



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE
PERNAMBUCO**
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**ANÁLISE DO IMPACTO NOS INDICADORES DE
CONFIABILIDADE, MANTENABILIDADE E
DISPONIBILIDADE APÓS A IMPLANTAÇÃO DO
PROGRAMA TPM**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO
POR

SAMUEL CÉZAR BARROS MORAES
Orientador: Prof. DSc. Thalles Vitelli Garcez

CARUARU, 2016

SAMUEL CÉZAR BARROS MORAES

**ANÁLISE DO IMPACTO NOS INDICADORES DE
CONFIABILIDADE, MANTENABILIDADE E
DISPONIBILIDADE APÓS A IMPLANTAÇÃO DO
PROGRAMA TPM**

Proposta de trabalho a ser apresentado ao
Curso de Engenharia de Produção do Centro
Acadêmico do Agreste - CAA, da
Universidade Federal de Pernambuco -
UFPE, como requisito para a disciplina
Projeto Final de Curso.

Área de concentração: Pesquisa Operacional
Orientador: Prof. DSc. Thalles Vitelli Garcez

Caruaru, 2016

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier CRB/4 - 1242

- M827a Moraes, Samuel César Barros.
 Análise do impacto nos indicadores de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade após a implantação do Programa TPM. / Samuel César Barros Moraes. – 2016.
 50f. il. ; 30 cm.
- Orientador: Thalles Vitelli Garcez
 Monografia (Trabalho de Conclusão de Pernambuco) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia de Produção, 2016.
 Inclui Referências.
1. Confiabilidade. 2. Manutenção Produtiva total. 3. Disponibilidade. I. Garcez, Thalles Vitelli (Orientador). II. Título.
- 658.5 CDD (23. ed.)
UFPE (CAA 2016-139)

SAMUEL CÉZAR BARROS MORAES

**ANÁLISE DO IMPACTO NOS INDICADORES DE
CONFIABILIDADE, MANTENABILIDADE E
DISPONIBILIDADE APÓS A IMPLANTAÇÃO DO
PROGRAMA TPM**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia de Produção
do Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, como
requisito para a disciplina **Projeto Final de Curso**.

Área de concentração: Pesquisa Operacional

A banca examinadora composta pelos professores abaixo, considera o candidato
ALUNO APROVADO COM NOTA_____.

Caruaru, de de .

Banca examinadora:

Prof. DSc. Thalles Vitelli Garcez _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientador)

Prof. DSc. Marcele Elisa Fontana _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Prof. DSc. Rodrigo Sampaio Lopes _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Prof. DSc. Lúcio Câmara e Silva _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Coordenador da disciplina)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelas oportunidades criadas em relação ao ensino e conhecimento, pela saúde da minha família e pelo conforto gerado em meu lar.

Aos meus pais, Moises e Kátia, pelo sacrifício, esforço e dedicação. Por sempre me oferecerem o melhor e por terem me mostrado que o caminho para um futuro melhor é conquistado através dos estudos. O profissional e ser humano que sou hoje são graças aos meus pais.

A Jessica Ribeiro, pela sua paciência, dedicação, companheirismo, e principalmente, por proporcionar alegria nos momentos mais difíceis.

A todos os meus amigos que conquistei através da faculdade, por proporcionarem momentos de felicidade, aprendizagem e apoio nos momentos de tensão. Em especial à Débora Farias, Heber Guilherme, Sabrina Macedo, Luana Justino, Diogo Ferreira e Davi Fernandes.

A André Tavares e Sandoval Leal, por todos os momentos vividos e conquistados. Pelos momentos de alegria e “confusão”.

Aos meus amigos que sempre proporcionam momento de descontração quando estamos juntos. Em especial à Uilliam Urbano, Iago Rafael, Vinícius Lucena, Helder Pimentel e João Guilherme.

Ao meu orientador e professor, Dr. Thalles Garcez, pelo seu apoio, comprometimento e dedicação para a realização desse trabalho. E por fim, pelo seu profissionalismo e responsabilidade com o ensino e aprendizagem.

RESUMO

Um dos desafios para se manter na competitividade é manter seu equipamento com uma alta confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade. Diante dessas necessidades, as empresas investem em programas de melhoria para conquistar a maximização desses indicadores, como exemplo a metodologia da Manutenção Produtiva Total (TPM). A proposta desse trabalho é estudar o comportamento de um equipamento, em especial o seu componente crítico, diante dos indicadores relacionados a manutenibilidade, confiabilidade e disponibilidade durante dois períodos: antes e depois da implantação do programa TPM. Através da análise de banco de dados referentes ao tempo entre falhas e o tempo de reparo, o estudo mostrou o comportamento desse componente durante os períodos estudados. Com a utilização de um software computacional, a modelagem dos dados trouxe informações e interpretações importantes que a Manutenção Produtiva Total pode trazer para as organizações.

Palavras-chave: Confiabilidade, Manutenibilidade, Disponibilidade, TPM.

ABSTRACT

One of the challenges in order to maintain competitiveness is keeping the equipment with high reliability, maintainability and availability. Given these needs, the companies invest in improvement programs to achieve the maximization of these indicators, for example the Total Productive Maintenance Methodology (TPM). This work aims to study the equipment behavior, especially its critical component, in the face of the indicators related to maintainability, reliability and availability during two periods: Before and after the TPM program implementation. Through the database analysis for the time between failures and the time to repair, this study showed the behavior in this component during the studied periods. Using a computer software, the modeling illustrated important information and interpretations that Total Productive Maintenance provides to organizations.

Keywords: Reliability, Maintainability, Availability, TPM.

SUMÁRIO

1	Introdução.....	11
1.1.	Objetivo Geral.....	13
1.2.	Objetivos Específicos	13
1.3.	Metodologia	13
2	REVISÃO CONCEITUAL.....	15
2.1	Histórico do TPM (Manutenção Produtiva Total)	15
2.1.1	Objetivos do TPM (Manutenção Produtiva Total)	16
2.1.2	Estratégias do TPM	16
2.1.3	Pilares do TPM	18
2.1.3.1	Manutenção Autônoma	18
2.1.3.2	Manutenção Planejada.....	19
2.1.3.3	Melhorias Específicas.....	19
2.1.3.4	Educação e Treinamento.....	20
2.1.3.5	Manutenção da Qualidade.....	20
2.1.3.6	Controle Inicial.....	20
2.1.3.7	TPM nas áreas administrativas (<i>TPM Office</i>).....	21
2.1.3.8	Segurança, Higiene e Meio Ambiente.....	21
2.2	Manutenção: Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade	21
2.2.1	Confiabilidade – Função Probabilística	21
2.3.2	Distribuição Weibull	23
2.3.3	Manutenibilidade e Disponibilidade.....	26
3	Estudo de Caso	28
3.1.	A empresa	28
3.2.	Programa Manutenção Produtiva Total (TPM) na organização estudada	28
3.3	Grupo de Manutenção Autônoma.....	29
3.4	Equipamento	29
3.5	Componentes principais do equipamento em análise	29
3.6	Escolha do componente principal como foco no estudo	30
4	Resultados e Discussões.....	33
4.1	Análise de confiabilidade e manutenibilidade do componente escolhido	34
4.1.2	TBF e TR: análise do equipamento após a implantação da metodologia TPM	35
4.3	Avaliação geral do componente: antes e depois da implantação do programa TPM	41
4.3.1	Número de falhas e tempo de reparo	42

4.3.2	Distribuição Weibull, Curva da Banheira e Estratégia de Manutenção.....	42
4.3.3	Análise do Ciclo de Vida.....	42
4.3.3.1	Mean Time Between Failures – MTBF	43
4.3.3.2	Intensidade de Falha.....	43
4.3.3.3	Falhas	44
4.3.3.4	Confiabilidade Condicional.....	44
4.3.3.5	Disponibilidade do Componente.....	44
5	Conclusão.....	46
REFERÊNCIAS		48

LISTA DE FIGURAS

Figura 2. 1 - Variação dos parâmetros da Distribuição Weibull.....	24
Figura 2. 2 - Curva da Banheira e ciclo de vida de um equipamento ou sistema.....	25
Figura 3. 1 - Número de falhas por componente.....	31
Figura 3. 2 - Somatório dos tempos de reparo por componente.....	32
Figura 4. 1 - Adequação dos dados com a distribuição de probabilidade Weibull.....	35
Figura 4. 2 - Adequação dos dados com a distribuição de probabilidade Weibull.....	36
Figura 4. 3 - Número acumulativo de Falhas antes da implantação do TPM.....	37
Figura 4. 4 - Número acumulativo de Falhas depois da implantação do TPM.....	38
Figura 4. 5 - Intensidade Acumulativa de Falhas antes da implantação do TPM.....	38
Figura 4. 6 - Intensidade Acumulativa de Falhas depois da implantação do TPM.....	39
Figura 4. 7 - Confiabilidade Condicional antes da implantação do TPM.....	40
Figura 4. 8 - Confiabilidade Condicional depois da implantação do TPM.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 2. 1 – Efeitos do TPM e resultados alcançados.....	17
Tabela 3. 1 – Componentes e quantidade de falhas.....	30
Tabela 3. 2 – Componentes e tempo de reparo (TR).....	31
Tabela 4 .1 – Amostra parcial do comportamento das variáveis TBF e TR antes da implantação do TPM.....	34
Tabela 4. 2 - Comportamento das variáveis TBF e TR depois da implantação do TPM.....	35
Tabela 4. 3 – Disponibilidade do Componente (Antes TPM).....	44
Tabela 4. 4 – Disponibilidade do Componente (Depois TPM).....	45

1 Introdução

Dentro de um modo de produção capitalista, as empresas visam seus lucros através de vendas e consequentemente redução de perdas e outros fatores. A produção e a produtividade estão altamente interligadas com esse rendimento, buscando a alta geração de valores, assim como, a utilização de metodologias que dê suporte para minimização dos desvios causados dentro de um ambiente fabril. Essas perdas estão relacionadas a diversos fatores, porém em destaque, vale salientar a necessidade de uma boa gestão de manutenção para que seus equipamentos estejam dispostos nos momentos necessários, para que assim, contribua e não afete o nível competitivo das empresas.

Dentro da literatura, essa abordagem é bastante discutida dentro dois aspectos: o custo financeiro relacionado a prevenção do equipamento e o enfoque da engenharia de confiabilidade. Dentro do levantamento dos custos financeiros relacionados a prevenção do equipamento, os pontos discutidos são os custos com a substituição após a falha e os custos relacionados com a troca antes da falha. Todavia, cabe ao decisor e as partes interessadas a utilização de um método de decisão para tomar a iniciativa de quando e como fazer essas substituições. Dentro da engenharia de confiabilidade, o seu estudo quantitativo utilizará o levantamento de dados e informações relacionadas ao número de falhas, tempo de parada e custos associados em manutenção e perda de produção. O seu apoio em geral, utilizará modelos estocásticos para pôr fim contribuir para uma boa gestão da manutenção (Cavalcante, 2003).

Na busca de programas que almejam melhorar os processos internos das organizações, várias teorias e filosofias de sucesso são implementadas no setor industrial, tais como: Produção Enxuta, Just-in-Time, Teoria das Restrições e etc. Dentro desses diversos programas, o que mais se destaca é a Manutenção Produtiva Total, implementada na indústria japonesa a partir de 1971. Segundo Nakajima (1989), a Manutenção Produtiva Total (TPM) tem como propósito a otimização dos ativos diante da redução de quebras de máquinas, do aumento da disponibilidade dos equipamentos e da redução de perdas nos diversos setores dos processos produtivos e administrativos das empresas.

O setor de manutenção sempre foi responsável por executar e delegar as ações relacionadas aos serviços de manutenção de instalações e equipamentos das organizações. A partir da implantação do programa TPM, essa cultura é quebrada diante da necessidade da

divisão da manutenção com todos os colaboradores da empresa, e principalmente, com os próprios operadores que executam a atividade de produção. Logo, essa mudança de paradigma dentro das organizações deve começar pelos altos níveis hierárquicos da empresa, para que assim, a metodologia e rotina do programa caia em cascata para todas as partes relacionadas.

A confiabilidade pode estar relacionada ao desenvolvimento e planejamento de um produto, no qual os projetos requerem os níveis de confiabilidade dentro dos equipamentos, para que o planejamento da manutenção seja previsto, e assim, executada. Portanto, a Engenharia de Confiabilidade garante que um equipamento ou sistema tendem a ser confiáveis quando são operados de acordo com as suas condições básicas e que o foi especificado inicialmente no seu projeto (Machado & Andrade, 2013).

A manutenibilidade está relacionada à probabilidade de que um item volte as suas condições normais de operação dentro de um certo tempo, de acordo com as condições estipuladas pela manutenção (de Almeida & Souza, 2001). Segundo os mesmos autores, a disponibilidade de um sistema ou item corresponde a probabilidade de um item estar disponível naquele momento para executar suas funções.

Os indicadores de desempenho apresentam a função de avaliar, acompanhar, sugerir e a partir disso auxiliar nas tomadas de decisão. Diante da necessidade de avaliar o desempenho do Programa TPM, diversos indicadores de desempenho são apontados para mostrar os retornos que essa metodologia traz. Um dos indicadores em destaque corresponde ao OEE (Eficiência Global de Equipamentos). O OEE tem como objetivo mensurar a frequência, a disponibilidade dos equipamentos, velocidade de produção e quantos produtos estão sendo produzidos que não geram refugos. Fugindo um pouco dos padrões literários relacionados aos indicadores de desempenho do TPM, podemos utilizar outros métodos para acompanhar o desenvolvimento do programa de melhoria. Esses métodos estão relacionados à indicadores empregados nos campos de conhecimento pertinente a manutenção: confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade. Esses métodos podem servir como complemento, assim como, aprofundamento em termos de conhecimento a respeito da vida útil do equipamento. Em geral, a proposta e justificativa desse trabalho é analisar a metodologia TPM através dos indicadores relacionados a confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade do equipamento, tendo o foco em um componente crítico. O estudo foi realizado durante a perspectiva de dois períodos: uma etapa antes da implantação do programa TPM e outro após a aplicação da metodologia no chão de fábrica.

1.1. Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo apresentar os resultados do desenvolvimento da metodologia relacionada a Manutenção Produtiva Total (TPM) através da comparação dos indicadores relacionados a confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade do equipamento antes e depois da implantação do TPM e da ação do grupo de Manutenção Autônoma.

1.2. Objetivos Específicos

O trabalho tem como objetivos específicos:

- Caracterizar a empresa;
- Descrever o desenvolvimento da metodologia TPM na empresa estudada;
- Descrever o equipamento onde o grupo de Manutenção Autônoma atua;
- Comparar os indicadores de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade – Antes e depois da utilização do programa TPM.

1.3 Metodologia

Segundo Asti Vera (1979), a necessidade de um estudo ou observação provém da existência de algum problema ou curiosidade, pois sem essa contrariedade não existe motivo para a realização da pesquisa. Diante disso, o trabalho desenvolvido esclarece elementos de pesquisa quantitativa. Esse método caracteriza-se pela abordagem quantitativa, tanto na pesquisa exploratória a partir do levantamento de dados, quanto no tratamento dessas técnicas estatísticas, vindo das mais simples até as que apresentam um grau maior de complexidade (Richardson, 1989).

Nesse estudo foi proposto uma análise, investigação e avaliação de um programa de melhoria, a partir de dados e experiências passadas como suporte para os indicadores de desempenho. Contudo, a metodologia abordada analisou um equipamento específico e acompanhou o seu desenvolvimento diante da aplicação das técnicas utilizadas no programa discutido.

Em relação à pesquisa teórica, o trabalho faz uma análise a partir da teoria que engloba os assuntos de Manutenção Produtiva Total, Manutenção Centrada em Confiabilidade,

Confiabilidade e Manutenção, sempre utilizando embasamentos teóricos para explicar os fatos e acontecimentos levantados.

Diante da pesquisa em campo, o estudo utilizou suporte a partir da observação dos fatos, fenômenos e coleta de dados que aconteceram na realidade a ser pesquisada. Contudo, os dados levantados foram interpretados com base em uma fundamentação teórica sólida e tratamento de dados a partir do auxílio de uma ferramenta computacional - Weibull++10® (RELIASOFT CORPORATION, 2015).

2 REVISÃO CONCEITUAL

2.1 Histórico do TPM (Manutenção Produtiva Total)

A partir da mecanização da indústria, ocorrida no final do século XIX, percebeu-se a necessidade de reparar as máquinas após alguma falha ou quebra. Em geral, a realização dessa atividade era designada aos responsáveis pela operação. Essa cultura foi estabelecida até 1914 quando, com o início da Primeira Guerra Mundial e a inserção da produção em série, estabelecida por Henry Ford, observou a necessidade da criação de grupos específicos para a realização das atividades relacionadas ao conserto das máquinas. Durante esse período, a manutenção teve uma característica relacionada a execução corretiva, sendo executada apenas quando o equipamento falhava ou quebrava, conhecida como a fase da Manutenção por Quebra (de Almeida & Souza, 2001).

Na chegada da Segunda Guerra Mundial, o cenário de manutenção corretiva precisou ser reformulado diante das necessidades do setor industrial. Almejando a maximização da velocidade de produção e imposição em relação ao acontecimento das falhas, passou-se a criação de um Programa de Prevenção de Falhas, com grau de importância semelhante ao processo de produção. A partir disso, na década de 50, foi consolidada a Manutenção Preventiva juntamente com o desenvolvimento da Engenharia de Manutenção, tendo como objetivo o planejamento, controle e análise das causas e efeitos das falhas.

Buscando a otimização por partes da substituição dos equipamentos com base no tempo e o desperdício desnecessário com paradas na produção para a realização da manutenção preventiva, a estratégia da Manutenção Preditiva passou a ser uma nova realidade dentro das indústrias. Com o avanço tecnológico em relação a computadores, instrumentos de medição e o apoio das Associações Nacionais de Manutenção, a predição de falhas pôde ser realizada com uma abordagem mais robusta (de Almeida & Souza, 2001).

Após o fim da Segunda Guerra Mundial, o Japão devastado tinha como meta a sua recuperação e consequentemente a reconstrução nacional. As empresas japonesas que estavam focadas no desenvolvimento da indústria bélica, tiveram um novo desafio: recompor suas indústrias e alcançar as metas governamentais de reconstrução nacional.

Segundo Tenório (2002), O Japão pós-guerra tinha um grande desafio, que era a exportação de produtos manufaturados, porém naquela época, suas indústrias tinham a característica de produzir produtos de baixa qualidade ou produtos de segunda linha.

Diante desse cenário catastrófico e agora competitivo, o Japão passou a adotar medidas que buscavam a eliminação de desperdícios e melhoria de procedimentos, que consequentemente, melhorariam a qualidade dos seus produtos e a produtividade de suas indústrias.

Edward Deming e Joseph Duran (Carrijo & Toledo, 2006) aliados com empresários japoneses remanescentes da crise pós-guerra, criaram uma forte mobilização nacional para a conscientização da população sobre a necessidade da busca da qualidade como um fator primordial para a sobrevivência e competitividade diante desse novo cenário econômico que emergia no pós-guerra.

A popularização dos conceitos relacionados à qualidade, produtividade e programas de manutenção tiveram inícios a partir da busca pela melhoria dos processos industriais, assim como a busca por aprimoramento das atividades empresariais. Como proposta a essas necessidades, o termo “Manutenção Produtiva Total” apareceu como resposta pela primeira vez no final dos anos 60, pela empresa Nippon Denso, um fornecedor de partes elétricas para a Toyota (Robinson & Ginder, 1995). Através dessa proposta, esse trabalho resultou no primeiro prêmio de excelência em manutenção produtiva (PM) do JIPM (*Japan Institute of Plant Maintenance*). Na década de 70, o TPM ganhou forças e se popularizou em todo o Japão. Já no Brasil, o TPM foi apresentado em 1986 pelo Sr. Seiichi Nakajima.

2.1.1 Objetivos do TPM (Manutenção Produtiva Total)

O objetivo principal do TPM é a eliminação total das perdas por toda empresa, o que acaba transformando todo o ambiente empresarial, através da maximização eficiente do sistema de produção, maximizando o ciclo total de vida útil dos equipamentos, abrangendo todos os departamentos da empresa e elevando, de maneira considerável, o conhecimento e autoestima dos colaboradores a partir do envolvimento de todos. De acordo com Nakajima (1989), a melhor prevenção contra quebras deve partir de um agente bem particular, o operador da máquina, que resulta da seguinte frase “Da minha máquina cuido eu”.

2.1.2 Estratégias do TPM

Na busca da maximização da produtividade, as estratégias do TPM diferenciam seis principais fontes causadores de perdas (Nakajima, 1989):

- Perdas por quebras em equipamentos;
- Perdas por ajustes na preparação;
- Perdas por paradas curtas de produção;
- Perdas por velocidades abaixo da nominal;
- Perdas devido as peças defeituosas de retrabalhos;
- Perdas decorrentes de start-up (regime de partida).

Através das estratégias na redução de perdas, a metodologia do TPM abrange resultados significativos para a organização. Os resultados abaixo, são exemplos de empresas que implantaram o TPM, e que estão em pelo menos 3 anos de desenvolvimento do programa (de Almeida & Souza, 2011).

Tabela 2.1 – Efeitos do TPM e resultados alcançados

Produtividade	Aumento em termos de valor agregado: 1,5 a 2 vezes. Decréscimo em relação ao número de quebras e falhas: 1/10 a 1/250.
Qualidade	Redução do índice de defeitos: 1/10. Decréscimo em relação ao número de reclamações: 1/5.
Custos	Redução do custo de fabricação: 30% a 40%.
Entrega	Redução do estoque de produtos acabados: 50%.
Segurança	Acidente com afastamento: Zero Poluição e Contaminação: Zero

Fonte: Adaptado de Almeida & Souza (2011)

O trabalho sistêmico do TPM, atinge também resultados intangíveis, mas que são bastante significativos para uma organização. Os resultados intangíveis são (Fleming & França, 1997):

- Melhoria da imagem da organização;
- Transformação do ambiente de trabalho;
- Aumento da confiança;
- Aumento da autoestima;

- Consolidação do controle autônomo.

Em geral, o TPM se constitui atualmente como um método de gestão focado na identificação e eliminação das perdas nos setores produtivos e administrativos. A utilização plena dos equipamentos, a eficácia dos processos e a melhor performance do fator humano conduzem a empresa a um cenário de custos competitivos e produtos de alta qualidade. As ações de prevenção, motivadas pela reeducação das pessoas e trabalhos de equipe permitem a aplicação da metodologia com baixos investimentos e alta capacidade de retorno financeiro.

2.1.3 Pilares do TPM

De acordo com Nakajima (1989), para a eliminação das seis principais fontes causadores de perdas, o TPM é implementado por oito atividades designadas como “8 pilares de sustentação do desenvolvimento do TPM”. Durante a implementação da metodologia imposta pelo TPM, mudanças significativas são sentidas na organização, sendo que essas mudanças precisam estar atreladas a rotina da empresa e metas necessitam ser estabelecidas e ajustáveis de acordo com o progresso do programa. Atualmente, os 8 pilares são:

- Manutenção Autônoma;
- Manutenção Planejada;
- Melhorias Específicas;
- Educação e Treinamento;
- Controle Inicial;
- Manutenção da Qualidade;
- TPM nas áreas administrativas (*TPM Office*);
- Segurança, Higiene, e Meio Ambiente.

2.1.3.1 Manutenção Autônoma

Esse pilar é o ponto de partida para a implementação efetiva do TPM. Atua com o enfoque do homem na operação, mudando sua visão sobre o trabalho e garantindo a

capacitação para a gestão autônoma. O operador passa a ter domínio do equipamento podendo prever sinais de defeitos, falhas e tomar providências necessárias para evitar que estes fatores embrionários se desenvolvam e se transformem em problemas graves.

Seus objetivos estão relacionados com o conhecimento para identificar as anomalias e saber como tratá-las. Contudo, a manutenção autônoma capacita o operador no conhecimento para rastrear as falhas da máquina e componentes operacionais, assim como, a importância de lubrificação apropriada que inclui métodos corretos de lubrificação e controle. Por fim, a manutenção autônoma habilita o operador no reparo das falhas descobertas.

2.1.3.2 Manutenção Planejada

Esse pilar tem a responsabilidade de planejar a manutenção em seu nível macro. Ao contrário do pilar de Manutenção Autônoma, o pilar de Manutenção Planejada tem como os principais gestores os setores de manutenção da empresa e seus executores são os próprios mantenedores, devido ao maior conhecimento técnico que permitirá um maior conhecimento dos equipamentos. Em geral, o objetivo do pilar de Manutenção Planejada é a aumentar a eficiência global dos equipamentos (OEE), com o aumento da disponibilidade operacional.

2.1.3.3 Melhorias Específicas

Segundo Suzuki (1994), a Melhoria Específica engloba todas as atividades que maximizam a eficácia global dos equipamentos, processos e plantas através de uma intolerante eliminação de perdas e da melhoria de rendimentos.

De acordo com Oprime, Monsanto e Donadone (2010):

“Uma característica do TPM é envolver desde o início o grupo em atividades de melhoria, denominadas de melhoria específica. Com isso, os resultados tendem a surgir rapidamente, motivando a participação e a obtenção do apoio da alta gerência para o projeto”

O objetivo da Melhoria Específica é gerenciar as informações de funcionamento dos equipamentos. Através de dados estatísticos e grupos de melhoria, esse pilar busca a otimização das perdas (eliminação). Em geral, o alvo é desenvolver a melhoria contínua ao processo de manutenção dos equipamentos.

2.1.3.4 Educação e Treinamento

Esse pilar tem a responsabilidade de gerenciar o controle do conhecimento dos operadores, mantenedores e lideranças inseridas no programa TPM. O objetivo é reduzir perdas por falhas humanas através da capacitação do mesmo, ou seja, através de treinamentos, aquisições de habilidades e autoestima (Blanchard, 1997). Portanto, na implantação do TPM, é necessário um planejamento robusto em relação aos treinamentos iniciais que o programa exige.

Segundo Ahuja e Kamba (2008), os objetivos primários do pilar de Educação e treinamento são:

- Melhorar habilidades pessoais no que se refere a tecnologia e controle de qualidade;
- Desenvolver funcionários polivalentes;
- Alinhar os colaboradores com os objetivos organizacionais;
- Avaliação periódica e atualização das habilidades dos funcionários.

O objetivo do pilar de Educação e Treinamento (E&T) não é capacitar os operadores a tornarem-se mantenedores, mas sim capacitar os operadores para serem facilitadores efetivos da equipe de manutenção, sendo responsabilidade dos operadores a gestão autônoma dos equipamentos (Wireman, 2004).

2.1.3.5 Manutenção da Qualidade

A partir do eficiente reparo das máquinas relacionadas a produção, o programa TPM tem como meta “zero defeitos” de produtos. Diante desse cenário, o gestor responsável pelo controle de qualidade e gerenciamento do sistema de gestão da qualidade deve atuar em conjunto com a gestão da manutenção, para atingir os objetivos em comuns.

2.1.3.6 Controle Inicial

Conhecido também como Gerenciamento Preventivo, o pilar de Controle Inicial concentra-se na utilização de técnicas relacionadas ao desenvolvimento de novos produtos e eficiência dos processos, assim como, no processo de aquisição de novos equipamentos.

Segundo a pesquisa desenvolvida por Rossi e Lima (2003), são poucas as empresas brasileiras que adotam o pilar de Controle Inicial dentro do programa TPM.

2.1.3.7 TPM nas áreas administrativas (*TPM Office*)

Conhecido como *TPM Office*, tem como a responsabilidade de implantar o programa TPM em todos os setores da organização. Com o objetivo de reduzir todas as perdas administrativas, esse pilar trabalha em cima da otimização dos processos buscando rapidez, qualidade e confiabilidade.

2.1.3.8 Segurança, Higiene e Meio Ambiente

O objetivo desse pilar é alcançar a meta de “zero acidentes”, através de uma política de segurança e higiene para todos os seus colaboradores. Outro objetivo de extrema importância desse pilar, está relacionado a otimizar processos que não afetem ou que minimizam o impacto ambiental.

2.2 Manutenção: Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade

Segundo Kardec e Lafraia (2002), o termo confiabilidade é aplicado em diversos setores de conhecimento, e um deles é dentro da área de gestão da manutenção. A confiabilidade refere-se à durabilidade de um determinado item, sem exercer falhas referente a sua função determinada no projeto, por um determinado período de tempo e sob as condições pré-estabelecidas (de Almeida & Souza, 2001). Falha pode ser entendida como o estado de inoperância de um sistema que não está executando a função estabelecida. Em outras palavras, a falha é definida quando um sistema deixa de executar sua missão para a qual foi destinada. Portanto, confiabilidade de um item pode ser definida como a probabilidade do evento falha não realizada dentro de um certo período de tempo t , de acordo com o conjunto ou especificações preestabelecidas.

2.2.1 Confiabilidade – Função Probabilística

Confiabilidade pode ser definida como a probabilidade um item funcionar durante o intervalo de tempo t . De acordo com a natureza probabilística, os conceitos probabilísticos relacionados à confiabilidade, resumem-se em:

- Função densidade de probabilidade;
- Função densidade de probabilidade acumulada.

A função densidade de probabilidade acumulada, também conhecida como *cdf* (*cumulative distribution function*), apresenta como parâmetro a variável T , que se refere ao tempo de vida do item, é estabelecido como a probabilidade do evento $\{T \leq t\}$ para o intervalo $-\infty < t < +\infty$. Em resumo, essa informação pode ser detalhada através da expressão abaixo, na qual representa a probabilidade da variável T em assumir valores pertencendo ao intervalo $(-\infty, t)$ (Fogliatto e Ribeiro, 2009).

$$F_T(t) = P[T \leq t] = \int_{-\infty}^t f_T(x) dx \quad \text{Equação 2.1}$$

No qual, a variável t corresponde ao tempo.

Em relação a f_T , a função corresponde à *função densidade de probabilidade*, ou *pdf* (*probability density function*), sendo definida como a derivada da *densidade de probabilidade acumulada* ou *cdf* $F_T(t)$.

$$f_T(t) = \frac{dF_T(t)}{dt} \quad \text{Equação 2.2}$$

A função descrita acima, pode ser relacionada com o tempo até a falha, também conhecido como *ttf*, em relação ao tempo t . Então, para simplificar a expressão, $F_{ttf}(t)$ será representada como $F(t)$.

$$f_{ttf}(t) = \frac{dF_{ttf}(t)}{dt} \quad \text{Equação 2.3}$$

$$F(t) = f_{ttf}(t) = P[ttf \leq t] \quad \text{Equação 2.4}$$

Nos estudos relacionados a confiabilidade, a função densidade de probabilidade, conhecida também com *cdf*, é definida por $f(t)$. Esta função refere-se a frequência relativa de ocorrência para cada valor da variável *ttf* (tempo até a falha). Portanto, a equação 2.3 pode-se reduzir a seguinte expressão:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad \text{Equação 2.5}$$

Segundo de Almeida e Souza (2001), $F(t)$ representa a probabilidade de que um ítem ou sistema falhará até o tempo t (variável de interesse). Considerando $R(t)$ como a probabilidade acumulada de não falha, logo o somatório de $R(t)$ e $F(t)$ deverá ser um valor unitário.

$$R(t) + F(t) = 1 \quad \text{Equação 2.6}$$

2.3.2 Distribuição Weibull

A distribuição de probabilidade Weibull é uma das mais populares e aplicáveis distribuições dentro das áreas de análise e previsão de falhas de todos os tipos de não execução de algum item ou sistema. A sua notoriedade deve-se ao fato de que o modelo apresenta uma grande variedade de formas, mas com um papel muito importante: a taxa de falha é monótona, ou seja, podendo ser constante, crescente e decrescente (Freitas & Colosimo, 1997).

A distribuição Weibull foi nomeada graças ao trabalho de Waloddi Weibull (1887 – 1979), cujo esforço modelou a seguinte função:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t}{\eta} \right]^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{Equação 2.7}$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{Equação 2.8}$$

Logo, a função Confiabilidade para $t > 0$, é dada por:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{Equação 2.9}$$

A função relativa a taxa de falhas é dada a seguir:

$$h(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t}{\eta} \right]^{\beta-1} \quad \text{Equação 2.9}$$

Analisando os parâmetros da função acima, percebe-se que β corresponde ao parâmetro da forma e η corresponde ao parâmetro de escala. Quando β apresenta valor igual a 1, a taxa de falha é constante, apresentando assim uma função exponencial. Quando β apresenta valor

acima de 1, a taxa de falha é crescente, tornando a distribuição Weibull em uma distribuição Normal. Quando β é menor que 1, a taxa de falhas é decrescente.

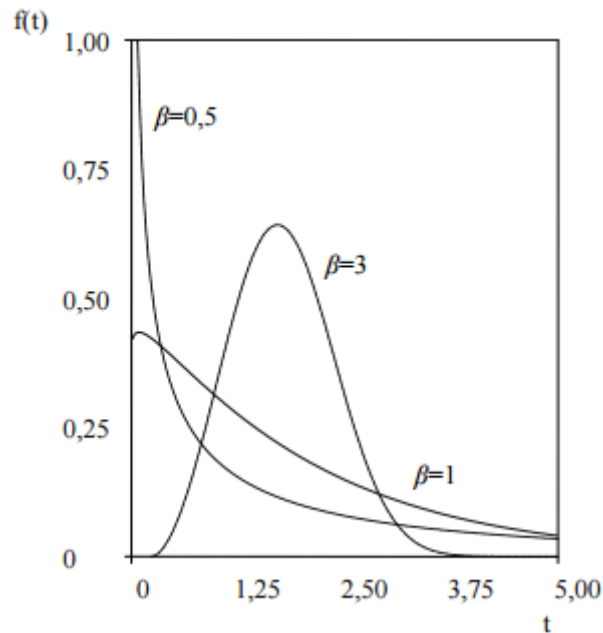


Figura 2.1 – Variação dos parâmetros da Distribuição Weibull
Fonte: Fagundes et al (2011)

2.3.2.1 Comportamento da taxa de falhas: Curva da Banheira e as Estratégias de Manutenção

A partir da análise da equação referente a função relativa a taxa de falhas, observa-se que o seu comportamento apresenta uma curva, cuja aparência lembra a figura de uma banheira. Dessa forma, o nome dessa curva é dado como curva da banheira (*bathtub curve*), cujo desenho tem bastante importância na análise do comportamento da taxa de falha de um equipamento ao longo do tempo. A curva reflete as fases da vida característica de um sistema: mortalidade infantil, maturidade, fim da vida útil do sistema (mortalidade senil). Essa representação está associada com o parâmetro β (Sellitto, 2005).

- Fase I – corresponde a uma taxa de falha decrescente;
- Fase II – corresponde a uma taxa de falha constante;
- Fase III – corresponde a uma taxa de falha crescente.

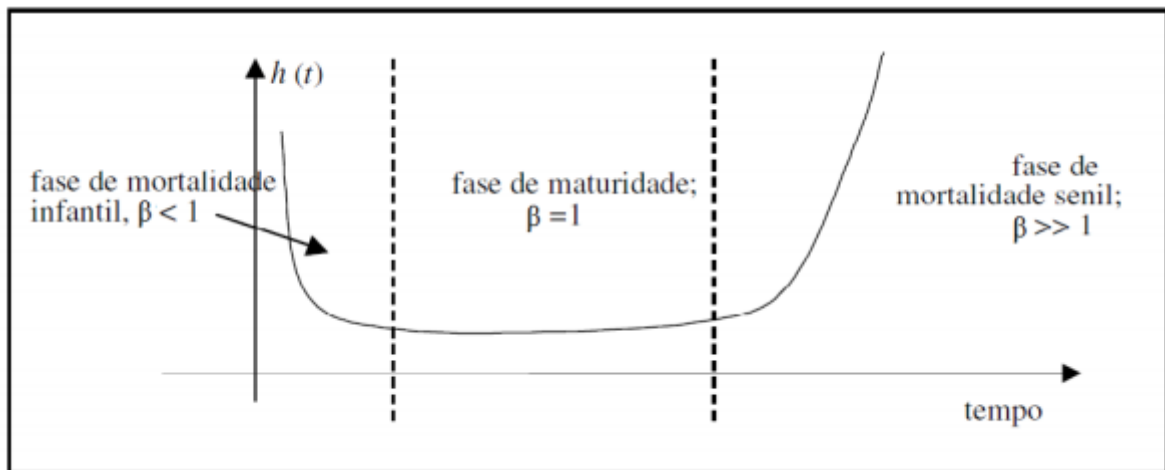


Figura 2.2 – Curva da Banheira e ciclo de vida de um equipamento ou sistema

Fonte: Sellitto, 2005

Na fase I, conhecida como fase de mortalidade infantil, as falhas são denominadas de falhas precoces (de Almeida & Souza, 2001). As falhas são decorrentes por defeitos congênitos, fraquezas, oriundas de problemas de projeto ou fabricação, peças defeituosas, processos de produção inadequados, ou até mesmo aspectos relacionados ao transporte inadequado ou instalação de sistemas ou equipamentos. Conforme o desenho da curva, a taxa de falha decresce com o tempo, proveniente de reparos dos componentes frágeis ou à medida que são detectados e reparados erros de projeto ou de instalação. Nessa fase, a melhor estratégia de manutenção é a corretiva, não só corrigindo a falha, mas como também corrigindo para que a falha não retorne (Sellitto, 2005).

Na fase II, onde a taxa de falha apresenta um comportamento constante, é conhecida como fase de maturidade. Nesse período, as falhas são consideradas pontuais ou aleatórias, externas ao sistema (difícil controle). Essas falhas aleatórias podem ser reduzidas através de uma projeção de equipamentos mais robustos ou a partir de uma padronização da operação. Nessa fase, a melhor estratégia é a preditiva, pois através do monitoramento das condições vitais do equipamento, a detecção das falhas no início da fase de desgaste será mais fácil de ser percebida.

Na fase III, percebe-se o aumento da taxa de falhas, que representa o fim da vida útil do equipamento ou item. Essa fase é caracterizada pelo desgaste do equipamento ou componente, devido a fatores externos e internos. Para produzir produtos com uma vida útil mais prolongada, deve-se focar para o projeto em questão, através da utilização de

componentes confiáveis, um plano robusto de inspeção e um planejamento de manutenção que perceba que o equipamento está entrando na fase de mortalidade senil. Nessa fase, a melhor estratégia é a preventiva. A partir do momento que o equipamento demonstra que irá falhar, a manutenção preventiva irá aproveitar a melhor oportunidade para substituir ou reformar os itens.

2.3.3 Manutenibilidade e Disponibilidade

Segundo de Almeida e Souza (2001):

“ A manutenibilidade surgiu dentro do contexto de projeto de equipamentos, tendo como preocupação buscar concepções de projeto que permitissem uma maior facilidade na realização da manutenção ou reparo de um item”.

Segundo a NBR 5462 (1994): “Facilidade de um item em ser mantido ou recolocado no estado no qual pode executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios descritos”. A manutenibilidade tem como objetivo principal apresentar em qual tempo médio a equipe de manutenção terá sucesso em fazer os devidos reparos. Em outras palavras, a manutenibilidade $M(t)$ corresponde a probabilidade de que um item será restaurado para suas condições originais dentro de um tempo T , quando os reparos requeridos são executados.

$$M(ttr) = P(T \leq ttr) \quad \text{Equação 2.11}$$

Onde, T corresponde ao tempo efetivo para a realização do reparo e ttr conhecido como o tempo para o reparo (*time to repair*).

Para a estimação da manutenibilidade, os parâmetros MTTF (*mean time to failure*) e MTBF (*mean time between failure*) são primordiais para a análise requerida. O MTTF é definido como o valor esperado da função densidade de probabilidade, de acordo com a equação 2.12. Entretanto, no tratamento de dados de sistemas reparáveis, o MTBF deverá ser utilizado.

$$MTTF = E[T] = \int_0^{+\infty} tf(t)dt = \int_0^{+\infty} R(t)dt \quad \text{Equação 2.12}$$

O tempo médio entre falhas (MTBF) e o tempo médio para reparos (MTTR) são importantes para decisões dentro de um planejamento e gestão da manutenção. O MTBF é similar ao MTTF, pois difere que o primeiro corresponde a itens reparáveis, cuja renovação traz o item para o estado original. O MTTR, é obtido através da seguinte expressão:

$$MTTR = \int_0^{+\infty} tg(t)dt \quad \text{Equação 2.13}$$

Na qual, a função $g(t)$ corresponde a função densidade de reparo (Carvalho, 2008).

Quando o estudo é analisado em sistemas reparáveis, a manutenibilidade tem papel importante, pois irá considerar outro indicador de desempenho para o sistema: disponibilidade. Essa medida de desempenho tem a função de apresentar se o item estará provavelmente disponível em relação a uma boa confiabilidade e uma boa manutenibilidade (de Almeida & Souza, 2001). A disponibilidade reflete a capacidade de um item estar em condições de executar sua função estabelecida em certo momento, levando os aspectos de confiabilidade e manutenibilidade (NBR 5462, 1994).

Através dos valores de MTBF e MTTR, a disponibilidade pode ser calculada da seguinte forma:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad \text{Equação 2.14}$$

3 *Estudo de Caso*

O estudo de caso realizado, com o objetivo de avaliar o desempenho do programa de Manutenção Produtiva Total (TPM), foi executado em uma empresa que atua no ramo de acumuladores elétricos, localizada na região agreste do estado de Pernambuco. A coleta de dados e observações foram realizadas através de buscas em bancos de dados e experiências relatadas, respeitando as limitações e imposições estabelecidas pela organização.

3.1. A empresa

A empresa estudada atua no setor de produção e distribuição de acumuladores elétricos para o Brasil, América do Sul e Europa. Situada no agreste pernambucano, a empresa fornece acumuladores para o setor automotivo, linha estacionária, tracionário, metroferroviário e, recentemente, para o setor motociclístico. Em virtude da recente instalação e produção da linha de baterias de moto, o presente trabalho aplicou o estudo no setor de montagem das baterias de motocicletas para observar a aplicação da metodologia TPM.

3.2. Programa Manutenção Produtiva Total (TPM) na organização estudada

O programa TPM encontra-se no terceiro ano consecutivo em execução na empresa analisada. Desde 2013, a metodologia do programa vem trazendo bons resultados, refletindo num aumento de produtividade, e consequentemente, tornando a empresa mais competitiva no mercado inserido. Com a presença notória de consultores, o programa TPM vem se tornando algo inserido na cultura da empresa, sendo vista não só no chão de fábrica, mas como também na comunicação entre todos os colaboradores da organização.

O presente estudo atuou e acompanhou o desenvolvimento do programa TPM que foi implantando em uma recente linha de montagem de baterias de moto. Em virtude da necessidade de atender a demanda, atrelada com a pouca experiência dos setores administrativos e operacionais a respeito do produto e execução do equipamento, os pilares da Manutenção Produtiva Total visaram a necessidade de implantar grupos de Manutenção Autônoma (GMA) e Melhoria Específica (GME) nos equipamentos mais críticos e que acarretavam a geração de gargalos produtivos.

3.3 Grupo de Manutenção Autônoma

O grupo de Manutenção Autônoma - GMA foi criado no segundo semestre de 2015, com o objetivo e missão de melhorar a eficiência dos equipamentos e desenvolver a capacidade dos operadores para a execução de pequenos reparos e inspeções. Composto por 8 colaboradores, desde operadores a mantenedores, o grupo tem como indicadores de desempenho a quantidade de dias sem acidentes de trabalho, índice de falha/quebra (número de falhas do equipamento mensal), produção de baterias por minuto e quantidade de reprovações no mês.

3.4 Equipamento

O equipamento principal, onde o GMA atua, tem como função principal a solda de elementos ou blocos, que são constituídos por placas positivas e negativas. A função secundária é a construção dos polos negativos e positivos.

Apesar do TPM ter sido implantado na empresa desde 2013, o grupo de Manutenção Autônoma vem atuando nesse equipamento desde o segundo semestre de 2015. A formação do GMA nesse equipamento foi devido a criticidade operacional, aos índices elevados de falhas e quebras, e principalmente pelo fato do equipamento ser considerado um gargalo produtivo (velocidade de produção menor em comparação aos outros equipamentos da linha).

3.5 Componentes principais do equipamento em análise

O estudo realizado buscou análise do comportamento dos componentes principais do equipamento que foi implantando o grupo de Manutenção Autônoma – GMA. Os principais componentes são:

- Garras;
- Sensores;
- Coletor;
- Bomba de Chumbo;
- Cesta;
- Mesa Jig Box;
- Carro de Carga e Descarga;

- Escovas;
- Tanque de fluxo;
- Sistema de Refrigeração;
- Molde.

3.6 Escolha do componente principal como foco no estudo

Diante do levantamento dos principais componentes do equipamento estudado, foi analisado a quantidade de falhas de cada componente e o somatório do tempo de reparos (em horas) no período em que a metodologia TPM não estava sendo aplicada no equipamento. As tabelas 3.1 e 3.2 apresentam esses dados.

Tabela 3.1 – Componentes e quantidade de falhas

Componentes	Número de falhas
Garras	42
Cesta	19
Molde	8
Sensores	7
Coletor de Chumbo	7
Mesa Jig Box	5
Carro de Carga e Descarga	5
Sistema de Refrigeração	5
Escova de Fluxo	3
Bomba de Chumbo	1
Tanque de Fluxo	1

Fonte: Autor

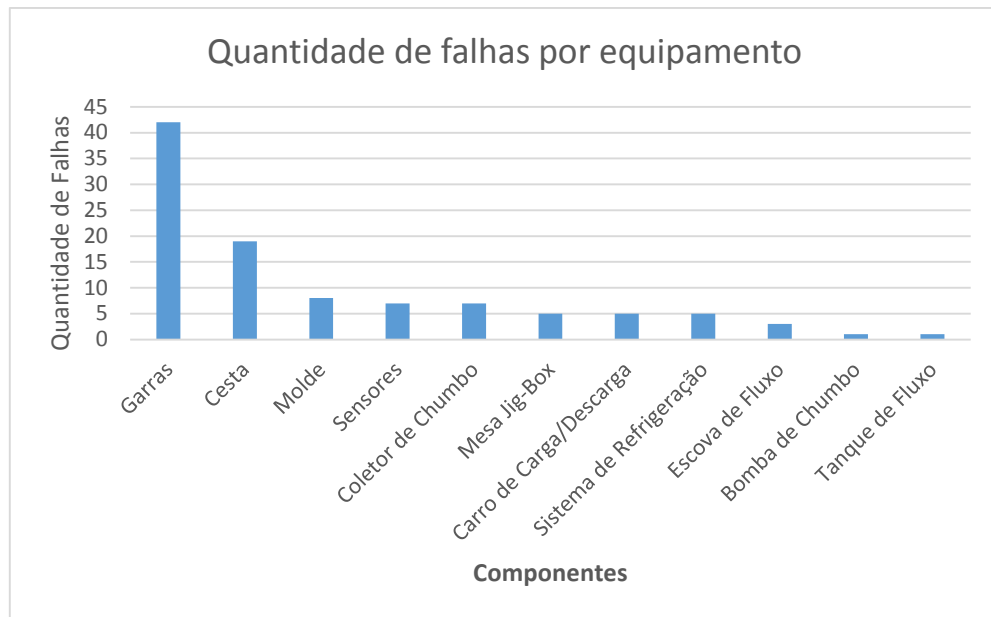


Figura 3.1 – Número de falhas por componente

Fonte: Autor

Tabela 3.2 – Componentes e tempo de reparo (TR)

Componente	Tempo de Reparo (TR)
Garras	80,48
Cesta	39,52
Coletor	19,6
Molde	14,45
Mesa Jig Box	10,57
Sensores	7,19
Sistema de Refrigeração	6,19
Carro de Carga e Descarga	4,35
Escovas	1,91
Tanque de Fluxo	0,83
Bomba de Chumbo	0,67

Fonte: Autor

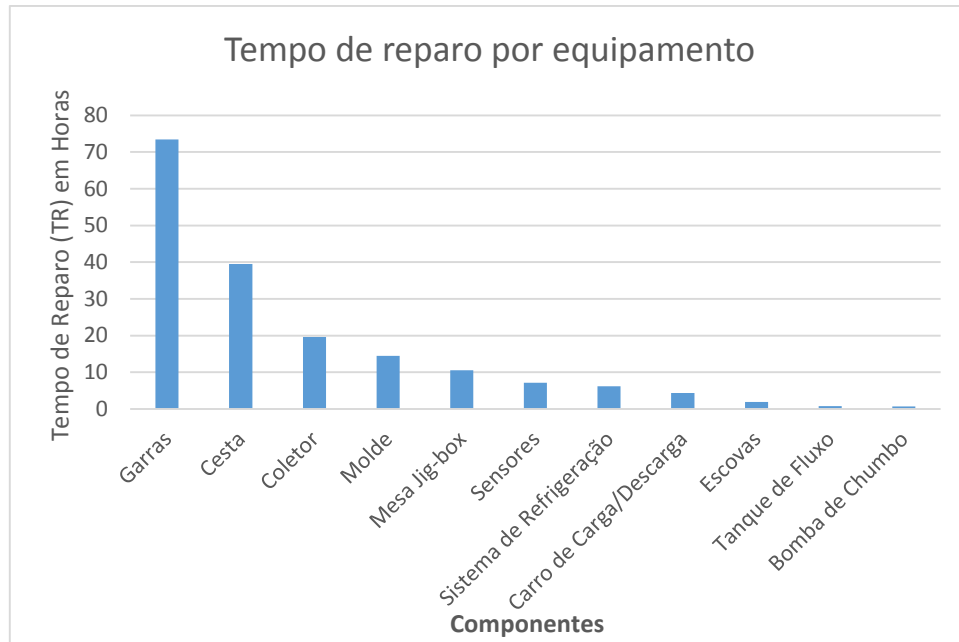


Figura 3.2 – Somatório dos tempos de reparo por componente

Fonte: Autor

Analisando as tabelas 3.1 e 3.2 e as figuras 3.1 e 3.2, ficou notoriamente visível que o componente que apresentou o maior número de falhas e que desperdiçou o maior tempo de reparo foram as Garras. Em virtude disso, esse componente foi escolhido como o foco do estudo. Nos próximos capítulos iremos analisar os fatores relacionados a confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade desse componente antes e depois da implantação do programa de Manutenção Produtiva Total (TPM).

4 **Resultados e Discussões**

O objetivo desse trabalho é realizar a análise de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade de um equipamento instalado em uma linha de montagem de baterias. O reflexo dos dados referentes a análise de confiabilidade, irá trazer uma resposta em relação ao desenvolvimento da metodologia da Manutenção Produtiva Total (TPM) aplicada no setor. Para que o estudo pudesse ser realizado, foi necessário um levantamento de dados através do banco de informações disponibilizado pelo setor de Engenharia de Manutenção da organização. Os dados levantados correspondem as falhas do equipamento no período de junho de 2015 a maio de 2016. O período escolhido corresponde as fases em que o equipamento funcionou sem a aplicação da metodologia TPM e o período em que o programa resultou mudanças na execução do equipamento.

O programa TPM, em especial a criação do grupo de Manutenção Autônoma – GMA, foi criado em outubro de 2015, porém todas as auditorias e os efeitos do programa só foram sentidas a partir de janeiro de 2016. Contudo, o estudo irá apresentar duas fases:

- Junho de 2015 a dezembro de 2015 – período correspondente a execução do equipamento sem a presença do TPM aplicado no setor, em especial sem a execução fiel do grupo de Manutenção Autônoma;
- Janeiro de 2016 a maio de 2016 – período corresponde a execução do equipamento com a presença do TPM, tendo em vista a execução notória do grupo de Manutenção Autônoma no equipamento. Nesse período, as auditorias começaram a ser realizadas para acompanhar o desenvolvimento do programa.

Em um sistema reparável, as análises das falhas são subordinadas a duas variáveis aleatórias de interesse: tempo entre falhas (*TBF*) e tempo de reparo (*TR*). Após a ocorrência de uma falha, será considerado nesse trabalho que a execução de reparo será realizada imediatamente e que a qualidade do reparo irá trazer o sistema ou componente em sua configuração inicial, ou seja, de acordo com a literatura, o sistema falho irá retornar as suas configurações iniciais. Essas considerações utiliza o termo “*as good as new*” (Fagundes et al., 2011).

4.1 Análise de confiabilidade e manutenibilidade do componente escolhido

Toda modelagem para a obtenção dos resultados e gráficos exibidos foram realizados através do software Weibull++10® (RELIASOFT CORPORATION, 2015).

4.1.1 TBF e TR: análise do equipamento antes da implantação da metodologia TPM

A partir de um estudo realizado a partir dos dados referentes as falhas das Garras, foi possível extrair as informações e motivos das falhas geradas, como também, a possibilidade de calcular as variáveis tempo entre falhas (*TBF*) e tempo de reparo (*TR*). A tabela 4.1 apresenta uma amostra do comportamento dessas variáveis.

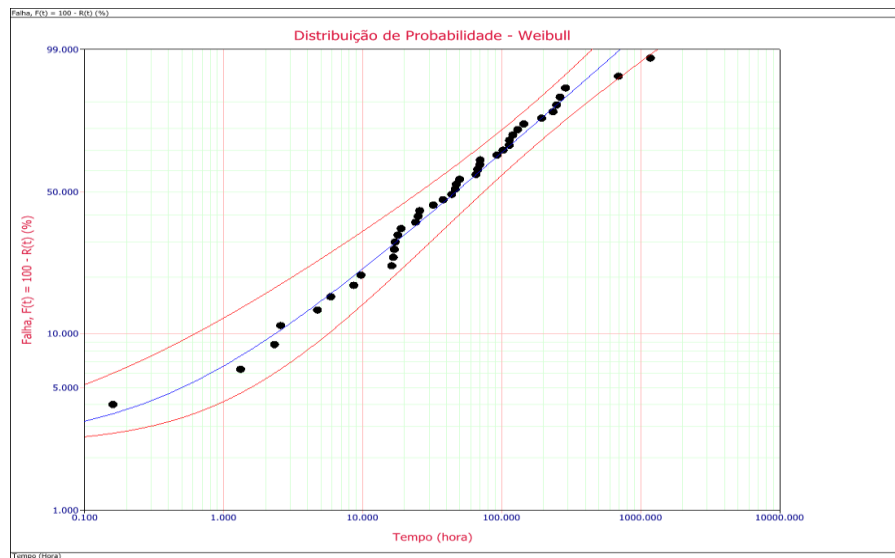
Tabela 4.1 – Amostra parcial do comportamento das variáveis TBF e TR antes da implantação do TPM

Data Início	Hora Início	Data Fim	Hora Fim	TBF (Hora)	TR (Hora)
24/07/2015	10:00	24/07/2015	11:40	16,25	1,67
24/07/2015	14:00	24/07/2015	15:55	2,33	1,92
27/07/2015	11:20	27/07/2015	12:45	67,41	1,42
27/07/2015	15:10	27/07/2015	17:05	2,58	1,75
06/08/2015	11:40	06/08/2015	12:25	234,58	0,75
07/08/2015	12:30	07/08/2015	16:45	24,08	4,25
18/08/2015	16:15	18/08/2015	16:30	263,5	0,25
21/08/2015	14:50	21/08/2015	15:50	70,33	1
26/08/2015	9:40	26/08/2015	11:10	113,83	2,17
27/08/2015	13:00	27/08/2015	16:04	25,83	3,08
28/08/2015	9:00	28/08/2015	9:50	16,93	0,83
02/09/2015	10:30	02/09/2015	12:00	120,66	1,5

Fonte: Autor

Após os cálculos do TBF e TR, foi realizado o tratamento e modelagem dos dados através do software apresentado anteriormente. Para os cálculos de confiabilidade e manutenibilidade, observou-se que a distribuição de probabilidade Weibull descreveu adequadamente os dados relacionados aos tempos entre falhas. Com um nível de confiança de 95%, a figura 4.1 apresenta a adequação dos dados com relação a distribuição de probabilidade.

Figura 4.1 – Adequação dos dados com a distribuição de probabilidade Weibull



Fonte: Autor

Após a simulação dos dados, foi encontrado $\beta = 0,7064$ e $\eta = 82,649$. Através do fator de forma β , nota-se que o valor foi inferior a 1 ($\beta < 1$), correspondendo a fase de mortalidade infantil tendo como referência a curva da banheira. Conclui-se que a afirmação é verdadeira, pois o equipamento possui menos de 1 ano de utilização. Segundo Sellitto (2005), a melhor estratégia de manutenção para essa fase é a corretiva.

4.1.2 TBF e TR: análise do equipamento após a implantação da metodologia TPM

As informações trazidas nesse próximo tópico, representará o comportamento das Garras após a implantação da metodologia TPM, e em especial a presença marcante das ações do grupo de Manutenção Autônoma – GMA. Após a coleta de dados, as variáveis TBF e TR foram calculadas e são apresentas na tabela 4.2. Vale salientar que esses dados foram coletados no período de janeiro de 2016 a maio de 2016.

Tabela 4.2 - Comportamento das variáveis TBF e TR depois da implantação do TPM

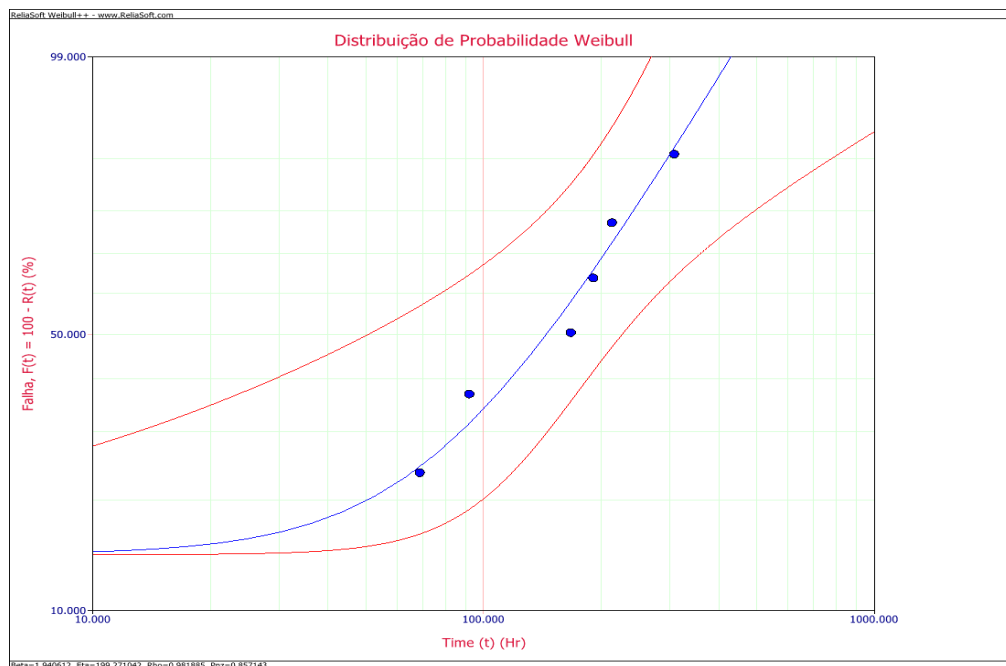
Data Início	Hora Início	Data Fim	Hora Fim	TBF (Hora)	TR (Hora)
12/01/2016	10:05	12/01/2016	11:05	-	1
15/01/2016	7:50	15/01/2016	16:30	68,75	8,67
28/01/2016	12:14	28/01/2016	14:45	307,733	2,52
04/02/2016	14:10	04/02/2016	14:40	164,41	0,5
08/02/2016	10:43	08/02/2016	11:35	92,05	0,87
16/02/2016	10:45	16/02/2016	11:40	191,166	0,92

25/02/2016	9:00	25/02/2016	10:30	213,33	1,5
------------	------	------------	-------	--------	-----

Fonte: Autor

Com um nível de confiança de 95%, a distribuição de probabilidade Weibull também descreveu adequadamente os dados relacionados aos tempos entre falhas. Seguindo o mesmo procedimento e análise realizada na avaliação antes da implantação do TPM, a figura 4.2 relata essa adequação.

Figura 4.2 – Distribuição de Probabilidade Weibull depois da implantação do TPM



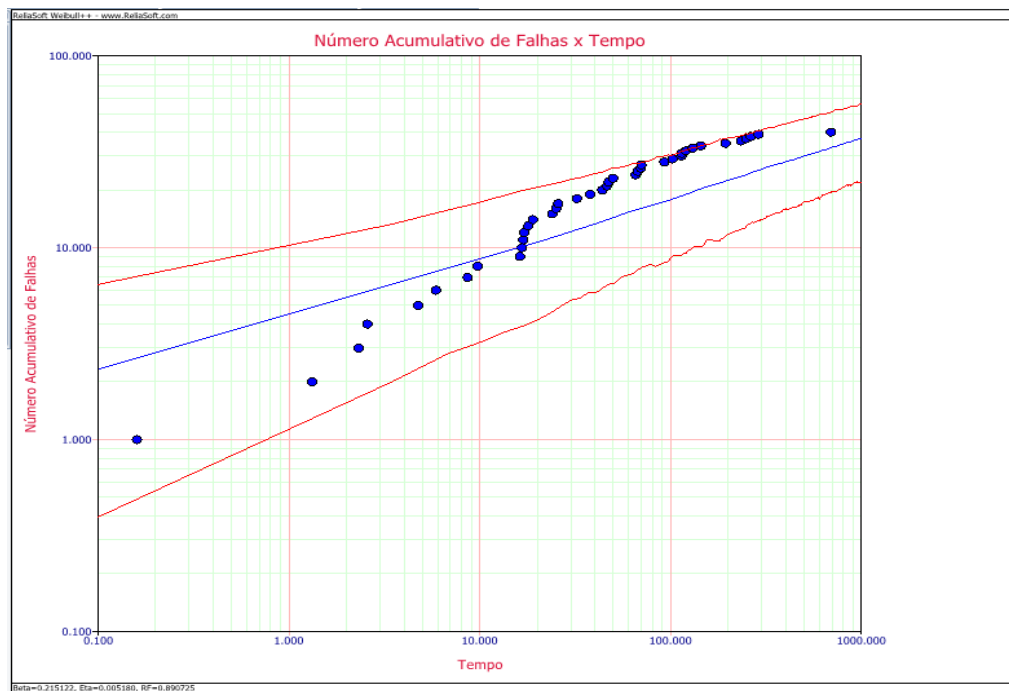
Fonte: Autor

Diante da simulação dos dados referentes aos tempos entre falhas, foi encontrado $\beta = 1,9406$ e $\eta = 199,27$. Analisando o valor de fator de forma β , percebe-se que o valor é maior que 1 ($\beta > 1$), caracterizando a fase de mortalidade senil. Nesse caso, a melhor e mais adequada estratégia relacionada a manutenção é a preventiva.

4.2 Confiabilidade, Probabilidade de Falha e Quantidade de Falha: análise do equipamento antes e depois da implantação da metodologia TPM

As figuras 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 irão apresentar o comportamento do componente em relação a sua confiabilidade, a probabilidade de falha, e quantidade de falhas. Todos os gráficos possuem um nível de confiança de 95%.

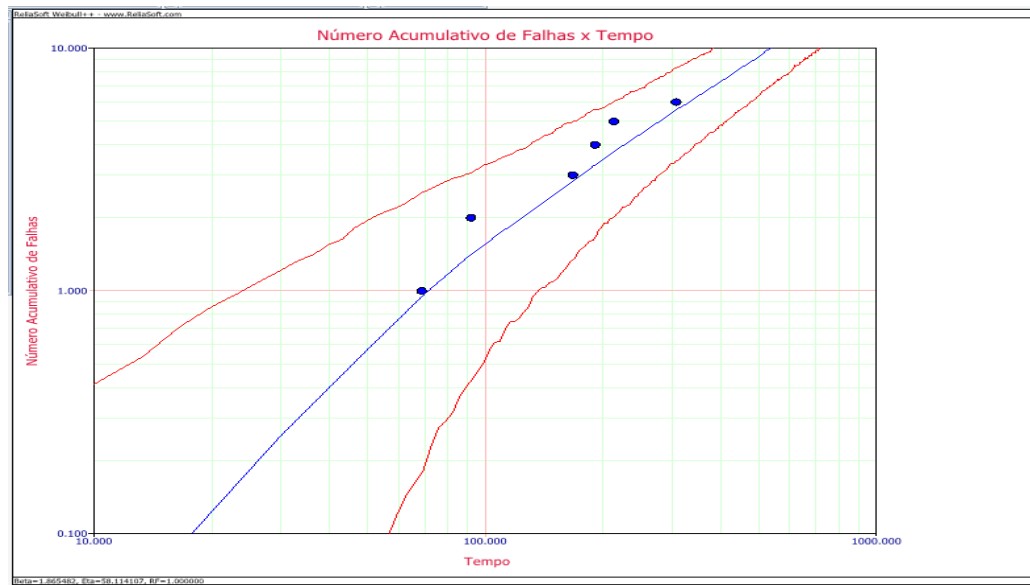
Figura 4.3 – Número acumulado de Falhas antes da implantação do TPM



Fonte: Autor

A figura 4.3 apresenta o número acumulado de falhas antes da implantação do TPM durante o passar do tempo. Percebe-se que numa simulação de até 1000 horas, o número de falha varia entre 1 e 10 falhas acumulativas.

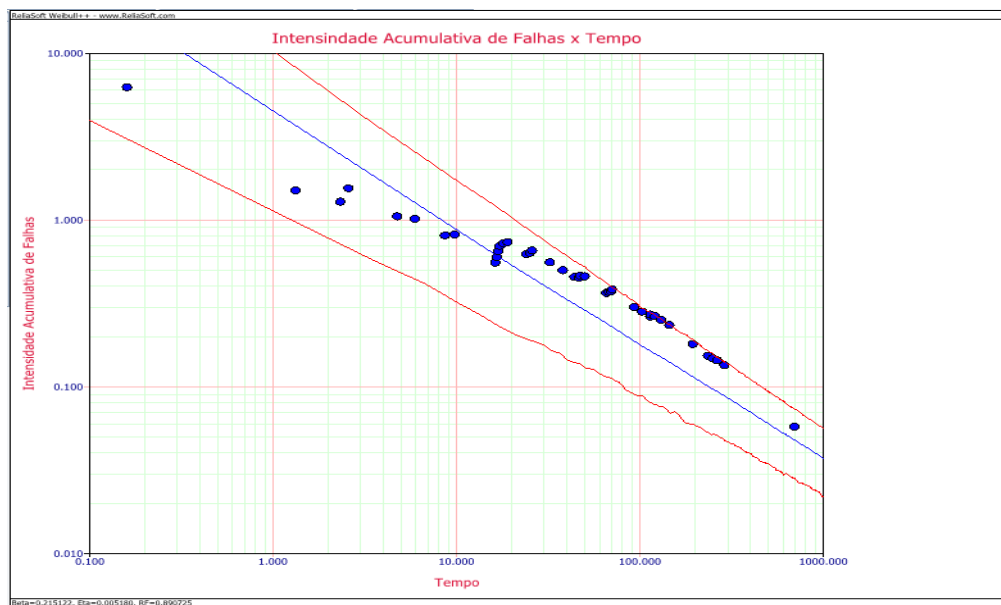
Figura 4.4 - Número acumulativo de Falhas depois da implantação do TPM



Fonte: Autor

Em relação a figura 4.4, temos o comportamento das falhas em relação ao seu número acumulativo de falhas. Em comparação ao gráfico da figura 5.3, percebe-se que o número acumulativo de falhas iniciaram-se após um período de 10 horas de simulação

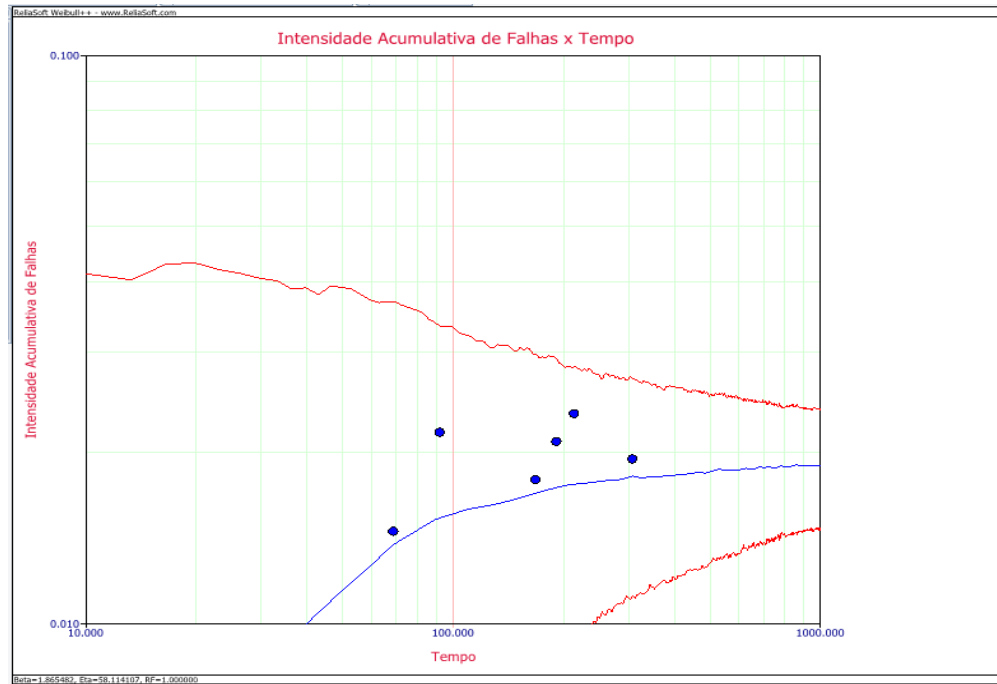
Figura 4.5 – Intensidade Acumulativa de Falhas antes da implantação do TPM



Fonte: Autor

Na fase de mortalidade infantil, a taxa de falhas é alta, porém decrescente. Diante disso, vemos que essa afirmação é refletida na figura 4.5, no qual a intensidade de falha vem decaído com o passar do tempo.

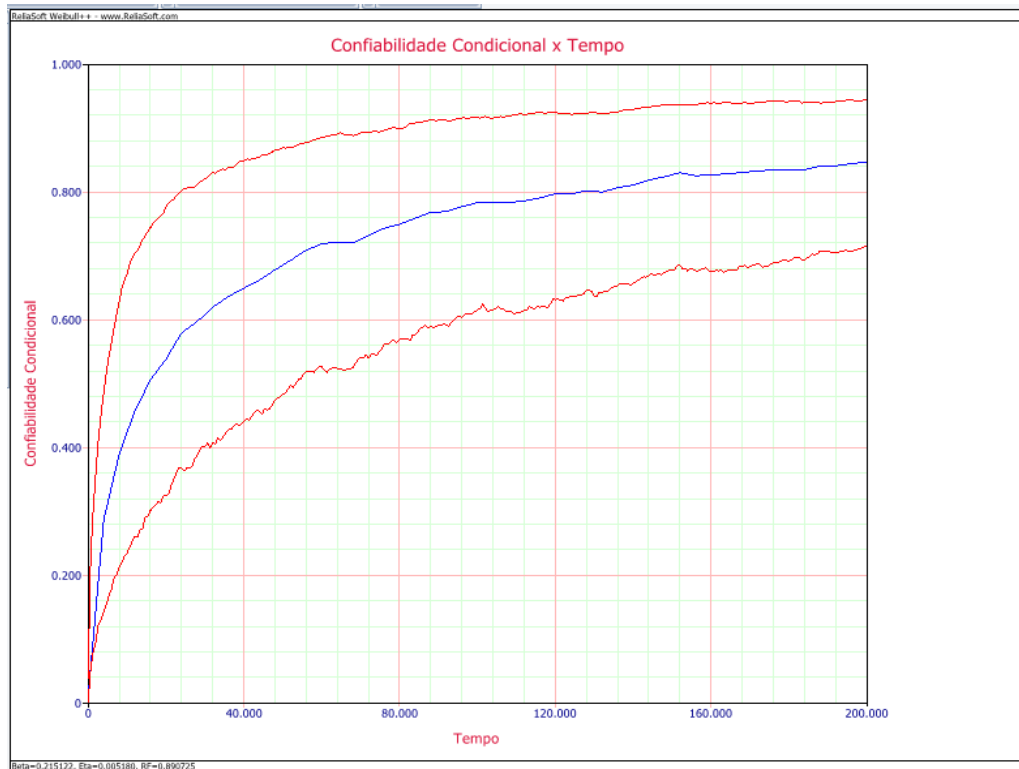
Figura 4.6 – Intensidade Acumulativa de Falhas depois da implantação do TPM



Fonte: Autor

Na fase que corresponde a mortalidade sênil (fase III), a taxa de falha apresenta um crescimento que representa o início do período final de vida do componente. Através da interpretação da figura 4.6, percebe-se que essa afirmação está sendo refletida graficamente. Vale salientar, que os dados do gráfico da figura 4.6 corresponde ao período em que o TPM estava sendo executado.

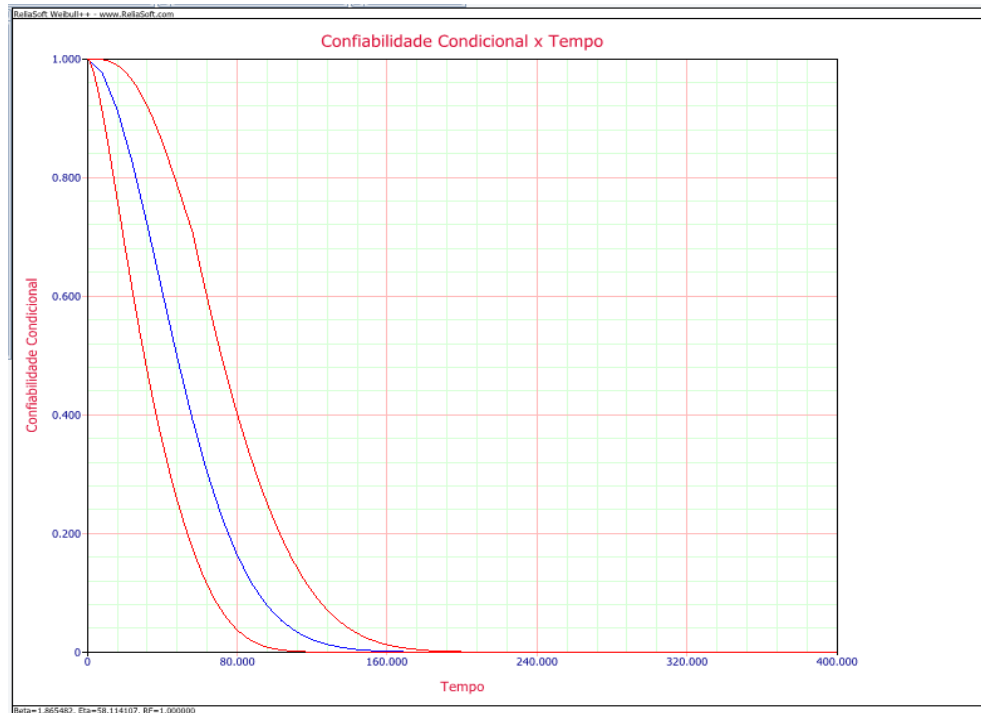
Figura 4.7 – Confiabilidade Condicional antes da implantação do TPM



Fonte: Autor

O gráfico da figura 4.7 corresponde a confiabilidade das Garras antes da implantação do TPM. Percebe-se que inicialmente a confiabilidade desse componente era baixíssima nas primeiras horas de simulação. No entanto, a confiabilidade apresentou um crescimento considerado, em reflexo ao decréscimo da taxa de falhas decorrente à detecção e reparos executados nesse componente.

Figura 4.8 – Confiabilidade Condicional depois da implantação do TPM



Fonte: Autor

Na fase de mortalidade senil, a taxa de falha apresenta um comportamento crescente devido ao envelhecimento do item. Em virtude disso, a confiabilidade do item apresenta um decréscimo com o passar do tempo. Podemos concluir essa afirmação analisando a figura 4.8, no qual a confiabilidade no início da simulação é altíssima, porém com o passar do tempo, esse comportamento começa a decair consideravelmente.

4.3 Avaliação geral do componente: antes e depois da implantação do programa TPM

Os próximos tópicos têm o objetivo de apresentar de forma direta e simplificada a avaliação das Garras antes e depois da implantação da metodologia TPM com todos os indicadores relacionados a confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade. Em geral, percebe-se a melhoria do componente após a implantação do programa através dos indicadores mais simples, ou seja, através do número de falhas e tempo de reparo. Porém, para enriquecer o estudo, os pontos em destaques a seguir servem para mostrar o quanto essa metodologia TPM pode melhorar o equipamento, colaboradores, e por fim, a organização.

4.3.1 Número de falhas e tempo de reparo

Com a implantação do TPM, percebe-se que as Garras apresentaram outro comportamento em relação a quantidade de falhas e tempo de reparo. Em geral, no período analisado (janeiro – maio 2016), as Garras apresentaram uma redução de 6 falhas e um somatório de 15.98 horas em relação ao tempo de reparo. Comparado com o período em que as Garras executaram sua função sem a implantação do TPM, nota-se que tiveram um ganho de 85,71% em relação ao número de falhas e uma eficiência de 80,14% em relação ao tempo de reparo.

4.3.2 Distribuição Weibull, Curva da Banheira e Estratégia de Manutenção

Através da modelagem dos dados com a utilização da distribuição Weibull, percebe-se a distinção entre os parâmetros do fator de forma, que tem uma relação direta com as fases da curva da banheira e com as estratégias de manutenção.

Antes da implantação do TPM, o valor de β foi menor que 1, ou seja, apresentou que o componente se encontra na fase de mortalidade infantil. No entanto, com a variação do tempo, as Garras deixaram a fase I e passaram para a fase III, ou seja, passaram para a fase de mortalidade senil ($\beta > 1$).

Em relação as estratégias de manutenção, no período anterior a implantação do TPM, a manutenção adequada em relação a situação do componente era a manutenção corretiva devido as falhas prematuras. A manutenção corretiva tem como princípio a correção das deficiências do projeto ou de instalações do equipamento (Sellitto, 2005). Com o passar do tempo, essa perspectiva de ações corretivas foi retirada, cabendo a uma estratégia voltada para a manutenção preventiva. A manutenção preventiva é indicada quando a taxa de falhas é crescente. Essas falhas são causadas pelo envelhecimento, corrosão, fadiga ou degradação. Segundo Sellitto (2005), a troca antecipada evitará a possível quebra.

4.3.3 Análise do Ciclo de Vida

O próximo tópico irá trazer aspectos para quantificar a característica de vida das Garras – antes e pós TPM – para entender sua confiabilidade. De acordo com dados levantados, o testes foram realizados através do software em questão, simulado em condições normais de uso do componente.

4.3.3.1 Mean Time Between Failures – MTBF

O objetivo é estimar a média de vida das Garras no período antes e pós TPM. Nesse caso, a simulação apresentou os seguintes valores:

- MTBF Acumulativo (100 horas)
 - Antes TPM = 5,62 horas;
 - Depois TPM = 66,75 horas.

O MTBF acumulativo do período que iniciou a implantação do TPM foi igual a 66,75 horas. Nesse caso, isso significa que no período 0 até 100 horas, em média, o tempo entre as falhas foi de 66,75 horas.

- MTBF Instantâneo (100 horas)
 - Antes TPM = 23,55;
 - Depois TPM = 51,34.

O MTBF instantâneo do período que iniciou a implantação do TPM foi igual a 51,34 horas. Contudo, isso representa que no próximo intervalo pequeno dt após 100 horas, o tempo médio entre falhas corresponderá a 51,34 horas.

4.3.3.2 Intensidade de Falha

- Intensidade de falha acumulativa (100 horas)
 - Antes TPM = 0,1777;
 - Depois TPM = 0,014.

Com a metodologia do TPM em execução, a intensidade de falha acumulativa correspondeu a 0,014. Na interpretação desse dado, isso significa que num período de 100 horas, apresentou uma taxa de falha correspondente à 0,014 dentro do período estudado.

- Intensidade de falha instantânea (100 horas)
 - Antes TPM = 0,042.
 - Depois TPM = 0,0194;

Interpretando os dados, isso mostrou que no próximo pequeno intervalo dt após 100 horas, apresentará uma taxa de ocorrência de falhas igual a 0,0194 falhas por hora. Isso ocorreu no período que o componente estava sob a metodologia TPM.

4.3.3.3 Falhas

- Número de falhas (Intervalo entre 10 e 100 horas)
 - Antes TPM = 9,6360.
 - Depois TPM = 1,5840;

Em geral, entre um intervalo de operação compreendido entre 10 e 100 horas, o número estimado de falhas do componente após a implantação do TPM será de 1,58 falhas.

4.3.3.4 Confiabilidade Condicional

- Antes TPM
 - $R(t_1 = 24 | t_2 = 12) = 0,3947$;
- Depois TPM
 - $R(t_1 = 24 | t_2 = 12) = 0,8183$.

Em outras palavras, a simulação acima indica que as garras operaram num período de 24 horas. A probabilidade de que as garras não irão falhar, operando com um adicional de 12 horas, é igual à 81% (Período em que as garras estavam sob a metodologia TPM).

4.3.3.5 Disponibilidade do Componente

O tópico a seguir tem o propósito de calcular a disponibilidade das Garras no período antes e pós a metodologia TPM.

- Antes TPM

Tabela 4.3 – Disponibilidade do Componente (Antes TPM)

Período	Junho 2015 – dezembro 2015
Componente	Garras
Tempo de Operação (Horas)	1540
Tempo Total Reparo (Horas)	73,4
Frequência de Falhas	42
MTBF (Horas)	34,91905
MTTR (Horas)	1,747619

Fonte: Autor

De acordo com os dados da tabela 4.3, foi possível calcular a disponibilidade das Garras no período em que elas operacionaram sem a aplicação do programa TPM. Com um MTBF = 34,91905 e MTTR = 1,747619, a disponibilidade foi:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{34,91905}{34,91905 + 1,747619} = 0,952338$$

- Depois TPM

Tabela 4.4 – Disponibilidade do Componente (Depois TPM)

Período	Janeiro 2016 – maio 2016
Componente	Garras
Tempo de Operação (Horas)	1070
Tempo Total Reparo (Horas)	15,98
Frequência de Falhas	7
MTBF (Horas)	150,5743
MTTR (Horas)	2,2828

Fonte: Autor

A disponibilidade das Garras no período em que elas operacionaram durante a aplicação do programa TPM, com um MTBF = 34,91905 e MTTR = 1,747619, a disponibilidade foi:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{150,5743}{150,5743 + 2,2828} = 0,9850$$

Segundo Fagundes et al., (2011), quanto maior for o valor do MTBF e menor o valor do MTTR, maior será a disponibilidade do equipamento, e conseqüentemente, a redução dos custos unitários de produção.

5 Conclusão

A realização desse trabalho teve o propósito de mostrar o desempenho da metodologia da Manutenção Produtiva Total (TPM) na visão dos indicadores relacionados a confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade. A proposta do trabalho foi analisar um componente crítico de um equipamento de uma linha de montagem de baterias motociclísticas durante dois períodos: antes e depois da implantação do programa TPM.

A escolha do componente foi ao longo de uma investigação através de um banco de dados que trazia informações a respeito da quantidade de falhas, tempo de reparo, e consequentemente, o motivo pelo qual a falha aconteceu.

Durante a simulação, os dados obtidos referentes a distribuição Weibull apresentou o ciclo de vida do componente. Tendo em vista que o equipamento foi implantando no primeiro semestre de 2015, os parâmetros de β mostraram que antes da implantação da metodologia TPM, o componente apresentava-se na fase de mortalidade infantil, e com a variação do tempo, o componente passou para a terceira fase, ou seja, fase de mortalidade senil. Do ponto de vista das estratégias de manutenção, os parâmetros de β irão influenciar na tomada de decisão a respeito do planejamento da manutenção que irão refletir nos custos relacionados a manutenibilidade.

A partir da análise relacionada a confiabilidade, probabilidade e quantidade de falha, percebe-se que o componente apresentou um desempenho melhor, de fato, após a implantação da metodologia TPM. Isso mostra que os pilares que compõem a filosofia TPM estão executando um trabalho pleno na melhoria da produtividade e manutenibilidade do componente, refletindo assim, num bom desempenho do equipamento. Também vale destacar a eficiência do grupo de Manutenção Autônoma no equipamento, pois através das rotinas de limpeza profunda, inspeções e também o desenvolvimento dos colaboradores que operacionalizam o equipamento, estão contribuindo para que o equipamento conclua sua missão de acordo com o que foi projetado.

Através dos resultados do MTBF e MTTR, foi possível calcular a disponibilidade do componente. O reflexo do TPM mostrou que após a sua implantação, o equipamento apresentou uma maior disponibilidade. Interpretando esse fato, podemos concluir que em relação a esse componente, o equipamento apresentou um maior desempenho, contribuindo

para a produtividade da organização. Tendo uma visão ampla, isso pode ser refletido na melhoria da competitividade da empresa.

Como conclusão do trabalho realizado, os indicadores de desempenho relacionados à manutenção podem contribuir para uma avaliação da implantação do programa TPM. Entretanto, outros indicadores podem ser utilizados numa avaliação mais geral. Através disso, podemos concluir também os benefícios que o programa de Manutenção Produtiva Total pode trazer diante dos aspectos de manutenção.

Para pesquisas futuras, indica-se que essa avaliação seja executada em todos os principais componentes do equipamento, para que a credibilidade do estudo seja mais robusta, sendo mais próxima da realidade do desempenho do equipamento ou sistema.

Esse estudo tem a importância de mostrar para a organização, que mesmo com a dificuldade de implantar o TPM, devido à quebra de cultura, resistência a mudança e outros aspectos envolventes, a sua filosofia irá não apenas melhorar o desempenho do equipamento, como também, irá contribuir para a estrutura empresarial, através da qualidade das pessoas, sistemas, métodos e materiais.

REFERÊNCIAS

AHUJA, I.P.S., KHAMBA, J.S. **Strategies and success factors for overcoming challenges in TPM implementation in Indian manufacturing industry.** In: International Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 14, n. 2, pp. 123-147, 2008.

de ALMEIDA, A. T., & SOUZA, F. M. C.. **Gestão da Manutenção: na Direção da Competitividade.** Editora Universitária da UFPE, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 5462. **Confiabilidade e manutenibilidade.** Rio de Janeiro, 1994.

ASTI VERA, A. **Metodologia da pesquisa científica.** 5. ed. Porto Alegre: Globo, 1979.

BLANCHARD, B. **An enhanced approach for implementing total productive maintenance in the manufacturing environment.** In: International Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 3, n.2, pp. 69-80, 1997.

CARRIJO, J.R.S., & TOLEDO, J.C. **Benefícios da implementação do TPM (Total Productive Maintenance) no processo de desenvolvimento de produtos de uma indústria gráfica.** Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2006.

CARVALHO, A .L. **Análise de Disponibilidade Utilizando Abordagem Nebulosa.** Tese (Doutorado). Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Elétrica, Belo Horizonte, 2008.

CAVALCANTE, C. A. V. **Modelos multicritério de apoio a decisão para manutenção preventiva baseados no método Promethee.** Tese (Mestrado),2003.

ENGENHARIA DE PRODUÇÃO INDUSTRIAL. **TPM.** Disponível em: < <http://engenhariadeproducaoindustrial.blogspot.com.br/>> Acesso em: 8 de jun. 2016.

FAGUNDES, A. M.; ROCHA, A. L. S.; BARBOSA, S. R.; CARVALHO, A. L. **Estudo de caso: análise quantitativa de confiabilidade e disponibilidade de um torno cnc, baseado na metodologia rcm (reliability centred maintenance), aplicado a área de manutenção industrial.** Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2011.

FLEMING, P. V. & FRANÇA, S. R. R. O. **Considerações sobre a Implementação Conjunta de MCC e TPM na Indústria de Processos.** In: Anais do XII Congresso

Brasileiro de Manutenção, Associação Brasileira de Manutenção (ABRAMAN), São Paulo, 1997.

FREITAS, M. A. & COLOSIMO, E. A. **Confiabilidade: Análise do tempo de falha e Testes de Vida Acelerados**. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni, 1997.

KARDEC, A. & LAFRAIA, J.R. **Gestão Estratégica e Confiabilidade**. 1 a ed. Rio de Janeiro. Qualitymark, 2002.

MACHADO FILIPE, & ANDRADE, J.J.O. **Emprego da confiabilidade para o estabelecimento de estratégias de manutenção na indústria metal-mecânica**. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2013.

NAKAJIMA, S. **La Maintenance Productive Totale (TPM)**. Traduzido do japonês por Yoko Sim, Christine Condominas e Alain Gómez, Afnor, Paris, France, 1989.

OPRIME, P. C.; MONSATO, R.; DONADONE, J.C.; **Análise da complexidade, estratégias e aprendizagem em projetos de melhoria contínua: estudos de caso em empresas brasileiras**. Gestão & Produção, São Carlos, v. 17, n. 4, p. 669 – 682, 2010.

RELIASOFT CORPORATION. **Weibull++ 10 Software Package**. Tucson, AZ, 2015.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. São Paulo: Atlas, 1989.

ROBINSON, C.J. & GINDER, A.P. **Implementing TPM: North American Experience**. Productivity Press, Portland, USA, 1995.

ROSSI, A. R. & LIMA, C. R. C. **Verificação dos resultados obtidos com a implantação do Total Productive Maintenance em indústrias do Estado de São Paulo**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Produção. UNIMEP. Santa Bárbara do Oeste, 2004.

SELLITTO, M. **Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos**. Produção, v.15, n.1, p.44-59, 2005.

SUZUKI, T. **TPM in process industries**. Portland: Productivity, 1994.

TENORIO, F. Q. **Flexibilização Organizacional**. FGV/EBAPE, São Paulo, 2002.

WIREMAN, T. **Total Productive Maintenance.** New York: Industrial Press Inc., 2004.