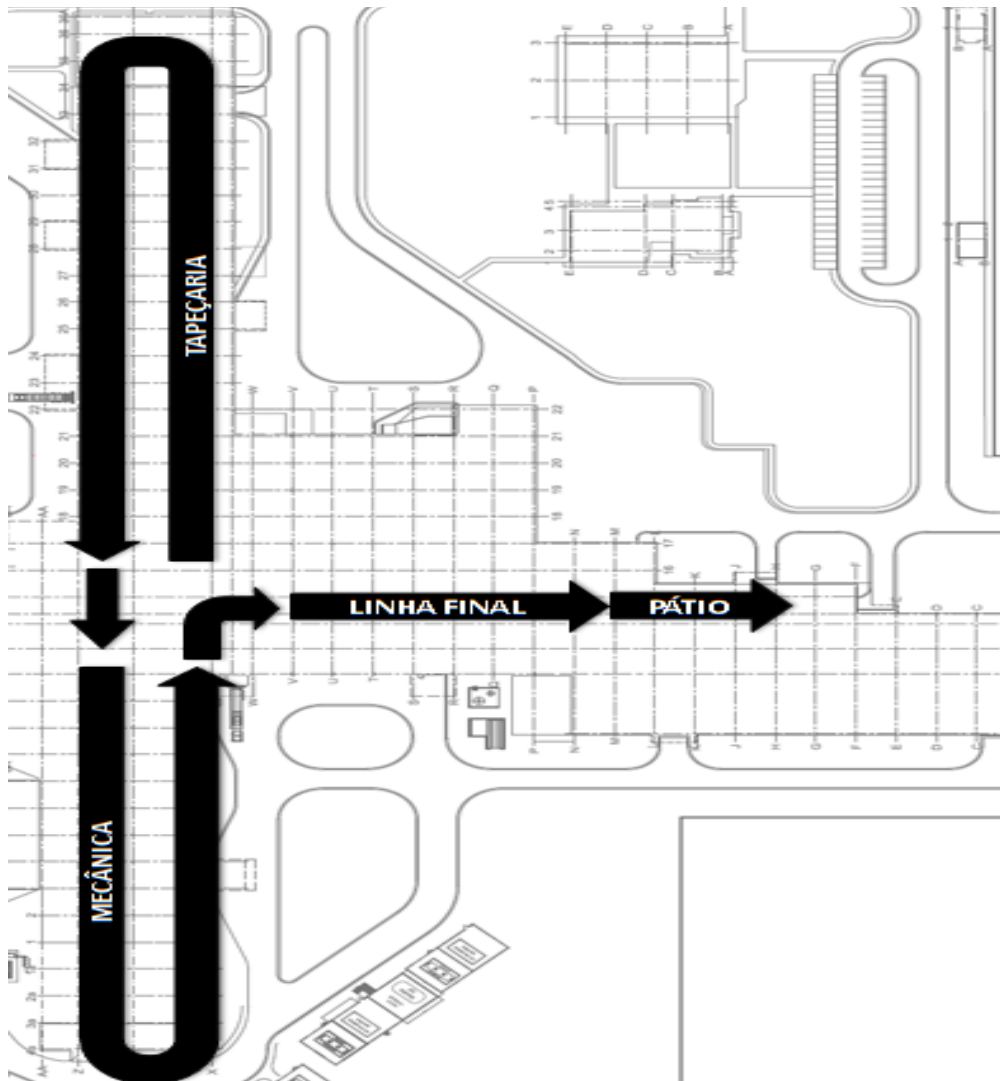


Especialistas que atuam diretamente na área (realizando atividades de Manutenção Preventiva, Preditiva e Corretiva) e de Planejadores (responsáveis pelo planejamento das atividades programada, gestão dos equipamentos e controle das peças de reposição). Essas equipes são lideradas pelos Facilitadores de Time, Líderes de Grupo e Superintendente Assistente, o qual se reporta ao Gerente de Produção. Além dos departamentos de Manutenção das Áreas, há ainda um setor de Manutenção Central, chamado de WFG – *Worldwide Facilities Group*, responsável pela manutenção predial e pelas utilidades. Há também na estrutura de Manutenção da GM um departamento de Manutenção Global, responsável por difundir as boas práticas de manutenção entre as plantas de todo o mundo. As plantas de cada região mantêm contato através de reuniões mensais coordenadas pela liderança regional da Manutenção Global situada em São Caetano do Sul - SP. Esse grupo também é responsável pela padronização entre as Manutenções da região e pelo gerenciamento do software de gestão de Manutenção utilizado em toda a corporação (Maximo® da IBM).

A MCC foi implementada nos Equipamentos Transportadores de automóveis que estão alocados no processo de Montagem geral, tida como última etapa da produção de veículos. Este processo está alocado em uma área de 38.000 m<sup>2</sup>, com 138 estações de trabalho e 1250 funcionários (diretos e indiretos). Tem capacidade produtiva de 65 veículos por hora, takt time de 56 segundos e *lead time* de 2h10min para a produção de um veículo. Trabalha atualmente em 2 turnos de produção, com volume de 980 unidades/dia.

O processo da montagem geral é dividido em 4 etapas: a) Tapeçaria: montagem de componentes do interior do veículo e itens de estética, como forro do teto, painéis internos, tapete, faróis, vidros e painel de instrumento, dentre outros; b) Mecânica: montagem de componentes mecânicos e funcionais, como motor, suspensão, tanque de combustível e rodas, dentre outros; c) Final: montagem de componentes finais e programação de veículo; e d) Pátio: testes de validação do veículo, reparos e ajustes. A Figura 9 ilustra, de forma simplificada, o fluxo do processo de montagem com as etapas descritas anteriormente.

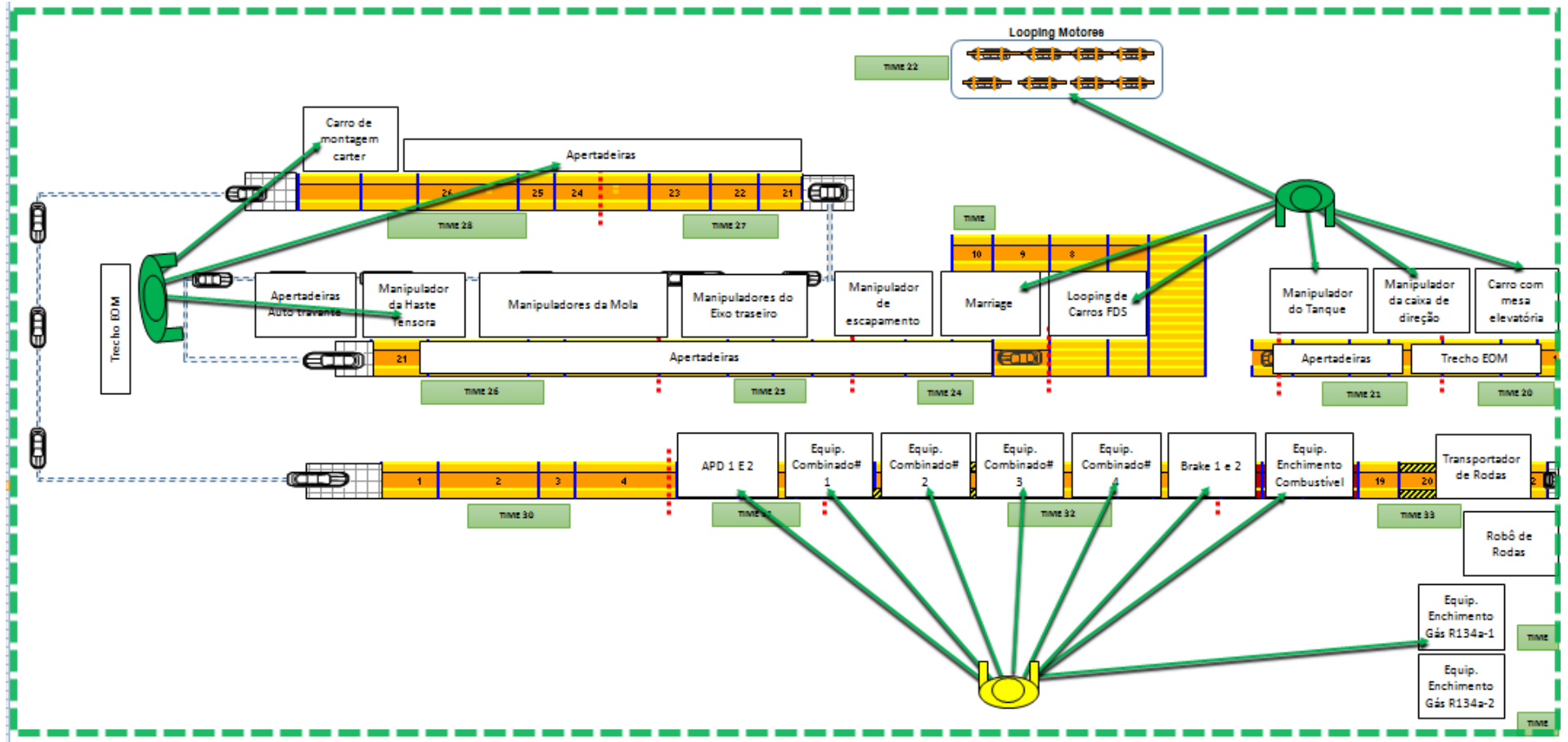
Figura 9 – Fluxo do Processo da montagem de veículos



Fonte: Elaborador pelo autor

A Figura 10 apresenta a distribuição estratégica dos técnicos de manutenção responsáveis no atendimento da linha de produção. Estes técnicos são responsáveis também pela execução de tarefas do tipo *on-line*, isto é, manutenções realizadas durante o processo produtivo, este tipo de manutenção não necessita a interrupção do processo, e geralmente é realizada próxima à linha de produção. Na seção 4.2 será abordado mais detalhadamente o funcionamento das manutenções do tipo *on-line*.

Figura 10 – Layout de distribuição estratégica dos técnicos de atendimento de linha



Fonte: Elaborado pelo autor

## 4.2 MANUTENÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DA MONTAGEM GERAL

Dentro do processo de montagem geral, o departamento de manutenção é responsável direto pela manutenção de todos os equipamentos de processo (transportadores, robôs, ferramentas de aperto, etc.), realizando as intervenções corretivas, preventivas e preditivas, bem como suporte e auxílio à área produtiva. Além disso, realiza melhorias e projetos da linha de produção.

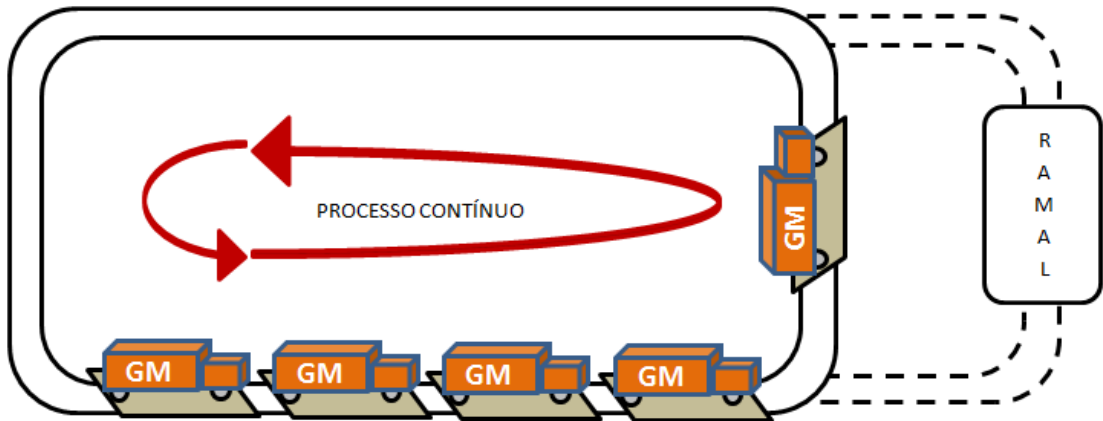
O departamento de manutenção apresenta um sistema de gerenciamento estruturado e estabelecido, tendo o plano de manutenção como base. O plano de manutenção é elaborado a partir das recomendações do fabricante do equipamento, nos relatórios extraídos do sistema (MAXIMO® IBM), e também da própria experiência acumulada pela equipe na manutenção de equipamentos similares. Esta experiência e conhecimento são consolidados nos padrões de manutenção, que passam a ser a origem das informações do plano. Os eventos de manutenção (falhas, quebras e paradas) são registrados e analisados através do sistema (MAXIMO® IBM). Estas informações servem para elaborar e revisar periodicamente o plano de manutenção, através do qual é possível dimensionar os recursos de mão-de-obra e materiais que atendam às necessidades de manutenção dos equipamentos.

O sistema (MAXIMO® IBM) possibilita integrar os dados e informações relativos à manutenção, fornecendo um ponto único de controle para todos os tipos de equipamentos, ativos, infraestrutura e instalações e permitindo o compartilhamento e cumprimento das melhores práticas, inventários, recursos e equipes. Esta ferramenta possibilita ao departamento um gerenciamento abrangente da manutenção e do ciclo de vida dos equipamentos.

As manutenções do tipo preventivas são geradas a partir de uma frequência determinada e alocada no sistema de gerenciamento de manutenção, responsável pela geração das ordens de serviço. As manutenções preventivas do setor de montagem são divididas em dois grupos:

- Preventivas *on-line*: este tipo de preventiva pode ser realizado com a linha de produção a pleno, não necessitando de linha parada; a manutenção preventiva do tipo *on-line* é realizada nos ramais de manutenção. Já no caso do ramal de manutenção, o equipamento sai do circuito produtivo e é desviado para o ramal, assim o processo contínuo não é afetado e a manutenção é realizada. A Figura 11 ilustra uma linha contínua com um ramal dedicado à realização de manutenções.

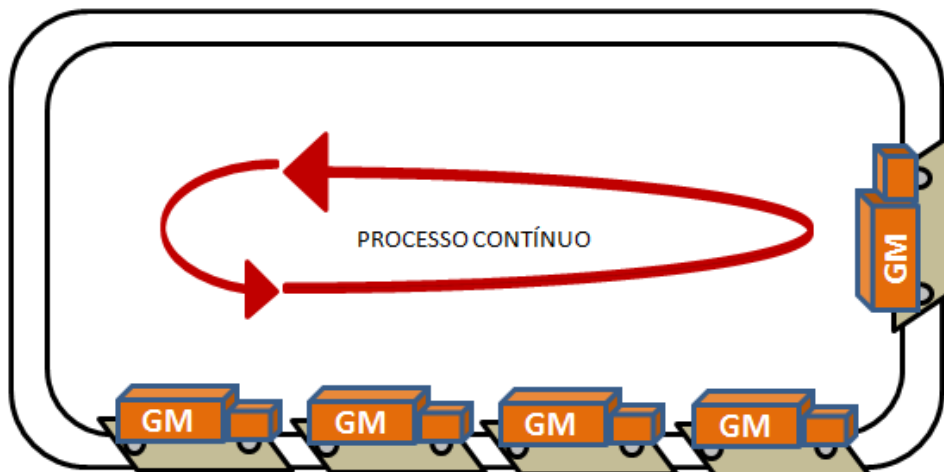
Figura 11 – Processo contínuo com ramal de manutenção



Fonte: Elaborado pelo autor

- Preventivas *off-line*: este tipo de manutenção preventiva não pode ser realizada com a linha em funcionamento. A Figura 12 ilustra um processo produtivo contínuo sem o recurso ramal para manutenções; a realização de intervenções preventivas nestes equipamentos requer parada da linha de produção. As manutenções nestes equipamentos geralmente são realizadas nos finais de semanas e períodos de interrupções da produção, como férias coletivas e feriados.

Figura 12 – Processo de produção contínuo sem ramal de manutenção



Fonte: Elaborado pelo autor

### 4.3 ESCOLHA E CAPACITAÇÃO DA EQUIPE

Para se definir os integrantes do grupo de MCC, foi realizada uma reunião com o superintendente de manutenção e gerente de produção da área, visando indicar potenciais colaboradores que demonstrassem capacidade, conhecimentos técnicos, habilidades de processo e entusiasmo para implementação de melhorias.

Com o objetivo de nivelar o conhecimento a respeito da MCC, métodos de manutenção e pontos básicos de confiabilidade, realizou-se o treinamento em MCC, do qual participaram, além do autor deste trabalho, 2 técnicos de planejamento, 1 superintendente, 1 líder, 1 facilitador, 3 técnicos, 1 engenheiro de processos, 1 líder de produção e 1 operador de produção, totalizando 12 integrantes das diversas áreas envolvidas no processo em que os equipamentos avaliados neste estudo estão instalados e operando. Para cumprir o objetivo do treinamento, realizou-se uma campanha de divulgação do novo modelo de manutenção, focando-se na importância da realização de uma manutenção de excelência nos equipamentos.

A estruturação do treinamento levou em consideração os seguintes fatores: (i) foi fundamental realizá-lo no horário de expediente; (ii) fez-se necessária a convocação de toda a equipe, considerados indispensáveis representantes dos setores de manutenção e produção; (iii) para atingir todos os níveis, o grupo de MCC foi integrado por representantes das principais áreas envolvidas no processo produtivo; (iv) destinou-se uma sala no escritório de manutenção exclusiva para o treinamento; assim, concluída a etapa de treinamentos, a sala foi dedicada ao projeto de implementação da metodologia e acompanhamento dos resultados; e (v) foi determinado que houvesse uma reunião semanal para apresentar a evolução e as dificuldades encontradas.

### 4.4 SELEÇÃO DO SISTEMA E COLETA DE INFORMAÇÕES

A seleção do sistema em que a MCC foi implementada iniciou com um levantamento de criticidade de todos os sistemas e equipamentos da área de montagem. A classificação dos equipamentos (ranking de criticidade e riscos) permitiu priorizar equipamentos onde os esforços de melhoria resultaram em maior benefício. De tal forma, todos os equipamentos em atividade foram classificados quanto ao seu grau de importância no processo.

Após realizado o levantamento de equipamentos críticos definidos mediante critérios da planilha de priorização, verificou-se que o Sistema de Transporte de Unidades apresentou a

classificação “A0”, definida como classificação prioritária para implementação de atividades preventivas orientadas pela metodologia MCC. A Tabela 7 apresenta este resultado após a classificação dos equipamentos.

Os dados de tempos até falha dos equipamentos em estudo foram coletados através do *software* RS Paradas, que se trata de uma aplicação local da empresa, desenvolvida como banco de dados MS Access®. As falhas ocorridas nos equipamentos do processo produtivo são registradas automaticamente através do Controlador Lógico Programável (CLP) específico de cada equipamento, e posteriormente enviadas ao RS Paradas para compilação. O *software* registra quatro informações da falha: data início, hora início, data fim e hora fim. O registro destas falhas pode ser extraído do banco de dados e convertidos em formato de planilha eletrônica, assim foram extraídos os dados de falhas dos equipamentos e separados por período de ano de ocorrência, de junho a dezembro de 2014 para a primeira análise antes da implementação da metodologia, e um período de março a agosto de 2015 para a análise de pós MCC.

#### 4.4.1 ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DOS EQUIPAMENTOS

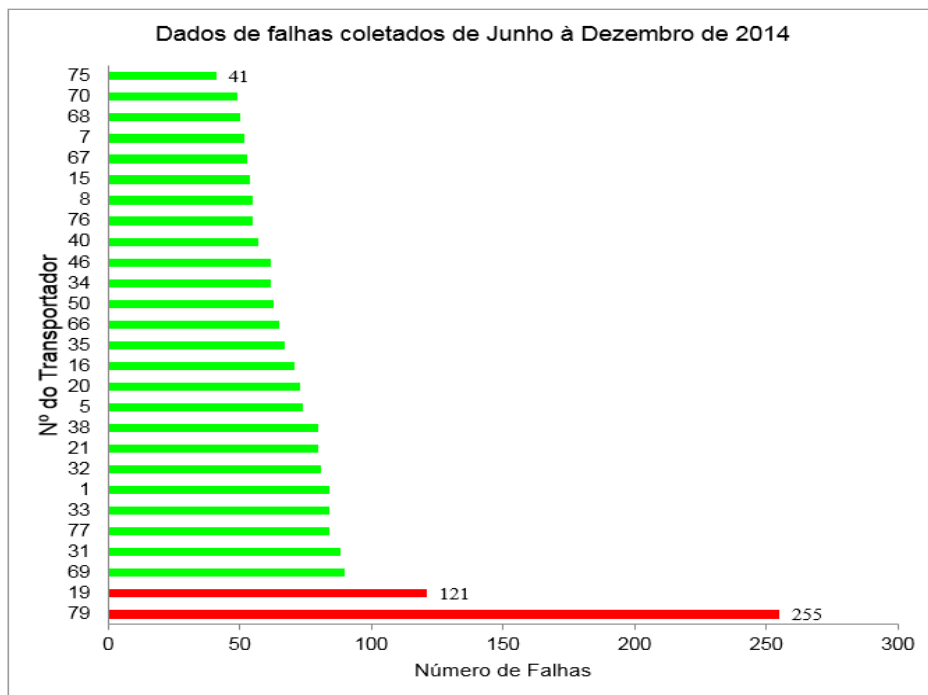
Posteriormente à classificação do Sistema Transportador de Unidades como “A0” (através da planilha de classificação e priorização), foram analisados os equipamentos com menor confiabilidade que integram este sistema. A modelagem dos tempos até falha de equipamentos que fazem parte do Sistema Transportador de Unidades justifica-se pelo fato de proporcionarem maior conhecimento acerca do comportamento da confiabilidade do sistema, permitindo ainda a estimativa de intervalos entre manutenções a partir do MTBF.





O levantamento histórico de falhas dos Transportadores de Unidades permitiu identificar que 2 dos 27 equipamentos respondem por 22,3% do número de falhas registradas no período de junho a dezembro de 2014. A Figura 13 ilustra o levantamento de dados de falhas dos equipamentos que integram o Sistema Transportador de Unidades.

Figura 13 – Gráfico de ranqueamento dos equipamentos com maior número de falhas que integram o Sistema Transportador de Unidades



Fonte: Elaborado pelo autor

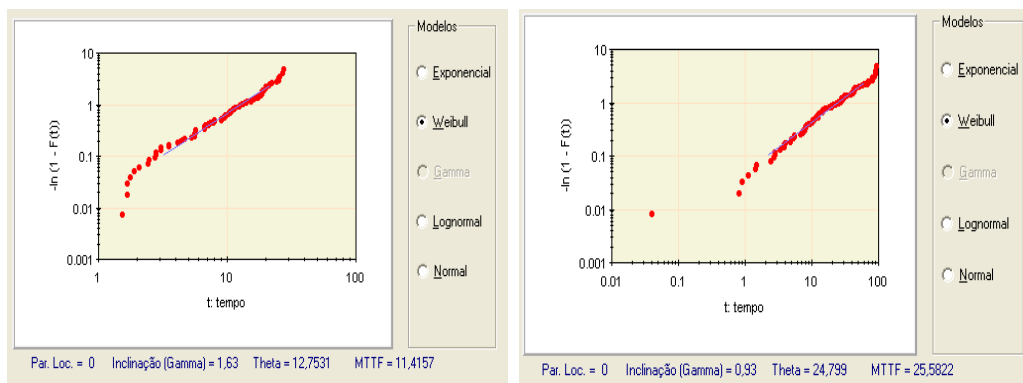
Os equipamentos com menor confiabilidade (em destaque na Figura 13) estão alocados no Sistema Transportador de Unidades do processo de montagem geral da linha mecânica; estes equipamentos são chamados de “Elefantes”, devido ao tamanho e por terem quatro suportes de sustentação que se assemelham as patas de um elefante. A Figura 19 apresentada na seção 4.8 ilustra estes equipamentos transportando unidades no processo contínuo.

Os dados de falhas dos equipamentos em análise (Transportador 79 e transportador 19) passam então a serem referenciados como equipamentos “A” e “B”, respectivamente. A fim de manter um padrão descritivo para os bancos de dados dos dois equipamentos, optou-se por denominar “Pré-MCC” o período de junho a dezembro de 2014 e de “Pós-MCC” o período de março a agosto de 2015.

Para estimar o modelo de distribuição de probabilidade dos tempos até falha dos equipamentos em análise foi utilizado o *software* Proconf 2000 (versão estudante). Inicialmente foi realizada uma seleção aleatória de 100 tempos até falha com o auxílio da função amostragem do MS Excel®, em razão da limitação do Proconf2000. Foi testado o ajuste dos dados às distribuições Exponencial, Weibull, Gamma, Normal e Lognormal, conforme indicado por Fogliatto e Ribeiro (2009).

Para o banco de dados Pré-MCC, dentre os ajustes obtidos, adotou-se o modelo Weibull de distribuição de probabilidade, este modelo apresenta características de flexibilidade e boa precisão, permite caracterizar falhas em qualquer período ou fase da vida de uma unidade (FOGLIATTO E RIBEIRO, 2009). Os tempos até falha dos equipamentos “A” e “B” antes e pós a implantação da metodologia possibilitaram obter os histogramas da função de confiabilidade  $R(t)$  a qual será apresentada na seção de resultados deste estudo. Conforme evidenciado na Figura 14, o modelo Weibull apresenta bom ajuste quando se verifica o papel de probabilidade dos dados históricos de falhas dos Transportadores “A” e “B” coletados no período pré-MCC.

Figura 14 - Papel de probabilidade Pré-MCC – Equipamentos: “A” e “B”



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.5 ANÁLISE DAS FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS

As funções e falhas funcionais dos equipamentos foram avaliadas com base nas informações obtidas no histórico de falhas. Constataram-se 23 funções primárias, a partir das quais foram analisadas as falhas funcionais de cada função, conforme apresentado na Tabela 8. Tais informações foram necessárias para alimentar a FMEA e identificar as atividades de manutenção recomendadas para cada conjunto dos equipamentos “A” e “B”.

Tabela 8 – Descrição das funções e falhas funcionais

<b>SISTEMA:</b> Transporte de Unidades	<b>ÁREA:</b> Montagem Geral	<b>Nº do Formulário:</b>
<b>EQUIPAMENTO:</b> Transportador	<b>DATA ORIGINAL:</b> 04/05/2015	<b>REVISÃO:</b> <b>ELABORADO POR:</b> Ramon Borba
<b>CONJUNTO</b>	<b>FUNÇÃO PRIMÁRIA</b>	<b>FALHA FUNCIONAL</b>
Motoredutor de elevação	Movimentar as unidades para cima e para baixo	Transportador não trocar altura nas necessidades do processo
Freio do motor da talha	Frear a talha	Transportador fora de posição desejada pelo processo
Cames de posicionamento de altura	Determinar a correta posição de altura do transportador	Transportador fora de posição desejada pelo processo
Conjunto de escovas	Transferir dados elétricos ao transportador	Transportador não movimentar
Talha	Içar unidades	Não içar unidades
Cofre de controle	Controlar posições e velocidades	Falha de posição e velocidade
Conversor do encoder	Converter dados de leitura do encoder	Falha de posição do transportador
Articulações mecânicas da tesoura frontal	Estruturar o transportador	Transportador desestruturado
Articulações mecânicas da tesoura traseira	Estruturar o transportador	Transportador desestruturado
Motoredutor de translação	Transladar transportador para frente e para trás	Transportador não rodar
Freio do motoredutor de translação	Frear o moto redutor de translado	Não frear ou ficar freado
Roda motriz	Rodar o transportador	Não rodar o transportador
Roda conduzida	Rodar o transportador	Não rodar o transportador
Rodas laterais	Rodar o transportador	Não rodar o transportador
Pino de articulação frontal	Manter unida as articulações	Não articular
Pino de articulação traseiro	Manter unida as articulações	Não articular
Sensor de leitura (OLM)	Fazer leitura correta	Não fazer leitura correta
Sensor anti-colisão	Detectar colisão	Não detectar colisão
Rabo de andorinha, anti-colisão mecânico	Detectar colisão	Não detectar colisão
Barramento elétrico	Fornecer dados elétricos as escovas	Não fornecer dados elétricos
Etiqueta de código de barras	Determinar posição física do processo	Não determinar posição
Junta de dilatação	Dilatar mecanicamente o trecho	Não dilatar o trecho
Painel de comunicação, DKZ	Enviar e receber dados	Falha de comunicação dos transportadores

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.6 ANÁLISE DOS MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS

Nesta etapa foi realizada a análise da FMEA, sendo utilizada a Tabela 1 para desenvolver a análise dos modos e efeitos de falhas dos equipamentos “A” e “B” para a implantação da metodologia MCC. Para tanto, seguiram-se os passos descritos na seção 2.5.1.

A Tabela 9 apresenta, para cada conjunto, a função do processo, o modo de falha potencial, o efeito potencial das falhas e a severidade de cada efeito sobre o sistema. Apresenta também a causa potencial para cada modo de falha e a ocorrência que diz respeito à probabilidade da causa acontecer. Por fim, a planilha apresenta os controles atuais utilizados para prevenir ou detectar a causa ou os respectivos modos de falha, seguido pelo nível de detecção e o RPN de cada modo de falha. Os maiores RPNs foram evidenciados nas causas potenciais de falhas listadas a seguir:

Conjunto de escovas com RPN de 240: O conjunto de escovas é composto por seis escovas e o custo unitário é de US\$28,00. A falha neste conjunto apresenta um risco muito elevado devido à dificuldade para realizar a manutenção; os técnicos de manutenção devem ser habilitados para trabalhos em altura e devem usar recursos como plataformas elevatórias, cintos de segurança, talabartes e capacetes com jugulares. Todo este procedimento demanda tempo de linha parada e risco de segurança altíssimo. Historicamente, este tipo de falha gera uma parada de linha em torno de 8 minutos, pois aconselha-se que seja efetuada a manutenção corretiva no ponto da falha, não levando o transportador até o ramal (devido à possibilidade de quebras em um número maior de escovas do que o inicial, tornando o custo da parada ainda maior).

Conjunto de sensor de leitura com RPN de 210: quando ocorre a falha no sensor de leitura, o transportador emite uma falha de posicionamento para o sistema. No mesmo momento, o sistema retorna um reset de falha, na tentativa de restabelecer o correto funcionamento. Se o sensor de leitura estiver fora de foco ou desalinhado, o modo de falha ocorrerá inúmeras vezes no decorrer do processo produtivo até que o equipamento seja segregado ao ramal de manutenção. Quando o modo de falha ocorre devido a esta causa, o processo fica vulnerável a falhas, tendo um impacto histórico de 3 a 4 minutos de paradas ao decorrer do processo (além da necessidade de acompanhamento de um técnico de manutenção até a saída do transportador para o ramal).

Sujeira na lente com RPN de 210: se o sensor de leitura estiver apresentando contaminações e sujidades na lente, o modo de falha percorrerá intermitentemente todo o circuito de produção, gerando paradas de linha em torno de 3 minutos, perda de produção e acompanhamento da equipe técnica de manutenção até que o equipamento seja retirado para o ramal de manutenção (e assim executado a manutenção corretiva de limpeza da lente).

Conjunto anticolisão/rabo de andorinha com RPN de 180: esta falha gera impactos imediatos no processo, danos ao equipamento subsequente e risco de segurança. Para executar a manutenção corretiva neste tipo de falha, torna-se necessário o uso de plataformas elevatórias, cintos de segurança, talabartes, capacetes com jugulares e profissionais altamente qualificados, de modo a executarem a calibração mecânica do anticolisão em meio ao processo produtivo. Para este modo de falha, historicamente o impacto é de 8 minutos de linha parada, resultando em um custo de US\$ 4.000,00.

Conjunto painel de comunicação DKZ com RPN de 150: este equipamento, quando em falha, requer intervenção manual nos transportadores via controle remoto até que se restabeleça a comunicação do painel com os transportadores. Este procedimento evita que a linha fique parada o tempo integral de atuação da equipe de manutenção; porém, como neste intervalo de tempo o processo está em modo manual historicamente, o tempo total das micro paradas gira em torno de 2 minutos, atrelado aos riscos de segurança, ergonomia e qualidade das operações.

Identificados os modos de falha preponderantes, passou-se à elaboração das ações de melhoria para cada modo de falha. A equipe de planejamento da manutenção foi incumbida de elaborar um plano de manutenção que aborde as ações requeridas e com uma frequência determinada de modo a aumentar o MTBF dos equipamentos apresentados antes da aplicação da MCC.



Conjunto	Função do processo	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potencial(is) da Falha(s)	SEV	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) da Falha(s)	OCCO	Controles Atuais do Processo Prevenção	Controles Atuais do Processo Detecção	DET	RPN	Ações recomendadas	Resp.	Prazo	Ações tomadas	New SEV	New OCC	New DET	New RPN	
Motoredor de translação	Translação da unidade	Transportador não faz movimento de Translação	Interrupção da Produção	4	Falha no motoredor de translação	5	Manutenção Preventiva do Equipamento ( PLANO GAMEC0000127)	Supervisorio	10	200									
Freio do motoredor				4	Falha no freio do motoredor de	3	Manutenção Preventiva do Equipamento ( PLANO GAMEC0000127)	Supervisorio	10	120									
Roda motriz				4	Falha na roda motora	2	Manutenção Preventiva do Equipamento ( PLANO GAMEC0000127)	Supervisorio	10	80									
Roda conduzida				4	Falha na roda conduzida	2	Manutenção Preventiva do Equipamento ( PLANO GAMEC0000127)	Supervisorio	10	80									
Rodas laterais				4	Falha nas rodas laterais	2	Manutenção Preventiva do Equipamento ( PLANO GAMEC0000127)	Supervisorio	10	80									
Pino de articulação				6	Falha no pino de articulação frontal	1	Não há plano de preventiva	Supervisorio	10	60									
Pino de articulação				6	Falha no pino de articulação traseiro	1	Não há plano de preventiva	Supervisorio	10	60									
Sensor de leitura (OLM)				3	Falha de posição no sensor de leitura (OLM)	7	Não há plano de preventiva	Supervisorio	10	210									
Sensor anti-colisão				3	Falha de lente suja	7	Não há plano de preventiva	Supervisorio	10	210									
Rabo de andorinha, anti-colisão mecânico				3	Falha no rabo de andorinha, anti-colisão	6	Manutenção Preventiva do Equipamento ( PLANO GAELE0000170)	Supervisorio	10	180									
Barramento elétrico				6	Falha no barramento elétrico	3	Manutenção Preventiva do Equipamento ( PLANO GAMEC0000027)	Supervisorio	10	180									
Etiqueta de código de				3	Falha no barcode	4	Manutenção Preventiva do Equipamento ( PLANO GAELE0000170)	Supervisorio	10	120									
Junta de dilatação				6	Falha na junta de dilatação	2	Manutenção Preventiva do Equipamento ( PLANO	Supervisorio	10	120									
Painel DKZ				5	Falha na DKZ	3	Não há plano de preventiva	Supervisorio	10	150									

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.7 SELEÇÃO DAS TAREFAS DE MANUTENÇÃO E ELABORAÇÃO DO PLANO DE MANUTENÇÃO

A Tabela 10 apresenta as ações propostas para reduzir os riscos resultantes dos modos de falhas; tais propostas foram transformadas em planos de manutenção formalizados através de documentação padrão de atividades da equipe de manutenção e inseridas no sistema de gerenciamento da manutenção (MAXIMO® IBM). Estes planos foram inicialmente estabelecidos através da análise das informações extraídas dos Parâmetros Pré-MCC e da FMEA; posteriormente, foram estabelecidas reuniões semanais nas quais os integrantes da equipe de implementação da MCC traziam sugestões de como eliminar ou reduzir os modos de falhas com maiores RPNs.

Para a determinação do plano de manutenção mais adequado a cada modo de falha, os técnicos de manutenção e planejadores passaram à revisão do histórico de falhas, dos resultados dos parâmetros de ajuste dos tempos entre falhas e à consulta a manuais dos equipamentos, permitindo determinar o tipo de manutenção e a frequência de execução. Tais ações são apresentadas na coluna “ações recomendadas” da Tabela 10, focando-se nos conjuntos que apresentaram os maiores RPNs. O responsável pela execução das ações recomendadas foi determinado a partir da área de conhecimento: as ações técnicas foram suportadas pelos técnicos de manutenção, e a elaboração padrão dos planos e inserção no sistema de gerenciamento ficaram sob responsabilidade da equipe de planejamento da manutenção.

Para a determinação do tipo de manutenção mais adequada a cada modo de falha, pode-se contar com o recurso de preventivas do tipo *on-line* (conforme apresentado na seção 4.2); tais manutenções podem ser executadas com o processo ativo. Este tipo de manutenção pode ser implementado na causa potencial de falha de lente suja do sensor. Nesta causa potencial de falha, pode-se implementar o plano de preventiva on-line com frequência quinzenal, realizando-se a limpeza da lente dos sensores de leitura de posição dos transportadores a cada 15 dias.

Executadas as melhorias sobre os modos de falha preponderantes, foi realizada a quantificação da severidade, da ocorrência e da detecção. O novo RPN foi calculado, apresentando uma redução significativa comparado com os riscos anteriores, a coluna “NEW RPN” da Tabela 10, apresenta os novos riscos calculados, resultado da multiplicação simples das colunas “NEW SEV”, “NEW OCO” e “NEW DET”.





Conjunto	Função do processo	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potencial(is) da Falha(s)	SEV	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) da Falha(s)	OCC	Controles Atuais do Processo Prevenção	Controles Atuais do Processo Detecção	DET	RPN	Ações recomendadas	Resp.	Prazo	Ações tomadas	New SEV	New OCC	New DET	New RPN		
Motoredutor de translação	Translação da unidade	Transportador não faz movimento de Translação	Interrupção da Produção	4	Falha no motoredutor de translação	5	Manutenção Preventiva do Equipamento ( PLANO GAMEC0000127)	Supervisório	10	200										
Freio do motoredutor				4	Falha no freio do motoredutor de	3	Manutenção Preventiva do Equipamento ( PLANO GAMEC0000127)	Supervisório	10	120										
Roda motriz				4	Falha na roda motora	2	Manutenção Preventiva do Equipamento ( PLANO GAMEC0000127)	Supervisório	10	80										
Roda conduzida				4	Falha na roda conduzida	2	Manutenção Preventiva do Equipamento ( PLANO GAMEC0000127)	Supervisório	10	80										
Rodas laterais				4	Falha nas rodas laterais	2	Manutenção Preventiva do Equipamento ( PLANO GAMEC0000127)	Supervisório	10	80										
Pino de articulação				6	Falha no pino de articulação frontal	1	Não há plano de preventiva	Supervisório	10	60										
Pino de articulação				6	Falha no pino de articulação traseiro	1	Não há plano de preventiva	Supervisório	10	60										
Sensor de leitura (OLM)				3	Falha de posição no sensor de leitura (OLM)	7	Não há plano de preventiva	Supervisório	10	210	Inserir no plano de preventiva com frequência trimestral a verificação da correta posição do leitor OLM, conforme padrão, (gabarito).	Ramon Borba	25-abr-15	Inserido no plano de preventiva: GAELE0000170	3	4	10	120		
Sensor anti-colisão				3	Falha de lente suja	7	Não há plano de preventiva	Supervisório	10	210	Inserir no plano de preventiva (ONLINE) com frequência quinzenal a limpeza do Leitor.	Ramon Borba	30-abr-15	Inserido no plano de preventiva: GAMEC0000313	3	4	10	120		
Rabo de andorinha, anti-colisão mecânico				3	Falha no rabo de andorinha, anti-colisão	6	Manutenção Preventiva do Equipamento ( PLANO GAELE0000170)	Supervisório	10	180	Inserir no plano de preventiva com frequência trimestral a verificação da altura do sensor anticolisão em relação ao trilho EOM, conforme padrão, (Confeccionar gabarito).	Ramon Borba	11.05.15	Inserido no plano de preventiva: GAMEC0000313	3	4	10	120		
Barramento elétrico				6	Falha no barramento elétrico	3	Manutenção Preventiva do Equipamento ( PLANO GAMEC0000027)	Supervisório	10	180										
Etiqueta de código de				3	Falha no barcode	4	Manutenção Preventiva do Equipamento ( PLANO GAELE0000170)	Supervisório	10	120										
Junta de dilatação				6	Falha na junta de dilatação	2	Manutenção Preventiva do Equipamento ( PLANO	Supervisório	10	120										
Painel DKZ				5	Falha na DKZ	3	Não há plano de preventiva	Supervisório	10	150	Manutenção Corretiva, quebrou substituir por DKZ Backup. Desenvolver Backup.	Antonio B.	15.06.15	Backup em paralelo	3	3	10	90		

Fonte: Elaborado pelo autor

A Tabela 10 mostra que o conjunto de escovas elétricas apresentou a maior redução no RPN, reduzindo um RPN de 240 para 48. Esta significativa redução foi decorrência da inserção de um plano de manutenção preventiva trimestral para avaliar a altura física das escovas elétricas, conforme gabarito de altura apresentado no APÊNDICE “A”, que detecta escovas com a altura mínima estabelecida de 7mm (conforme apresenta a linha 186 do plano de manutenção do ANEXO “A”). De tal forma, não se permite que as escovas ultrapassem a altura mínima de funcionamento, e conseqüentemente elimine o modo de falha. Esta frequência de manutenção preventiva foi originada a partir dos dados de falhas coletados durante o período pré-MCC. Com a inserção destes planos de manutenção, a ocorrência para este modo de falha reduziu de 8 para 4, e a detecção passou de 10 para 4, visto que se elevaram as chances dos controles de projeto detectarem uma causa potencial.

O conjunto do sensor de leitura de código de barras também obteve uma redução significativa nos riscos dos modos de falha: a falha de posição no sensor de leitura, que recebera o risco de RPN=210 antes dos planos propostos, obteve RPN=120 após as ações implementadas. Tal melhora deve-se à instalação de um gabarito de posicionamento do sensor de leitura, conforme apresentado no APÊNDICE “B”. Do mesmo modo, a causa potencial de falha de lente suja do sensor, que anteriormente havia recebido o valor do risco de RPN=210, passou a RPN=120 após a implementação de um novo plano de manutenção preventiva *on-line* com frequência quinzenal, conforme apresentado no ANEXO “B”. Esta frequência foi determinada a partir dos dados de MTBF apresentados por este modo de falha, coletados no período pré-MCC.

Outra redução de risco aconteceu no conjunto rabo de andorinha/anticolisão, o qual apresentou uma redução do risco de RPN=180 para RPN=120 em decorrência da inserção de um plano de manutenção preventiva com frequência trimestral de verificação da altura do sensor anticolisão em relação ao trilho, conforme ilustrado no APÊNDICE “C” e apresentado no ANEXO “C”, este plano de manutenção contemplou o uso de um dispositivo que verifica a altura correta do anticolisão (rabo de andorinha + sensor indutivo), o que possibilitou padronizar a altura em todos os transportadores.

Por fim, o conjunto painel de comunicação DKZ obteve uma redução em seu modo de falha devido à implementação de um painel de comunicação backup alocado em paralelo ao atual. Tal ação reduziu o RPN de 150 para um RPN de 90, visto que a severidade passou de 5 para 3.

#### 4.8 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS PÓS-MCC

Este capítulo apresenta a análise e discussão dos resultados obtidos com a aplicação da metodologia MCC. Para a realização deste estudo, a equipe de implementação da metodologia classificou através de uma planilha de avaliação de criticidade todos os sistemas inseridos no processo de montagem, permitindo apontar o sistema transportador de unidades, onde estão inseridos 27 transportadores, como crítico. Após análise histórica de falhas, 2 destacaram-se como responsáveis por 23% das falhas de todo sistema. Com vistas nas informações obtidas no histórico de falhas, iniciou-se a análise de confiabilidade dos equipamentos.

Conforme pode-se observar na Tabela 11, o MTBF dos equipamentos “A” e “B” apresentou uma evolução expressiva de 162% e 47%, respectivamente, no período Pós-MCC. A Tabela 11 também revela os resultados de confiabilidade e o resumo dos parâmetros de ajuste do tempo entre falhas para os bancos de dados Pré-MCC e Pós-MCC dos equipamentos “A” e “B”, onde  $t_0$  é o parâmetro de localização ou tempo inicial isento de falhas,  $t_{10}$  e  $t_{50}$  são os intervalos de confiança para os tempos característicos em horas, para uma confiabilidade de 90% e 50% respectivamente.  $\gamma$  é o parâmetro de forma e  $\theta$  é o parâmetro de escala, definidos através do método da máxima verossimilhança.

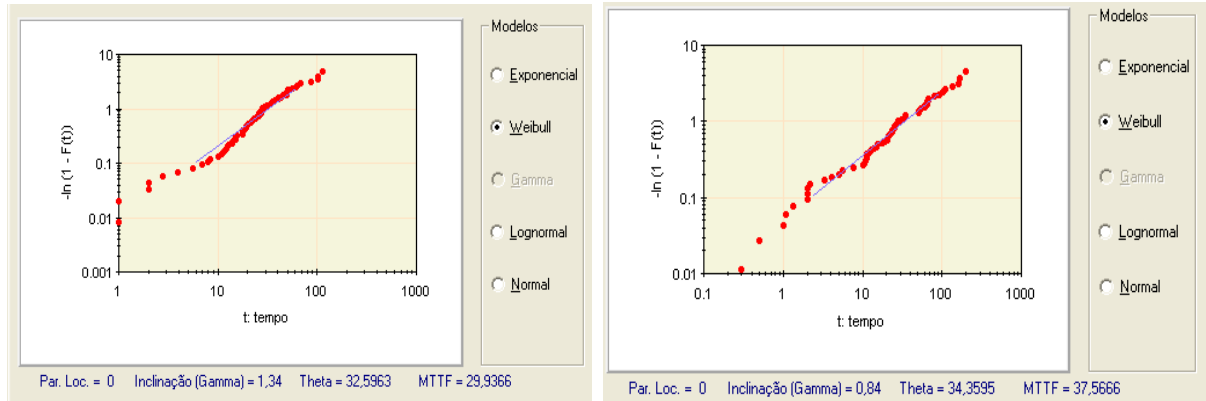
Tabela 11– Resumo dos parâmetros Pré e Pós-MCC – Equipamentos “A” e “B”

Parâmetros	TRANSPORTADOR – A		TRANSPORTADOR – B	
	Pré-MCC	Pós-MCC	Pré-MCC	Pós-MCC
$t_0$	0	0	0	0
Forma – $\gamma$	1,6995	1,3895	0,9825	0,8615
Forma – $\theta$	12,7439	31,945	24,3195	34,2075
$t_{10}$	3,3137	6,1297	2,3556	2,3441
$t_{50}$	10,2037	24,3104	16,5318	21,908
MTBF (hs)	11,4154	29,9306	25,6469	37,6626
Intervalo de Confiança	95%	95%	95%	95%
Qui-quadrado - NS	10,98 - 0,1393	12,04 - 0,0993	9,63 - 0,2106	5,26 - 0,3854
KS - NS	0,0713 - 0,1955	0,0811 - 0,17	0,063 - 0,261	0,0849 - 0,1999
Hipótese	A hipótese de que a população segue o modelo de Weibull não pode ser rejeitada	A hipótese de que a população segue o modelo de Weibull não pode ser rejeitada	A hipótese de que a população segue o modelo de Weibull não pode ser rejeitada	A hipótese de que a população segue o modelo de Weibull não pode ser rejeitada

Fonte: Elaborado pelo autor

O modelo Weibull continua mostrando-se apropriado ao verificar-se o papel de probabilidade dos dados históricos de falhas dos Transportadores “A” e “B” coletados no período pós-MCC, conforme ilustrado na Figura 15.

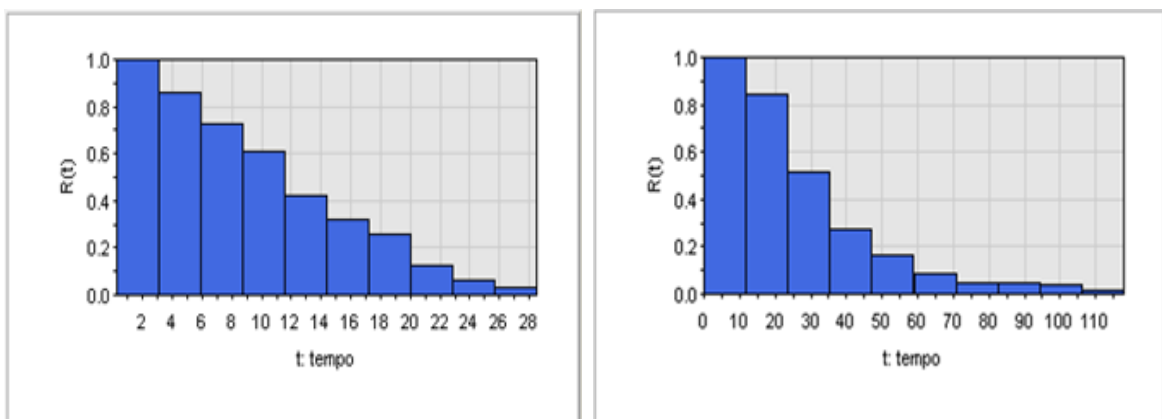
Figura 15 - Papel de probabilidade Pós-MCC – Equipamentos: “A” e “B”



Fonte: Elaborado pelo autor

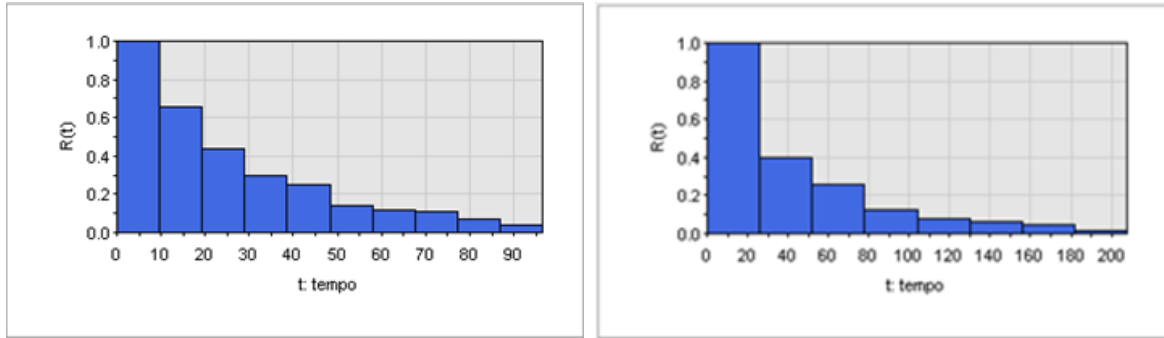
Através da função confiabilidade  $R(t)$  das Figuras 16 e 17, é possível observar que houve evolução expressiva desta métrica nos equipamentos A e B (e, por consequência, redução de falhas e aumento do MTBF). Para este indicador, os resultados refletem as ações de uma boa metodologia de manutenção.

Figura 16 – Histogramas da função confiabilidade do equipamento A: Pré e Pós - MCC



Fonte: Elaborado pelo autor

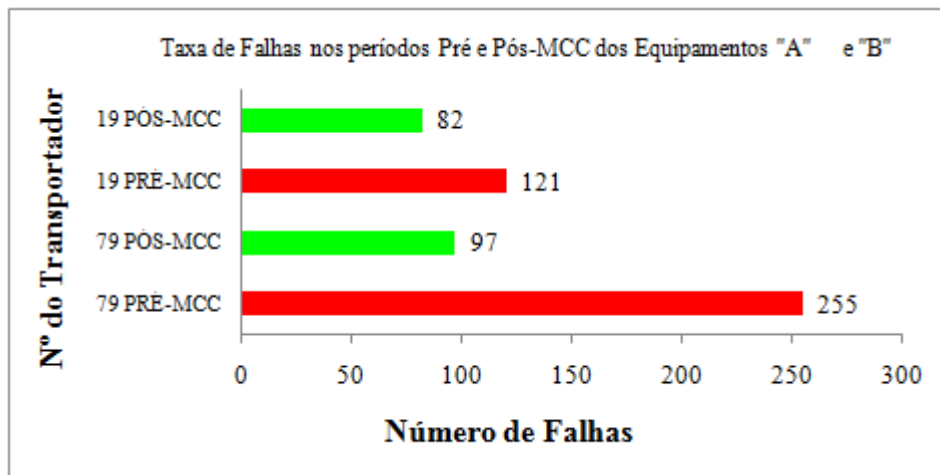
Figura 17 – Histogramas da função confiabilidade do equipamento B: Pré e Pós - MCC



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 18 compara os dois equipamentos antes e depois da aplicação da MCC; percebe-se um nítido decréscimo na taxa de falhas no período Pós-MCC.

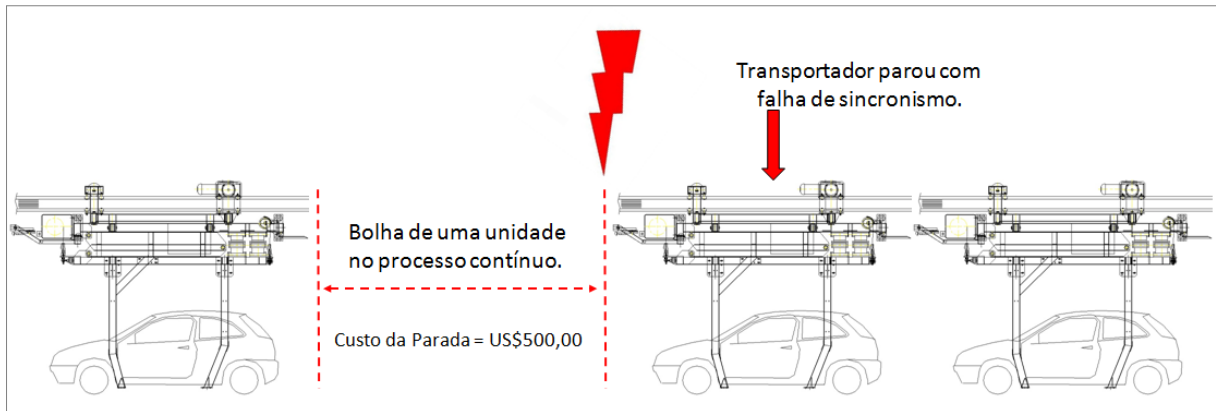
Figura 18 – Taxas de falhas Pré e Pós-MCC



Fonte: Elaborado pelo autor

Com vistas a uma mensuração financeira das melhorias acima descritas, foi necessário levantar o custo de perda de produção oriundo de falhas nos equipamentos Transportadores de Automóveis. Na GM de Gravataí, estima-se um custo de US\$500,00 para cada minuto de linha parada, a qual é ilustrada na Figura 19 (onde aparece uma lacuna após a falha no equipamento transportador de unidades).

Figura 19 – Transportador de unidades “ELEFANTES”



Fonte: Elaborado pelo autor

Durante o período Pré-MCC, foram registradas 376 falhas em ambos os equipamentos, o que representa uma perda de US\$ 917.746,00 relativa a paradas de equipamentos/linha de produção, conforme indicado na Tabela 12.

Tabela 12 – Perdas registradas no período Pré-MCC

Modo de Falha	Número de falhas	Qtd de Componentes	Custo Unitário (US\$)	Tempo de parada (min.)	Total
Falha no conjunto de escovas	113	6	\$ 7,00	8	\$ 456.746,00
Falha de posição no sensor de leitura (OLM)	111	0	0	4	\$ 222.000,00
Falha de lente suja	144	0	0	3	\$ 216.000,00
Falha no rabo de andorinha, anti-colisão	5	0	0	8	\$ 20.000,00
Falha na DKZ	3	0	0	2	\$ 3.000,00
<b>TOTAL</b>	<b>376</b>				<b>\$ 917.746,00</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

Após a aplicação da metodologia, foram coletados os dados de falhas dos equipamentos “A” e “B” durante o mesmo intervalo de tempo do período pré-MCC (assim, pode-se comparar a taxa de falhas do período Pré e Pós-MCC). A Tabela 13 indica uma redução significativa no número de falhas, de 376 para 179, o que gera um custo total proveniente de falhas igual a US\$ 477.734,00.

Tabela 13 – Perdas registradas no período Pós-MCC

Modo de Falha	Número de falhas	Qtd de Componentes	Custo Unitário (US\$)	Tempo de parada (min.)	Total
Falha no conjunto de escovas	77	6	\$ 7,00	8	\$ 311.234,00
Falha de posição no sensor de leitura (OLM)	22	0	0	4	\$ 44.000,00
Falha de lente suja	79	0	0	3	\$ 118.500,00
Falha no rabo de andorinha, anti-colisão	1	0	0	8	\$ 4.000,00
Falha na DKZ	0	0	0	2	\$ -
<b>TOTAL</b>	<b>179</b>				<b>\$ 477.734,00</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

A Tabela 14 traz os custos Pós-MCC relativos à execução dos novos planos de manutenção, compostos pelo custo de mão-de-obra e materiais necessários para efetuar os trabalhos. O total dos custos necessários para a realização das preventivas por um período de 6 meses foi de US\$ 1.080,26.

Tabela 14 – Custos de manutenção dos novos planos de trabalho Pós-MCC

Modo de Falha	Tempo MO Preventiva (min.)	Freq. Preventivas	Custo MO	Custo com Materiais	Total Custo(ano)
Falha no conjunto de escovas	5	2	\$ 0,13	22,5	\$ 23,75
Falha de posição no sensor de leitura (OLM)	10	2	0,125	16,75	\$ 19,25
Falha de lente suja	12	12	0,125	0,0125	\$ 18,01
Falha no rabo de andorinha, anti-colisão	5	2	0,125	26,75	\$ 28,00
Falha na DKZ	0	0	180	811,25	\$ 991,25
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 1.080,26</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados da economia gerada para a organização em um período de 6 meses (período que compreende o estudo Pós-MCC) foram evidenciados com base no custo derivados das falhas nos períodos Pré e Pós-MCC apresentado nas Tabelas 12 e 13, e também nos custos necessários para a execução dos novos planos de manutenção preventiva propostos pela metodologia apresentado na Tabela 14, resultando em uma economia de US\$ 428.102,94.



De tal forma, comprovam-se as afirmações de Lafraia (2001) e Siqueira (2005), os quais apontam que a MCC possibilita a obtenção de benefícios que incluem *(i)* aumento dos lucros de produção através da redução de paradas não programadas; *(ii)* diminuição dos custos de manutenção e aumento da vida útil de equipamentos; *(iii)* maior conhecimento sobre equipamentos e o sistema, com interface entre manutenção e produção e *(iv)* melhor eficiência em termos de confiabilidade.

A implementação da metodologia apresentou os seguintes pontos positivos: *(i)* possibilita uma grande sinergia das áreas de Manutenção e Produção na busca de maior confiabilidade dos equipamentos; *(ii)* permite conhecimento técnico e operacional a cerca dos equipamentos a todos os integrantes do time de implementação da metodologia; *(iii)* através da interação dos times, surgem ideias simples, eficazes e de baixo custo; *(iv)* baixo investimento de recursos para a implementação e operacionalização da metodologia e retorno sobre o investimento a curto prazo.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste estudo foi aumentar a confiabilidade dos equipamentos de um processo crítico da General Motors de Gravataí através da aplicação da metodologia MCC, a qual apoia-se nos seguintes passos: (i) Escolha e capacitação da equipe (ii) seleção do sistema e coleta de informações; (iii) análise das funções e falhas funcionais; (iv) análise dos modos de falhas e seus efeitos; (v) determinação do plano de manutenção.

Os resultados obtidos pela aplicação da MCC nos equipamentos transportadores de automóveis evidenciaram a relevância de tal ferramenta, visto que a MCC possibilitou uma melhor compreensão das funções dos ativos do processo, além de permitir um ponto de vista científico a respeito de quais ações deveriam ser tomadas em termos de atividades de manutenção para que os equipamentos em questão permanecessem cumprindo suas funções pré-estabelecidas na fase de projeto.

Após a análise de confiabilidade dos equipamentos transportadores, foram efetuadas análises das funções e falhas funcionais de todos os conjuntos dos equipamentos, de onde constataram-se 23 funções vitais de funcionamento. Na sequência, a aplicação da FMEA permitiu uma análise sistematizada e estruturada dos conjuntos, onde foram levantados os modos, efeitos, causas potenciais de falhas e controles atuais de processo. A atribuição da severidade, da ocorrência e da detecção, permitiu calcular o risco de cada modo de falha e posteriormente atuar nos modos preponderantes de falha.

No aspecto financeiro, verificou-se que a aplicação da MCC contribuiu para redução significativa (US\$ 428.102,94 em um período de seis meses) nos custos decorrentes de parada dos transportadores.

Os aspectos negativos observados durante a implementação da MCC foram: (i) dificuldades de nivelamento de conhecimento dos integrantes do time a respeito das ferramentas necessárias para a implementação da metodologia; (ii) dificuldades de fazer o levantamento de falhas primárias, bem como os modos de falhas e seus efeitos, devido ao baixo conhecimento técnico dos integrantes operacionais; (iii) foram abordados somente os RPN mais elevados, devido ao curto prazo de implementação da metodologia.

De acordo com os objetivos descritos no início deste trabalho, conclui-se que: Os objetivos deste estudo foram atingidos plenamente, pois foram aplicados os preceitos da MCC em dois equipamentos de um sistema transportador de automóveis com vistas no aprimoramento da confiabilidade do processo. Dentre os objetivos específicos, o

levantamento bibliográfico da fundamentação teórica e aplicações práticas da MCC foram fundamentais para o planejamento e a execução da implementação da metodologia, bem como a utilização de ferramentas específicas, e a elaboração dos planos de manutenção.

Estudos futuros incluem: *(i)* a aplicação da sistemática MCC em outros processos e equipamentos da empresa em questão; *(ii)* estabelecer planos de ação para todos os modos de falhas explícitos pela FMEA, e não somente concentrar esforços nos modos de falha que apresentarem RPNs mais elevados conforme sugerido por (PALADY, 1997); *(iii)* dar visibilidade nos modos de falhas que apresentarem riscos de segurança, sendo assim, todos os modos de falhas que apresentarem severidade 9 ou 10 devem ser mitigados, independente do RPN; *(iv)* utilização de outras técnicas de detecção de falhas, como o Método da Causa Raiz, também são de interesse de aplicação; *(v)* aplicação de sistemáticas para identificação dos especialistas mais consistentes em suas opiniões (e posterior incorporação de tais opiniões na FMEA) figura ainda como potencial extensão do estudo aqui realizado.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 5462, **Confiabilidade e Manutenibilidade - terminologia**. Rio de Janeiro, Nov/1994.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. Disponível em: < <http://www.anfavea.com.br/tabelasnovo.html>>. Acesso em: 10/02/2016.

BLACHE, M. K.; SHRIVASTAVA, B. A. *Defining Failure of Manufacturing & Equipment. In: Annual reliability and maintainability simposium*, 1994. Proceedings... p. 69-75.

CHAIÏB, R.; Taleb M.; Benidir M.; Verzea I. *Failure: a source of progress in maintenance and design. Eighth International Conference on Material Sciences (CSM8-ISM5) – 2014*. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875389214000893>>. Acesso em: 09/02/2016.

CORRÊA, R. **MES para indústrias automotivas e as vantagens do controle da produção. 2012**. Postado em: 5 set. 2012 no Blog Kite. Disponível em: <<http://www.kitemes.com.br/mes-para-industrias-automotivas-e-as-vantagens-do-controle-da-producao/>>. Acesso em: 15 mar. 2015.

ESTANQUEIRO, R. **Práticas de simplificação na implementação do TPM – Total Productive Maintenance: estudo de caso em empresas do setor automobilístico**. 2008. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) --Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste, SP, 2008. Disponível em:<[https://www.unimep.br/phpg/bibdig/pdfs/docs/26052012\\_150107\\_rodrigofelippeestaqueiro.pdf](https://www.unimep.br/phpg/bibdig/pdfs/docs/26052012_150107_rodrigofelippeestaqueiro.pdf)>. Acesso em: 17 mar. 2015.

FERNÁNDEZ, J; MÁRQUEZ, A. *Maintenance Management in Network Utilities: Framework and Practical Implementation. London: Springer, 2012*.

FILHO, A. **Utilização de ferramentas de confiabilidade em um ambiente de manufatura de classe mundial.** 2003. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) -- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, São Luis, MA, 2003. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000310971>. Acesso em: 12 fev. 2015.

BRANCO, F. **Dicionário de termos de manutenção, confiabilidade e qualidade.** Editora Moderna, Rio de Janeiro, 4ª Edição Revisada, Edição Mercosul, 2006.

FOGLIATTO, F; RIBEIRO, J. **Confiabilidade e Manutenção Industrial.** 2ª Ed. Porto Alegre: Campus, 2009.

GALVÃO, M. **A Importância da Manutenção na Indústria Automobilística.** (Artigo publicado na Revista Nova Manutenção Qualidade – Editora Novo Polo – Páginas 36 e 37– Ano 09 – Número 41 – 2002).

GIL, A. 1946 – **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** – 5. ed. – São Paulo: Atlas, 2010.

GRUPPI, G. **Estrutura de manutenção na indústria automobilística: uma análise comparativa dos modelos especialista e generalista.** 2006. 137 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Gestão) - Programa de Pós - Graduação em Sistemas de Gestão, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2006. Disponível em: [http://www.bdt.d.ndc.uff.br/tde\\_arquivos/14/TDE-20070510T130549Z770/Publico/Dissertacao%20-%20Glauco.pdf](http://www.bdt.d.ndc.uff.br/tde_arquivos/14/TDE-20070510T130549Z770/Publico/Dissertacao%20-%20Glauco.pdf). Acesso em: 17 mar. 2015.

GUIMARÃES, L; NOGUEIRA, C; SILVA, M. **Manutenção industrial: implementação da Manutenção Produtiva Total (TPM).** Revista e-Xacta, Belo Horizonte, v. 5, n. 1, p. 175-197, 2012. Disponível em: <http://revistas.unibh.br/index.php/dcet/article/view/735>. Acesso em: 09 mar. 2015.

HASBULLAH, N.; AHMAD R. *Failure analysis of tyre production process using FMECA method* (2015). Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213290215000140>> Acesso em: 10 Jan. 2016.

IGBA, J; ALEMZADEHA K.; ANYANWU-EBOB I., GIBBONSA P., FRIISB J. *Conference on Systems Engineering Research* (CSER'13) Eds.: C.J.J. Paredis, C. Bishop, D. Bodner, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, March 19-22, 2013. *A Systems Approach towards Reliability-Centred Maintenance (RCM) of Wind Turbines*. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050913000860>> Acesso em: 31 Dez. 2015.

JOHANSSON, P; THOMAS L; MALMSKÖLD L; SJÖGREN B; AHLSTRÖM L. *Current State of Standardized Work in Automotive Industry in Sweden*. Forty Sixth CIRP Conference on Manufacturing Systems 2013. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827113002333>>. Acesso em: 09/02/16.

KARDEC, A; NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica**. 1 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998, 304p.

KARDEC, A; NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2012. 440 p.

KUMAR, U. PARIDA, A. *Maintenance performance metrics: a state-of-the-art review*. Journal of Quality in Maintenance Engineering, Bingley, v. 19, n. 3, p. 233-277, 2013. Disponível em: <http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=17094787&show=abstract>>. Acesso em: 18 jan. 2015.

LAFRAIA, J. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. 1ª Ed. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobras 2001.

LEEMIS, L. M. *Reliability, probabilistic models and statistical methods*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1995. 319p.

MARCONI, M; LAKATOS, E. **Técnicas de Pesquisa: Planejamento e execução de pesquisas, Amostras e técnicas de pesquisa, Elaboração, análise e interpretação de dados**. -7. ed. – 3. reimpr. – São Paulo: Atlas, 2010.

MARTINS, P. G.; LAUGENI F.B. **Administração da produção**. São Paulo: Saraiva, 2000.

MONCHY, F. **A Função Manutenção - Formação para a Gerência da Manutenção Industrial**. São Paulo: Durban, 1989.

MORAES, G. **Sistema de gestão de riscos – Princípios e Diretrizes**. 1ª Ed. Rio de Janeiro, 2010.

MOUBRAY, J. **Manutenção centrada em confiabilidade – Reliability Centered Maintenance (RCM)**. Editora Aladon, Lutterworth – Inglaterra, Edição Brasileira, 2000.

MUASSAB, J. R. **Gerenciamento da Manutenção na Indústria Automobilística**. Monografia (Especialização MBA – Gerência de Produção) – Departamento de Economia, Contabilidade, Administração e Secretariado, Universidade de Taubaté, Taubaté 2002. Disponível em: [www.unitau.br/prppg/cursos/ppga/mba/2002/muassab\\_jose\\_roberto.pdf](http://www.unitau.br/prppg/cursos/ppga/mba/2002/muassab_jose_roberto.pdf) Acesso em 14 abril 2015.

NASCIF, J. (2000) **Manutenção de Classe Mundial, Revista Manutenção e Qualidade**, n.29,p. 8.

NASCIF, J; DORIGO, L. **Manutenção orientada para resultados**. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009. 296 p.

NASCIMENTO, J. **Plano de manutenção baseada nos preceitos da manutenção centrada em confiabilidade em um processo de produção de refrigerantes – 2014**. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/115276> Acesso em: 27 Dez. 2015.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. *Reliability Centered Maintenance Guide for Facilitis and Collateral Equipment* – 2000. Disponível em <http://www.hq.nasa.gov/office/codej/codejx/> Acesso em 12 janeiro de 2016.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção: Além da produção em larga escala**. São Paulo: Artmed, 1997.

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

PEREIRA, E. **A matemática utilizada pelos técnicos em eletroeletrônica na indústria automobilística**. 2013. 105 . Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Matemática) -- Curso de Matemática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2013.

PORTELA, A et al. **Manutenção em indústrias automotivas**. 2012. Postado em: 23 nov. 2012 no Blog Sistemas Automotivos. Disponível em: [http://sistauto.wordpress.com/2012/11/23/manutencao-em-industrias\\_automotivas/](http://sistauto.wordpress.com/2012/11/23/manutencao-em-industrias_automotivas/). Acesso em: 16 mar. 2015.

PROCONF2000. **Confiabilidade de componentes: software ProConf 2000**. Porto Alegre: Apostila do curso de MBE, 2013.

RAUSAND, M. (1998) *Reliability Centered Maintenance*, Paper of Department of Production and Quality Engineering, Norwegian University of Science and Technology, n-7034 Trondheim, Norway.

RAUSAND, M.; HOYLAND, A. *System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications*. New York: Wiley, 2003.

ROTHER, R., **Manutenção Centrada em Confiabilidade: Estudo de caso na indústria alimentícia** - 2010. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/3297> Acesso em: 27 Dez. 2015.



SAINZ J.; SEBASTIÁN M. The Manufacturing Engineering Society International Conference, MESIC 2013 *Methodology for the Maintenance Centered on the Reliability on facilities of low accessibility*. Department of Manufacturing Engineering, National Distance University of Spain (UNED), C/ Juan del Rosal 12, 28040-Madrid, Spain. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705813014926> Acesso em: 10 Jan. 2016.

SAMPIERI, H. S.; COLLADO, C. F; LUCIO, P. B. **Metodologia de pesquisa**. 3. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração da dissertação**. 4. ed. Florianópolis: Editora UFSC, 2005.

SIQUEIRA, I. **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implementação**. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005. 408 p.

STEVENSON, J. **Planejamento de Manutenção**. São Paulo: Edgard Blucher, 2001.

TAKAHASHI, Y.; OSADA, T. TPM/MPT: **Manutenção Produtiva Total**. São Paulo: Instituto IMAM, 1993.

THURNES C.; ZEIHSELB F.; VISNEPOLSCHIC S.; HALLFELLB F. World Conference: *Using TRIZ to invent failures – concept and application to go beyond traditional FMEA* - 2015. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815043313> Acesso em: 10 Jan. 2016.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. São Paulo: Atlas, 1998.

WANG, M.; Min W.; Jun Y.; Jun L. “APISAT2014”, 2015 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology, APISAT2014 *The Study of Process Reliability of Aircraft Engine*. Reliability and System engineering school, Beihang university, Beijing

100191, PR China Disponível em:  
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814037230>> Acesso em: 31 Dez.  
2015.

WUTTKE, R.; SELLITTO, M. **Cálculo da disponibilidade e da posição na curva da banheira de uma válvula de processo petroquímico.** Produção On-line, v.8, n.4, p.1- 23, 2008.

XAVIER, J. 13 – **Indicadores de Manutenção.** [S.l.: s.n.], 2010. 14 f. Disponível em:  
<<http://www.dee.ufrn.br/~joao/manut/15%20-%20Cap%EDtulo%2013.pdf>>. Acesso em: 12  
jan. 2015.

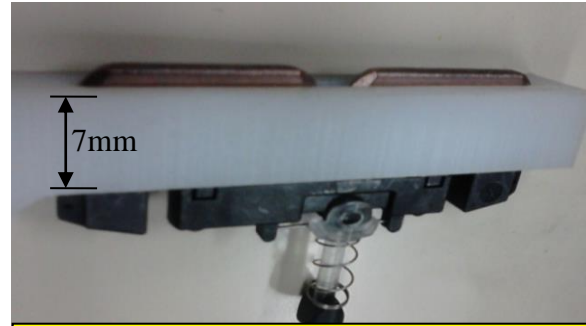
XENOS, H. **Gerenciando a manutenção produtiva.** 1. ed. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços, 2004. 302 p

ZAIONS, D. **Consolidação da metodologia de manutenção centrada em confiabilidade em uma planta de celulose e papel** – 2003. Disponível em:  
<<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/3297>> Acesso em: 27 Dez. 2015.

APÊNDICE A – Gabarito para execução do plano de manutenção preventiva elétrica



Escova elétrica sem gabarito  
ANTES



Escova elétrica com gabarito  
DEPOIS

APÊNDICE B – Gabarito de posicionamento do sensor de leitura do código de barras



Gabarito de posição do feixe de luz  
ANTES



Gabarito de posição do feixe de luz  
DEPOIS

APÊNDICE C – Dispositivo para execução do plano de manutenção preventiva mecânica



Dispositivo padrão de altura  
RABO DE ANDORINHA



Dispositivo padrão de altura  
SENSOR INDUTIVO

ANEXO A – Plano de manutenção preventiva elétrica **APÓS** a MCC

## Detalhes do Plano de Trabalho

GAELE0000170: GA-ELE-TM – PREVENTIVA GANCHO EOM

Organização:	LAAS1001	Prioridade:	2	Proprietário:	
Site:	6308	Pode Ser Interrompido?:	N	Grupo de Proprietários:	
Tipo:	MAINTENANCE	Supervisor:		Grupo de Mão-de-obra:	
Duração:	01:30	Equipe:			

### Tarefas do Plano de Trabalho

ID da Tarefa	Descrição	Duração	Plano de Trabalho Aninhado	Nome do Medidor	Proprietário	Grupo de Proprietários
1	ESSA É UMA ATIVIDADE DE ALTO RISCO CONFORME DEFINIÇÃO DO CORE 4 TRABALHOS DE MANUTENÇÃO	00:00				
10	***** PROCEDIMENTOS DE SEGURANÇA *****	00:00				
20	REALIZAR OS PROCEDIMENTOS DE SEGURANÇA DEFINIDOS PARA A ATIVIDADE	00:05				
30	***** CONJUNTO DE TRACÇÃO *****	00:00				
40	* MOTORIZAÇÃO *	00:00				
50	LIMPAR E VERIFICAR CORRETA FIXAÇÃO E AUSÊNCIA DE VAZAMENTOS NA MOTORIZAÇÃO	00:05				
60	VERIFICAR CORRETA FIXAÇÃO DAS CONEXÕES ELÉTRICAS DO MOTOR	00:05				
70	VERIFICAR CORRETA FIXAÇÃO DAS CONEXÕES ELÉTRICAS DO PLUG	00:05				
80	***** CONJUNTO DE ELEVAÇÃO *****	00:00				
90	* ENCODER *	00:00				
100	VERIFICAR ENCODER DE ELEVAÇÃO	00:05				
110	LIMPAR E VERIFICAR CORRETA TENSÃO E DESGASTE DA CORREIA	00:05				
120	VERIFICAR CAME DE AJUSTE DE ALTURA	00:05				
130	* TALHA DE ELEVAÇÃO *	00:00				
140	LIMPAR E VERIFICAR CORRETA FIXAÇÃO E AUSÊNCIA DE VAZAMENTOS NA MOTORIZAÇÃO	00:05				
150	VERIFICAR CORRETA FIXAÇÃO DAS CONEXÕES ELÉTRICAS DO MOTOR	00:05				
160	***** CONJUNTO DE CONTROLE *****	00:00				
170	VERIFICAR COFRE	00:10				
180	VERIFICAR CONJUNTO TRASEIRO DE ESCOVAS	00:08				
185	VERIFICAR ESCOVA DIANTEIRA DO TERRA	00:02				
186	VERIFICAR BOM ESTADO DAS ESCOVAS, SE ESTIVER MENOR QUE 7mm EFETUAR A TROCA	00:05				

ANEXO B – Plano de manutenção preventiva *on-line* inserido **APÓS** a MCC

## Detalhes do Plano de Trabalho

GAMEC0000313: GA-MEC-SN - LIMPEZA DE GANCHOS EOM

Organização:	LAAS1001	Prioridade:	2	Proprietário:	
Site:	6308	Pode Ser Interrompido?:	N	Grupo de Proprietários:	
Tipo:	MAINTENANCE	Supervisor:		Grupo de Mão-de-obra:	
Duração:	01:00	Equipe:			

### Tarefas do Plano de Trabalho

ID da Tarefa	Descrição	Duração	Plano de Trabalho Aninhado	Nome do Medidor	Proprietário	Grupo de Proprietários
10	***** PROCEDIMENTOS DE SEGURANÇA *****	00:00				
20	REALIZAR OS PROCEDIMENTOS DE SEGURANÇA DEFINIDOS PARA A ATIVIDADE	00:10				
30	***** GANCHO EOM *****	00:00				
40	* LEITOR DE CÓDIGO DE BARRAS OLM *	00:00				
50	LIMPAR LEITOR DE CÓDIGO DE BARRAS OLM COM PANO SECO	00:12				

### Mão-de-obra

ID da Tarefa	Categoria	Nível de Qualificação	Fornecedor	Contrato	Mão-de-obra	Qtd	Horas	Taxa	Custo da Linha
	MC	MC				1	01:00	87,00	87,00

**Total de Mão-de-obra Planejada:**

87,00

ANEXO C – Plano de manutenção preventiva mecânica **APÓS** a MCC

## Detalhes do Plano de Trabalho

GAMEC0000127: GA-MEC-TM - PREVENTIVA GANCHO EOM

### Tarefas do Plano de Trabalho

ID da Tarefa	Descrição	Duração	Plano de Trabalho Aninhado	Nome do Medidor	Proprietário	Grupo de Proprietários
200	LIMPAR E VERIFICAR BOM ESTADO DO GUIA DE CABO	00:12				
210	VERIFICAR CORRETA FIXAÇÃO NO FIM DOS CABOS E CUNHAS	00:04				
220	* BRAÇOS ARTICULADOS *	00:00				
230	VERIFICAR CORRETA FIXAÇÃO E BOM ESTADO DOS BRAÇOS ARTICULADOS	00:04				
240	VERIFICAR CORRETA FIXAÇÃO E BOM ESTADO DOS MANCAIS FIXOS DOS BRAÇOS	00:04				
250	VERIFICAR CORRETA FIXAÇÃO E BOM ESTADO DAS PATAS	00:04				
260	VERIFICAR CORRETA FIXAÇÃO E BOM ESTADO DOS PONTALINOS	00:04				
270	***** ESTRUTURA *****	00:00				
280	LIMPAR E VERIFICAR CORRETA FIXAÇÃO E BOM ESTADO DA ESTRUTURA	00:12				
290	VERIFICAR VISUALMENTE A INTEGRIDADE FÍSICA DAS SOLDAS DA ESTRUTURA	00:04				
300	VERIFICAR CORRETA FIXAÇÃO E BOM ESTADO DO RABO DE ANDORINHA	00:04				
305	VERIFICAR ALTURA DO RABO DE ANDORINHA E SENSOR ANTICOLISÃO COM AUXÍLIO DO GABARITO	00:05				
310	VERIFICAR CORRETA FIXAÇÃO E BOM ESTADO DAS PROTEÇÕES DAS PATAS	00:04				
320	***** TRY-OUT *****	00:00				
330	DESAZER TRAVAMENTO DAS FONTES DE ENERGIA EXISTENTES NO EQUIPAMENTO	00:05				
340	TESTAR CORRETO FUNCIONAMENTO DO EXTRA-CURSO INFERIOR	00:12				
350	TESTAR CORRETO FUNCIONAMENTO DO EXTRA-CURSO SUPERIOR	00:12				
360	EXECUTAR GABARITAGEM DOS PONTALINOS	00:20				
370	VERIFICAR MEDIDAS DA ALTURA DO GANCHO	00:04				
380	TESTAR CORRETO FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO EM MODO MANUAL	00:12				

### Mão-de-obra

ID da Tarefa	Categoria	Nível de Qualificação	Fornecedor	Contrato	Mão-de-obra	Qtd	Horas	Taxa	Custo da Linha
	MC	MC				1	03:00	87,00	261,00