

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**LUIZ ALBERTO RODRIGUES**

**APLICABILIDADE DE ANÁLISE DE FALHAS NO SETOR DE  
MANUTENÇÃO**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**PONTA GROSSA**

**2016**

**LUIZ ALBERTO RODRIGUES**

**APLICABILIDADE DE ANÁLISE DE FALHAS NO SETOR DE  
MANUTENÇÃO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia de Produção, do Departamento de Pós Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Flavio Trojan

**PONTA GROSSA**

**2016**



Ministério da Educação  
**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**CAMPUS PONTA GROSSA**  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Curso de Especialização em Engenharia de Produção



## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

### **APLICAÇÃO DE ANÁLISE DE FALHAS NO SETOR DE MANUTENÇÃO.**

por

**Luiz Alberto Rodrigues**

Esta monografia foi apresentada às dezenove horas e trinta minutos do dia 11 de março de 2016, como requisito parcial para a obtenção do título de ESPECIALISTA EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Rosângela de Fátima Stankowitz**  
**(UTFPR)**  
Banca

**Prof. Dr. Flavio Trojan (UTFPR)**  
Orientador

Visto do Coordenador:

---

**Prof. Dr. Luis Mauricio Martins de**  
**Resende**  
Coordenador  
UTFPR – Câmpus Ponta Grossa

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus, por eu ter saúde para superar as dificuldades e os desafios.

A UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) e ao PPGEPP (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção) que oportunizaram o meu ingresso na Especialização em Engenharia de Produção.

Ao meu orientador, Professor Doutor Flávio Trojan, pelo apoio e pelas suas orientações.

A minha esposa, Fernanda, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Aos meus colegas do curso e a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação.

## RESUMO

LUIZ ALBERTO RODRIGUES. **APLICABILIDADE DE ANÁLISE DE FALHAS NO SETOR DE MANUTENÇÃO**. 2016. 43 f. Monografia (Especialização em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2016.

Na manutenção moderna, ainda é encontrada a estratégia de fazer manutenção corretivamente. Tal modelo de manutenção é empregado devido a sua rentabilidade em curto prazo, pois em comparação com a manutenção preventiva ou a preditiva, em patamar mais elevado, a manutenção corretiva não requer uma grande disponibilidade do recurso financeiro da empresa. Porém, as paradas em uma linha de produção em função de manutenções não programadas, implicam num custo específico, pelo motivo de que as pessoas envolvidas na produção estão à disposição da empresa, ou seja, a empresa está pagando o funcionário sem o mesmo estar produzindo. Num cenário ideal de manutenção, há a diferenciação de equipamentos por um grau de criticidade. Assim, sendo por essa criticidade que se deve definir uma estratégia de manutenção através de um modelo de manutenção. Mesmo utilizando a manutenção corretiva como parte do sistema, essas, todavia, devem ser registradas e controladas, conhecidas pelos mantenedores e gestores. Para se estudar uma quebra ou até mesmo repetições de pequenas paradas na produção, algumas ferramentas de qualidade são aplicáveis. A aplicabilidade destas ferramentas podem ser medidas através de indicadores de desempenho, onde através desses, pode-se definir estratégias por um sistema de gestão controlado.

**Palavras-chave:** Manutenção. Análise de Falhas. Ferramentas de Qualidade.

## **ABSTRACT**

In modern maintenance, we still find the strategy of servicing correctively. Such maintenance model is still employed due to their short-term profitability, as compared to preventive maintenance or predictive, at a higher level; corrective maintenance does not require a large availability of financial resources of the company. But the charts in a production line due to unscheduled maintenance, entail a specific cost as the people involved in the production are available to the company, in the company is paying the employee without the same being producing. In an ideal scenario maintenance, there is a differentiation of equipment for a degree of criticism, and that is the critical one should define a maintenance strategy through a maintenance model. Even using corrective maintenance as part of the system, these, however, should be recorded and controlled, known by technician and managers. To study a break or even repeats of short breaks in production, some quality tools are applicable. The applicability of these tools can be measured through performance indicators, where through these; you can define strategies for a controlled management system.

**Keywords:** Maintenance, Failure Analysis, Quality Tools.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	-	Gestão estratégica de manutenção.....	18
Figura 2	-	Ciclo das falhas não analisadas.....	19
Figura 3	-	Análise de falhas.....	20
Figura 4	-	TPM (pilares).....	27
Figura 5	-	Classificação ABC.....	30
Figura 6	-	Critério para abertura de RCFA.....	31
Figura 7	-	Critério para abertura de MSA.....	31

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	-	Rendimento da linha de produção no início de 2015.....	29
Gráfico 2	-	Comparação rendimento linha de produção no início de 2015 e 2016.....	34
Gráfico 3	-	Comparação MTBF início de 2015 e 2016 .....	34
Gráfico 4	-	Comparação MTTR início de 2015 e 2016 .....	35
Gráfico 5	-	Rendimento da linha de produção no início de 2016.....	36
Gráfico 6	-	Evolução MTBF.....	37
Gráfico 7	-	Evolução MTTR.....	37



## LISTA DE FÓRMULAS

Fórmula 1	-	<i>Mean time between failures</i> (tempo médio entre falhas).....	26
Fórmula 2	-	<i>Mean time to repair</i> (tempo médio de reparo).....	26
Fórmula 3	-	Disponibilidade.....	27

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

TPM	<i>Total Productive Maintenance</i> Manutenção Produtiva Total
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i> Tempo Médio Entre Falhas
MTTR	<i>Mean Time to Repair</i> Tempo Médio de Reparo
RCFA	<i>Root Cause Failure Analysis</i> Análise de Falha e Causa Raiz
MAS	<i>Minor Stop Analysis</i> Análise de Pequena Parada

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1	TEMA DA PESQUISA.....	13
1.1.1	Delimitação do tema.....	14
1.2	PROBLEMA.....	14
1.3	PREMISSA.....	14
1.4	OBJETIVOS.....	15
1.4.1	Objetivo Geral.....	15
1.4.2	Objetivos Específicos.....	15
1.5	JUSTIFICATIVA.....	15
1.6	MÉTODO DE PESQUISA.....	15
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>17</b>
2.1	HISTÓRICO DA MANUTENÇÃO.....	17
2.2	PLANEJAMENTO DA MANUTENÇÃO.....	17
2.3	FALHA.....	19
2.4	ANÁLISES DA FALHA.....	20
2.5	UTILIZAÇÃO DA RCFA .....	22
2.6	FERRAMENTAS CONTIDAS NA RCFA.....	24
2.7	INDICADORES.....	25
2.8	TPM.....	27
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>29</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>33</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>39</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>41</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento na produção de cerveja e com o alto volume de produto exigido pelo mercado consumidor, a indústria cervejeira passou a apostar em manutenção e treinamento de seu pessoal para melhorar os resultados nas suas linhas de produção. A cervejaria, qual o nome não será citado seguindo a política da empresa, conta com seis linhas de produção sendo elas:

- Linha 1: Garrafas 600ml;
- Linha 2: Garrafas 250 e 350ml-
- Linha 3: Barril 20 e 30l;
- Linha 4 e 5: Latas 350ml;
- Linha 6 : Latas 269ml.

Dentro dos objetivos da empresa, as linhas de envasamento de latas são as que mais apresentam necessidade de melhoria, pois os pedidos referentes ao produto neste tipo de embalagem são mais frequentes, fazendo haja aumento no risco de não atender a demanda.

Através do histórico da eficiência das linhas, verificou-se que a linha cinco apresenta menor eficiência de produção se comparado com a linha quatro, apesar das duas serem semelhantes, os *set ups* são direcionados na linha 5.

O modelo de gestão da empresa é baseado no TPM<sup>1</sup>, onde as ferramentas de melhorias são desenvolvidas e patrocinadas pela empresa, com objetivo de reduzir as perdas do processo.

### 1.1 TEMA DA PESQUISA

Verificar a eficácia da realização de análises de falhas em uma linha de produção, comparando os indicadores de desempenho de forma paralela.

---

<sup>1</sup> *Total Productive Maintenance* - Manutenção Produtiva Total

### 1.1.1. Delimitação do Tema

O presente trabalho será desenvolvido em uma empresa do ramo cervejeiro, localizada na cidade de Ponta Grossa-PR. Serão utilizados recursos e infraestrutura da própria empresa para desenvolvimento da pesquisa. A aplicação será na área de envasamento da cervejaria, com apoio do setor de manutenção. Ainda, o projeto tem como base, o estudo do sistema de análise de falhas na empresa.

## 1.2 PROBLEMA

Quebras e pequenas paradas repetitivas são fatores que impactam no indicador de desempenho da linha de produção. Com isso, tal redução de eficiência pode levar a empresa ao não atendimento da demanda necessária de produção, correndo o risco da falta do produto no mercado consumidor.

A empresa, sabendo desses problemas, lança ferramentas de melhoria contínua para erradicar suas perdas no processo. Dessa forma, as análises de falhas são ferramentas reconhecidas em âmbito internacional e apresentam resultados, caso suas ferramentas sejam utilizadas corretamente.

Sendo assim, tendo ciência dos problemas da linha produtiva relacionada às máquinas e do sistema de gestão de análise de falhas, acredita-se que esse modelo traz um resultado significativo como a evolução positiva dos indicadores de desempenho.

Com isso, através dessas informações, tem-se como problematização: “será possível mensurar a viabilidade da aplicação da análise de falha pelo setor de manutenção?”.

## 1.3 PREMISSA

Com o projeto de estudo da viabilidade, de um sistema de gestão de análise de falhas pela manutenção em uma linha de produção, busca-se a certificação da eficiência deste modelo no planejamento e controle de manutenção, conforme já citados por autores em nível internacional.

## 1.4 OBJETIVOS

Aplicar análises de falhas em uma linha crítica e melhorar o indicador de desempenho referente a quebras e pequenas paradas, aumentando o tempo médio entre falhas (MTBF)<sup>2</sup> e reduzindo o tempo médio de reparo (MTTR)<sup>3</sup>.

### 1.4.1 Objetivo Geral

Certificar a real importância da análise das falhas ocorridas em uma linha de produção, com base em indicadores de desempenho.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Verificar a aplicabilidade e eficiência das ferramentas de qualidade utilizadas na análise de falha;
- Comparar a diferença entre os diversos modelos de análises de falhas utilizados pela empresa em diferentes classificações de falhas.

## 1.5 JUSTIFICATIVA

Justifica-se a presente pesquisa diante da oportunidade de elevar o indicador de uma de produção, com aplicação de ferramentas de qualidade, as quais podem ser realizadas pelos próprios colaboradores.

Ainda, sabe-se que as quebras e pequenas paradas afetam diretamente os resultados da empresa. Assim, o custo envolvido numa parada não programada pode trazer prejuízos financeiros, além de acarretar falta de produto ao consumidor.

## 1.6 MÉTODO DA PESQUISA

A presente pesquisa utiliza de estudo de caso, o qual é caracterizado pela

---

<sup>2</sup> *Mean Time Between Failures* – Tempo Médio entre Falhas.

<sup>3</sup> *Mean Time to Repair* – Tempo Médio de Reparo

coleta de informações e pela aplicação delas num problema conhecido, com o intuito de obter resultados precisos, mensurando e comprovando a relevância das ferramentas de qualidade já citadas por autores em livros, revistas e artigos.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 HISTÓRICO DA MANUTENÇÃO

A evolução das atividades relacionadas à manutenção pode ser dividida em três grandes gerações distintas, sendo que cada fase é conhecida de acordo com a sua filosofia adotada.

A primeira geração se resume na utilização da manutenção corretiva, apenas com serviços de limpeza e lubrificação em equipamentos superdimensionados, numa época em que não se exigia tanta produtividade. Período antecedente a Segunda Guerra Mundial.

Na segunda geração, período que vai desde a Segunda Guerra Mundial até a década de 60, a manutenção preventiva começou a ser o modelo mais utilizado nas indústrias, justificada pela redução da mão de obra capacitada para os trabalhos e pelo aumento da capacidade de produção. Foi nessa geração que houve o fortalecimento da necessidade de gestões estratégicas na manutenção e a percepção da necessidade da não existência de quebras na linha de produção, pelo motivo de que, as paradas poderiam ocasionar custos para a empresa.

Na terceira geração, a partir da década de 70, percebeu-se que as paradas na linha de produção por questões de manutenção ineficiente, impactavam diretamente nos custos envolvidos na produção devido ao sistema *“just-in-time”* que estava cada vez mais sendo utilizado como modelo de gestão em âmbito global. A partir desse conceito, a manutenção preditiva começou a ser um diferencial, pois a automação presente nas indústrias estava num processo de aprimoramento. Foi nessa geração que os padrões de qualidade começaram a ser mais frequentes em todos os setores, dentre eles, o setor de manutenção. Também, no setor de manutenção, percebeu-se uma grande necessidade, a constante verificação da relação entre disponibilidade e confiabilidade (PINTO; XAVIER, 2001).

### 2.2 PLANEJAMENTO DA MANUTENÇÃO

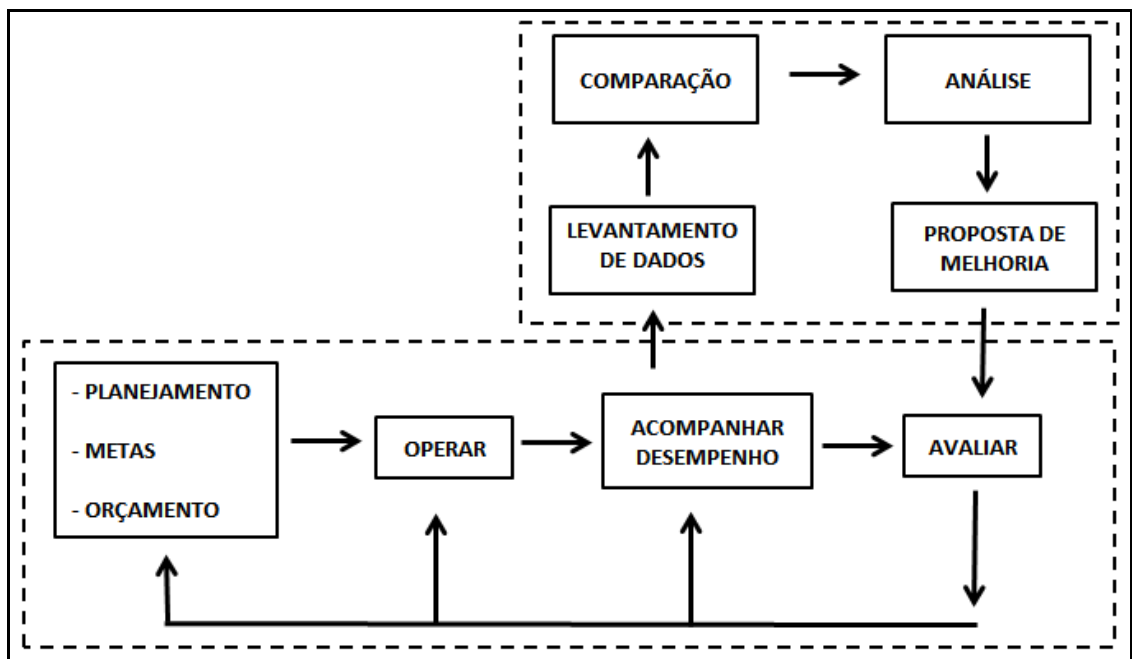
O planejamento estratégico da manutenção está na política adotada e em suas diretrizes, no diagnóstico de sua situação atual, nas metas baseadas em *“benchmarks”*, na estratégia propriamente dita, no acompanhamento de seus



indicadores e na consistência de seu plano de ação (PINTO; FLORES; SEIXAS, 2002).

Segundo Faria (1994), um sistema de manutenção deve ser gerenciada em três caminhos paralelos: manutenção preventiva, manutenção de emergência e manutenção corretiva. Após a realização das manutenções corretivas, é necessário elaborar relatórios de avarias para que se tenha um controle das falhas ocorridas.

Com isso, a gestão estratégica da manutenção não deve apenas seguir a mentalidade de programar e realizar. Para que a manutenção tenha excelência, é necessário sempre avaliar, num ciclo que haja comparações com referências nacionais ou internacionais, propondo melhorias para que os resultados acompanhem os resultados dos demais que estão no topo. Para Pinto, Arcuri e Cabral (2002), esse sistema é definido através do fluxograma expresso na Figura 1.



**Figura 1 - Gestão Estratégica de Manutenção com Avaliação de Desempenho**  
 Fonte: Pinto, Acuri e Cabral (2002).

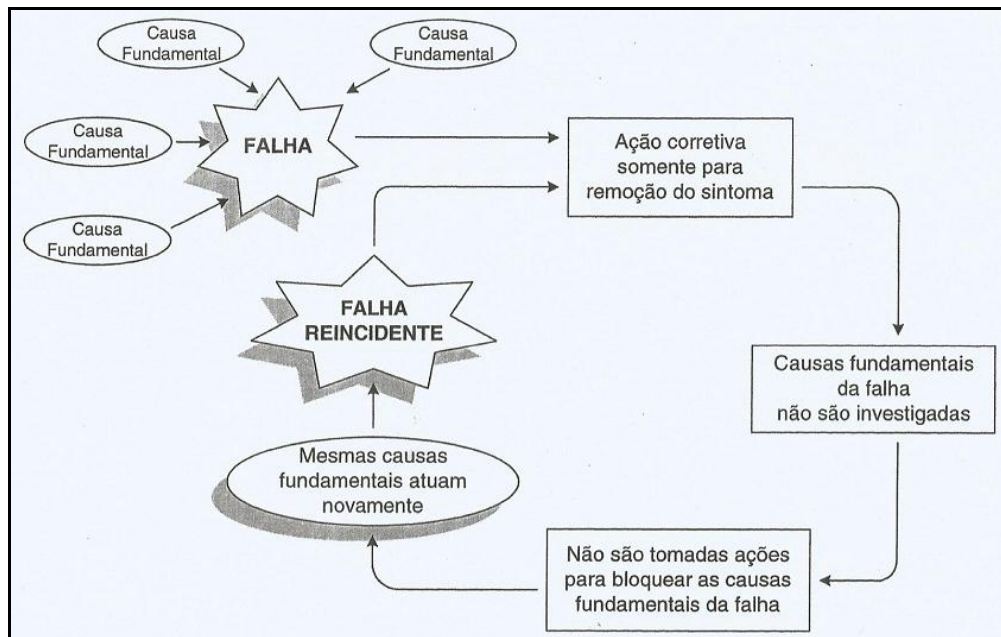
Para Xenos (1998), a escolha do modelo de manutenção corretiva ou preventiva está associada ao custo da falha, ou seja, para uma única máquina, pode-se estabelecer que em alguns componentes a manutenção fosse preventiva e, em outros, realizados de forma corretiva.

## 2.3 FALHA

Para Lafraia (2001), confiabilidade significa o poder de confiança em um produto, processos ou equipamentos que não apresentam falhas. Para Xenos (1998), falha é a incapacidade de algo exercer sua função requerida. Assim, o entendimento dos fatores que levam à falha é indispensável para que uma futura ação preventiva seja efetuada. Dessa forma, define-se que o desejo da não existência de falhas, traz equipamentos confiáveis, agregando uma linha produtiva com mais qualidade e produtividade.

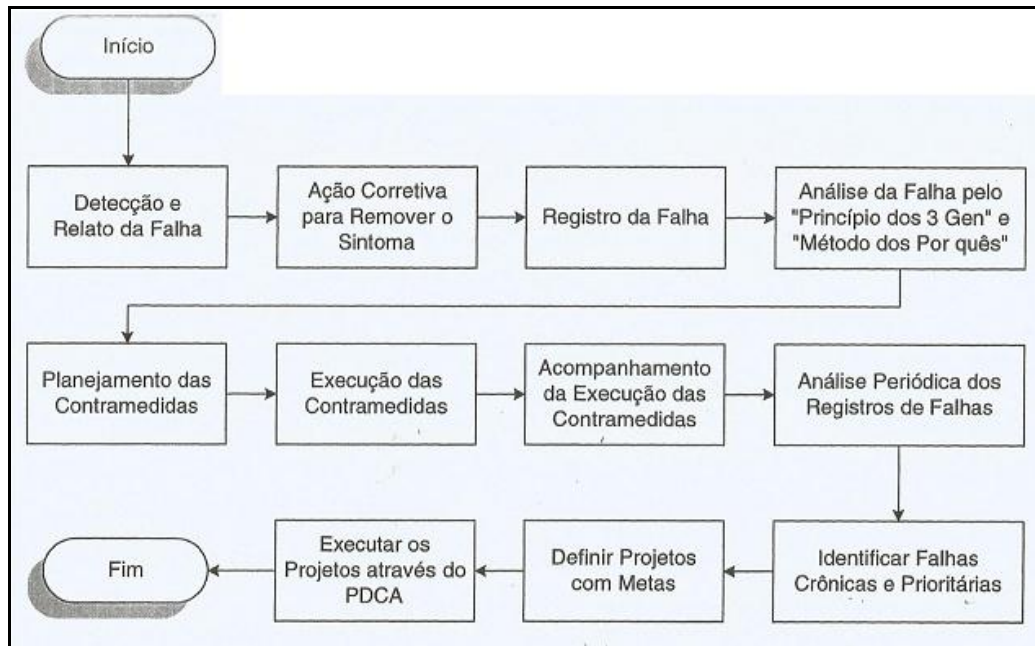
A visão de uma empresa que adota manutenção corretiva como parte da estratégia, deve sempre atentar para que uma falha, depois de reparada, não volte a acontecer. Portanto, uma falha apenas corrigida, mas não analisada, ocorre novamente (ETI; OGAJI; PROBERT, 2004).

A Figura 2 representa o ciclo das falhas não analisadas:



**Figura 2 - Ciclo de falhas não analisadas**  
Fonte: Xenos (1998).

Para Xenos (1998), um ciclo vicioso de falhas recorrentes, pode ser quebrado, como o fluxograma da Figura 3 destaca:



**Figura 3 - Análise de falhas**  
 Fonte: Xenos (1998).

## 2.4 ANÁLISES DE FALHAS

Há maneiras de solucionar falhas, dentre elas, duas ferramentas conhecidas e utilizadas em todo o mundo: a RCFA (*Root Cause Failure Analysis* – Análise das Causas-Raízes da Falha) e a FMEA (Análise dos modos e efeitos da falha).

A RCFA é uma ferramenta empregada em problemas crônicos ou falhas ocorridas, com o intuito de estabelecer, ao final de sua análise, um plano de ação confiável para que as falhas não tornem a ocorrer. A FMEA vem sendo utilizado na hipótese do acontecimento de falhas, através da análise dos modos e efeitos de falha, com elaboração de ações preventivas (PINTO; NASCIF, 2001).

Para Eti, Ogaji e Probert (2004), RCFA é uma forma de análise de falhas, adotada em todo o mundo, sendo que, cada empresa costuma utilizar um formulário próprio da organização. Em comum, toda RCFA utiliza ferramentas de qualidade para definir e analisar a falha, como também, um plano de ação para acompanhamento das ações necessárias. Segundo Smet, Gelders e Pintelon (2006), a RCFA tem duas fases, a fase de conhecimento da falha e a fase de análise.

Para Pinto e Nascif (2001), toda RCFA deve ser arquivada para servir de apoio na tomada de decisão à Gestão de Manutenção. Assim, a sugestão para um

formulário de análise de falha, integra alguns itens, dentre eles, a identificação da falha (linha, máquina, data, hora, operador responsável, mantenedor presente, descrição da falha e o que foi realizado). Ainda, a análise propriamente dita, que são recomendações para não recorrência da falha. Por fim, um acompanhamento dos resultados após implementação das ações levantadas.

Para Faria (1994), a análise da falha pode se transcender da utilização de outras ferramentas de qualidade, como: O *Brainstorming*, o Diagrama de Ishikawa e a Análise dos 5 Porquês. Para Pinto, Acuri e Cabral (2002) a recomendação de ações para se evitar falhas está na elaboração de um Plano de Ação, contendo os prazos, os responsáveis e o custo envolvido. Já para Pinto, Flores e Seixas (2002), os resultados de uma análise de falha estão ligados a um indicador de desempenho.

Com isso, para se conseguir metas, um modelo deve ser conhecido a nível global. Assim, esse método é conhecido como Ciclo PDCA e trata-se de quatro etapas diferentes: Planejar (*Plan*), Executar (*Do*), Verificar (*Check*) e Atuar (*Action*).

Segundo Xenos (1998), é possível resumir a utilização destas quatro etapas na manutenção da seguinte forma:

- Planejar: Estabelecer metas e os métodos para o atingimento das mesmas; nesta etapa deve-se conhecer o problema, observar suas causas através de estratificação, analisar as causas com ferramentas de qualidade e por fim, estabelecer um plano de ação;
- Executar: Fazer com que as pessoas se integrem com as metas e os métodos, através de treinamentos, atuando de acordo com o plano de ação;
- Verificar: Acompanhar frequentemente a evolução dos resultados após os trabalhos sempre em função da meta estabelecida, para isto utiliza-se indicadores de desempenho;
- Atuar: Caso necessário, interferir no processo produtivo com ações que possibilitem o alcance da meta de forma planejada, padronizar as atividades com a eliminação total das falhas.

Para Toledo (1987), uma análise de falha deve conter algumas ferramentas que a componham, de forma que, estas se complementem para que se consiga entender a falha, da qual se deseja tratar. As ferramentas citadas são:

*Braimstorming*, Técnicas de Amostragem, Histograma, Estratificação, Gráfico de controle, Análise de Pareto, Diagrama de Ishikawa.

Para Abrantes (2009), além de definir e conhecer a falha, ainda, deve-se em uma análise de falha, definir um plano de ação para que os problemas sejam reparados de forma programada, com prazos e responsáveis definidos.

Abrantes (2009) separa as etapas para solução de problemas em 8 fases, considerando que, cada uma é sequencial da outra:

- Selecionar o processo ou problema a ser estudado;
- Coletar e registrar dados e como o processo é realizado no momento;
- Fazer análise dos dados registrados;
- Comparar estes dados com outro método;
- Desenvolver o novo método;
- Implantar o novo método;
- Controlar o novo método, comparando os resultados;
- Melhorar o novo método.

O *Kaizen* é um modelo de análise de falhas, sendo que no mesmo, várias ferramentas são empregadas com o objetivo de eliminar um determinado problema, como, por exemplo, uma falha (GLOVER et al., 2011).

Para Eti, Ogaji e Probert (2004), toda e qualquer ferramenta utiliza como propósito, solucionar falhas, implicando na melhora dos indicadores MTBF e MTTR, as quais são análises de falhas. Portanto, pode-se monitorar o resultado global de uma linha de produção ou de determinado equipamento, através das análises de falhas realizadas.

## 2.5 UTILIZAÇÃO DA RCFA

Muito se discute quanto à necessidade de utilizar uma RCFA<sup>4</sup> para solução de problemas. Segundo Martin (2007), a ferramenta deve ser usada seguindo um grau de criticidade, pois nem todas as falhas tem relevância para a linha ou processo de produção. É responsabilidade da gestão de manutenção e operação

---

<sup>4</sup> *Root Cause Failure Analysis* - Análise de Falha e Causa Raiz.

estabelecer um critério para que a RCFA seja utilizada, podendo basear-se em tempo de parada, impacto na qualidade, segurança, meio ambiente, custo para o reparo, entre outros.

No artigo publicado por Bloch (2002), existe a implementação de RCFA, após análises de indicadores de desempenho, num determinado período de tempo. Ainda, cada máquina ou processo tem seus indicadores MTBF e MTTR monitorados, mas quando a meta estabelecida não compete com o resultado atual, há a necessidade da RCFA. Dessa forma, ao analisar a falha e executar as contramedidas impostas na análise, na semana seguinte, o indicador retorna a posição ideal, sendo o desejo da gestão.

Conforme Perez (2012) utilizou RCFA num processo onde o princípio de funcionamento da produção estava ligado diretamente a um sistema de bombas centrífugas. Seu problema estava no alto consumo de energia elétrica e a má utilização das diversas bombas do sistema.

Assim, através da RCFA, conseguiu-se elaborar uma planilha, relacionando os custos ao tempo de operação de cada bomba. Entretanto, isso se destaca após estudarem o sistema e conhecerem o consumo elétrico de cada bomba, de acordo com a frequência. O estudo e o custo benefício da mudança levantada pela equipe de análise foram apresentados à gestão, sendo que, o retorno foi observado através de indicadores de desempenho.

Com isso, são comuns os casos em que a RCFA faz parte do sistema de gestão de manutenção, porém as ferramentas não são bem aceitas pelos técnicos de manutenção. Esse comportamento é verificado em empresas onde a RCFA apresenta dificuldades de entendimento e parecem pouco objetivas, fazendo com que os técnicos não comprem a ideia. Dessa forma, através de indicadores, os resultados anteriores e posteriores a treinamento de análise de falhas fornecido aos técnicos, não desenvolvem uma melhor facilidade de executar a RCFA e colaboraram com os indicadores (LATINO, 2002).

A introdução e gestão de RCFA, após um plano de manutenção elaborado através de RCM, torna o modelo de gestão de manutenção o mais sucedido. O RCM é base de um plano, após muitos estudos de probabilidades e definições de criticidade de cada manutenção, antes da instalação de uma máquina. Mas o cenário pode mudar com o passar do tempo, neste caso, a RCFA faz o papel de controlar e engenhar novamente a função, em caso de falha. Com isso, a cada falha,

o plano é reestudado e modificado novamente, não permitindo a reincidência da falha (LATINO, 1999).

## 2.6 FERRAMENTAS CONTIDAS NA RCFA

As ferramentas mais utilizadas na resolução de falhas, tanto na parte inicial (qual descreve o problema), quanto na parte de análise são,

- **Estratificação:** para Vieira (1999), estratificação é o processo de dividir o todo heterogêneo em subgrupos. Esta ferramenta é utilizada no início de uma análise, com o propósito de observar onde está o problema. Werkema (1995), enfatiza que, se deve estratificar de acordo com o que se deseja verificar: tempo, local, tipo, sintoma e indivíduo são produtos de uma estratificação.
- **Folha de verificação:** é uma planilha para controle de dados. Geralmente, utilizada no cabeçalho de análise de falhas, apresentando dados iniciais da falha como: data, hora, responsável, ação imediata, tempo, entre outros (VIEIRA, 1999).
- **O Brainstorming:** traduzida como tempestade de ideias, é uma dinâmica de grupo, que destaca todas as hipóteses relacionadas ao problema que sequer resolver. Com o levantamento das sugestões, pode-se definir o que é realmente relacionado com a falha e o que não é (ABRANTES, 2009).
- **O Diagrama de Ishikawa:** chamado também, de diagrama de causa e efeito, pois seu objetivo é investigar, de forma clara, a relação entre os dois. A construção do diagrama é composta por seis componentes: Máquina, Método, Mão de Obra, Material, Medição e Meio Ambiente (ABRANTES, 2009).
- **Gráfico de Pareto:** é um gráfico de barras que ordena de gradual a frequência das ocorrências. Paralelamente, é traçado outro gráfico como percentual das ocorrências. De maneira geral, é prático selecionar as ocorrências que representam 80 % das falhas totais (ABRANTES, 2009).
- **A Análise dos 5 Porquês:** é uma tabela, que destaca a repetição da interrogação “por quê”, para que se possa justificar a ocorrência de uma falha. Acredita-se que, com os 5 porquês, o verdadeiro motivo da avaria seja identificado (WAEYENBERG; PINTELON, 2002).

- **O Plano de Ação:** também conhecido com metodologia 5W2H, é uma ferramenta que está relacionada a sete perguntas que compõe o plano: O que deve ser feito (*What?*); Por que deve ser feito (*Why?*); Quando deve ser feito (*When?*); Quem fará (*Who?*); Onde será feito (*Where?*); Como será feito (*How?*) Quanto custará (*How much doesnit cost?*) (ABRANTES, 2009).
- **Gráfico de controle:** é um gráfico, no qual se monitora, com determinada frequência, os resultados em relação a uma meta ou indicador. Em alguns casos, é necessário estabelecer uma meta auxiliar para que o limite não seja extrapolado (WERKEMA, 1995,).

## 2.7 INDICADORES

Uma meta é representada no formato de um indicador, uma guia que permite medir a eficácia das ações efetuadas. Através dos indicadores, é possível medir os desvios entre o que foi programado e o realizado, e com isso, fazer comparações ao longo do tempo (PINTO; FLORES; SEIXAS, 2002).

Os indicadores recomendam para onde a mudança deve caminhar, possibilitando a maior eficiência possível da máquina ou linha de produção. Para Pinto, Flores e Seixas (2002), no setor de manutenção, os indicadores podem ser classificados em 7 grupos:

- Indicadores de desempenho dos equipamentos;
- Indicadores de custo de manutenção;
- Indicadores da eficiência dos programas de manutenção;
- Indicadores da eficiência da mão de obra;
- Indicadores administrativos da manutenção;
- Indicadores de estoque,
- Indicadores de segurança, saúde e meio ambiente.

Para avaliar o desempenho da manutenção, alguns indicadores são utilizados com sucesso, entre eles, o MTBF (*Mean Time Between Failures*) e o MTTR (*Mean Time To Repair*), que envolvem o tempo médio entre falhas e o tempo médio de reparo, respectivamente. Através destes dois indicadores, é possível



estabelecer disponibilidade de um equipamento, o da linha de produção. Para isso, deve-se levar em consideração, o tempo em que o equipamento deveria estar disponível, o tempo em que realmente ficou disponível e o tempo para os reparos efetuados dentro do tempo total (PINTO; FLORES; SEIXAS, 2002).

O indicador MTBF tem a função de controlar o período de frequência das falhas em um determinado equipamento ou numa linha de produção. O indicador consiste na relação entre o tempo total em que o equipamento ficou disponível para a produção e o número de falhas ocorridas em todo o tempo que deveria estar disponível.

Assim, a Fórmula 1, representa o indicador MTBF, segundo Viana (2002).

$$MTBF = \frac{\text{TEMPO DISPONÍVEL PARA PRODUÇÃO}}{\text{NÚMERO DE FALHAS}}$$

**Fórmula 1 - *Mean time between failures* (tempo médio entre falhas)**  
**Fonte: Viana (2002).**

O indicador MTTR é o responsável por monitorar o tempo que está sendo necessário para as intervenções da manutenção. O tempo médio de reparo está associado na relação entre o tempo não disponível para produção e o número de falhas ocorridas. Pode-se verificar esta relação na Fórmula 2, conforme Viana (2002).

$$MTTR = \frac{\text{TEMPO NÃO DISPONÍVEL PARA PRODUÇÃO}}{\text{NÚMERO DE FALHAS}}$$

**Fórmula 2 - *Mean time to repair* (tempo médio de reparo)**  
**Fonte: Viana (2002).**

Através desses dois indicadores, é possível saber a disponibilidade do equipamento ou linha de produtiva. Segundo Pinto e Nascif (2001), disponibilidade é a relação entre o tempo que uma máquina ou instalação fica disponível para produção, em relação ao tempo total. Assim, tem-se a Fórmula 3 como cálculo da disponibilidade:

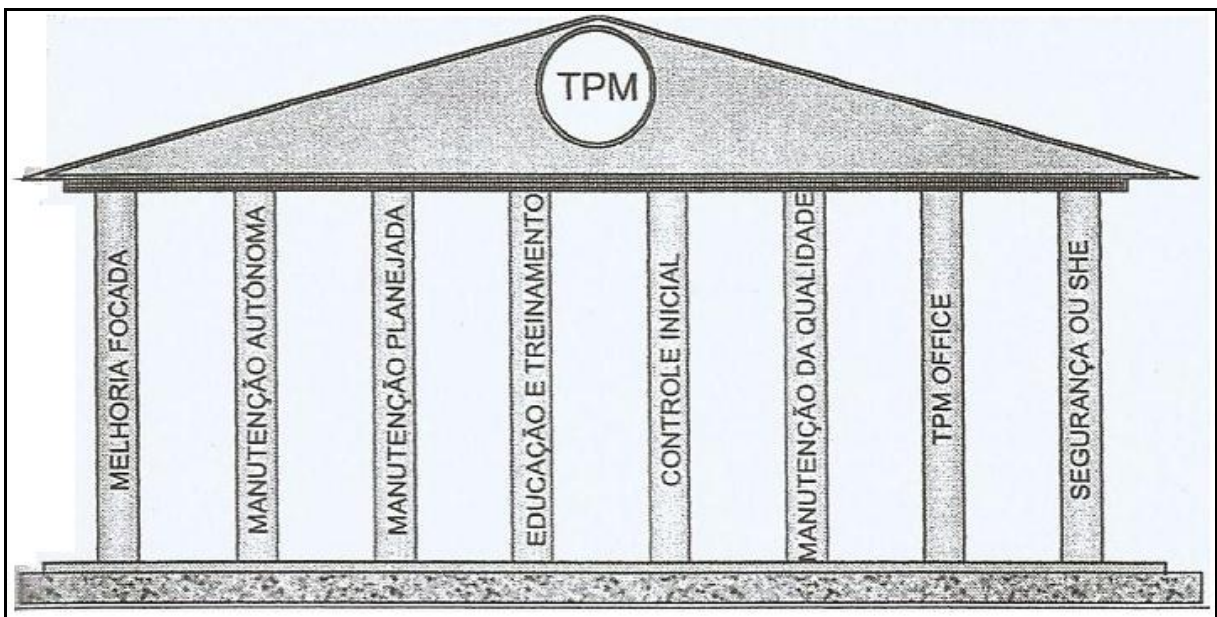
$$DISPONIBILIDADE = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

**Fórmula 3 - Disponibilidade**  
**Fonte: Pinto e Nascif (2001).**

## 2.8 TPM

Atualmente, o TPM (*Total Productive Maintenance*) é considerado um programa de gestão e não somente um modelo específico de manutenção. Dentro do TPM há 8 pilares, sendo que cada um é responsável por uma determinada área.

A Figura 4 ilustra o TPM e seus pilares:



**Figura 4 - TPM (pilares)**  
**Fonte: Pinto (2002).**

Para Wang (2011) uma empresa que tem o TPM como modelo de gestão, deve gerenciar as análises de falha para controlar seus indicadores. Na manutenção, dois pilares são ressaltados, manutenção autônoma e manutenção planejada, pois se impactam diretamente no indicador MTBF e MTTR (PINTO; FLORES; SEIXAS; 2002).

Conforme Pinto e Ribeiro (2002), a manutenção autônoma, dos pilares, é o primeiro a ser utilizado desde o início da filosofia. Este pilar cuida e visa o

autogerenciamento, onde o operador é o dono da máquina, e também, é o mesmo que realiza reparos básicos em seu equipamento e não o mantenedor.

A manutenção planejada corresponde ao próprio setor de manutenção e tem como objetivo principal, zelar pelas condições dos equipamentos, monitorando como está a linha de produção através de indicadores. Ainda, agindo de forma efetiva nos problemas e aplicando a metodologia ideal para cada tipo de perda (TAKAHASHI; OSADA, 1993).

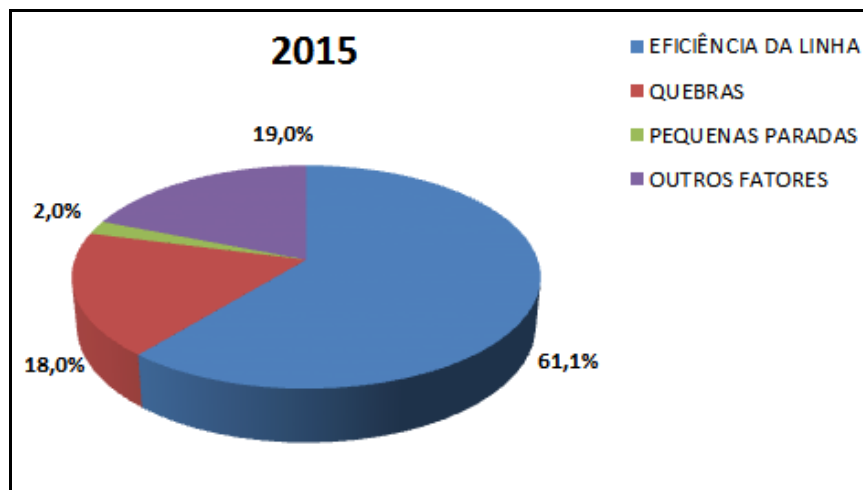
Para o Pilar de Manutenção Planejada (TPM), as falhas estão divididas em quebras, pequenas paradas e perdas de velocidade. Dentro do modelo mais utilizado nas empresas que adotam o TPM como forma de gestão, separam-se as quebras das pequenas paradas, que por sua vez, são acompanhadas, juntamente, com as perdas de velocidade. Separando os tipos de falha, é possível impor metodologias diferenciadas para tratar cada tipo de falha específica. Para o TPM, quebra é uma falha, que apresentou mais de 5 minutos para ser reparada. Logo, pequena parada é uma falha que levou um tempo igual ou menor a 5 minutos (WANG, 2011).

De uma forma geral, o TPM busca a resolução dos problemas com base no Ciclo PDCA, que utiliza como ferramenta, uma análise de falhas, a qual pode estar representada por um formulário *Kaizen*, um FMEA, uma RCFA ou ferramentas específicas para pequenas paradas ou redução de velocidade (OZILGEN, 2012).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Iniciando o estudo, tomou-se como base a análise dos dados no próprio sistema da empresa. Assim, sabendo que todas as paradas são apontadas, pôde-se definir onde estava o maior problema da linha de produção, ou seja, nas quebras ou nas pequenas paradas.

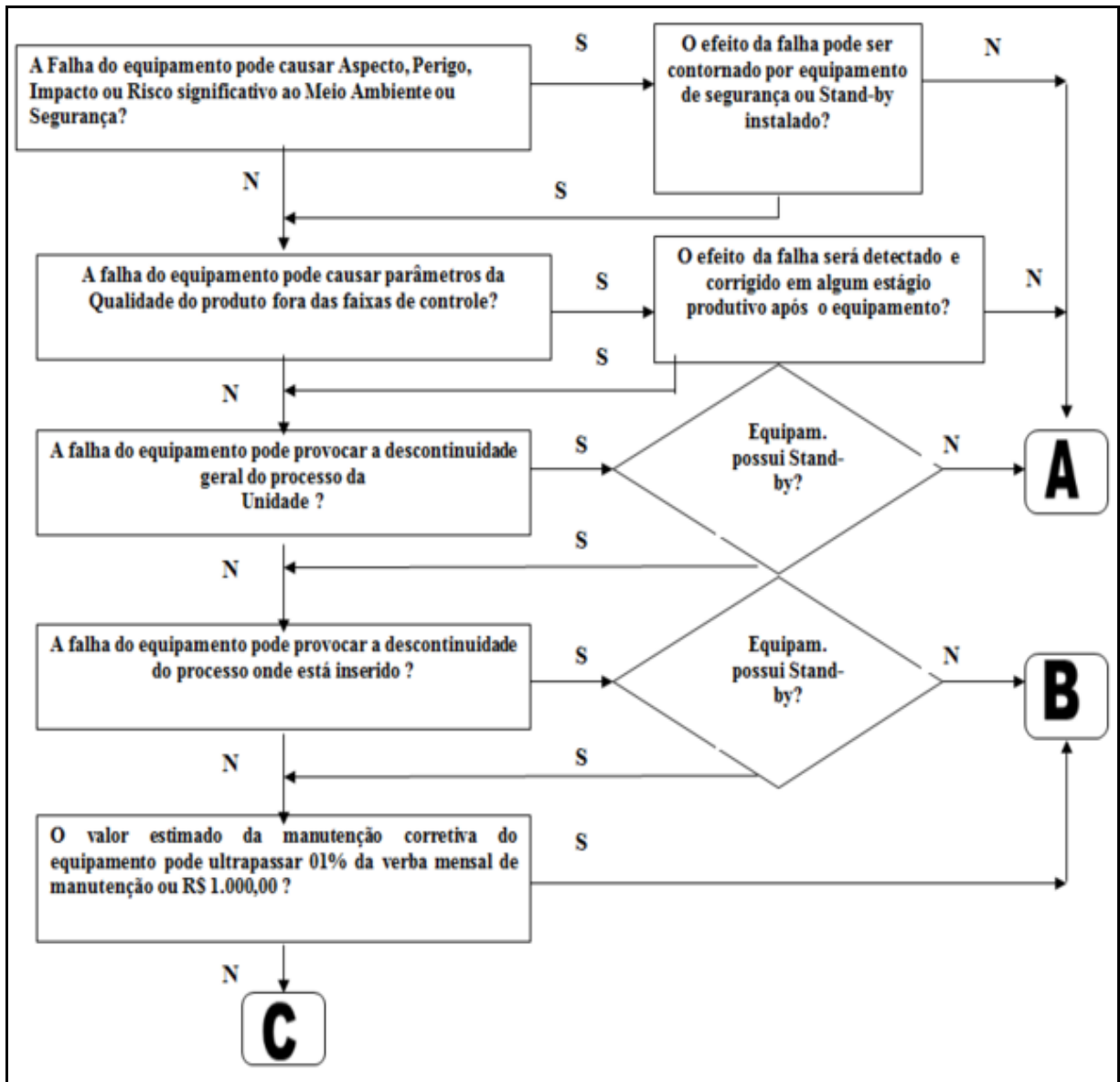
Com isso, foi verificado através do Gráfico 1, que o fator mais impactante na linha de produção são as quebras, que somado às pequenas paradas, resultam na redução de 20% da linha.



**Gráfico 1 - Rendimento linha de produção (janeiro/fevereiro de 2015)**  
Fonte: Autoria própria.

De acordo com a estratégia da empresa, seguindo a metodologia TPM para manutenção planejada, cada máquina apresenta um grau de criticidade baseado na classificação ABC.

A Figura 5 apresenta o fluxograma determinante para alocação de cada equipamento em grau de importância.



**Figura 5 - Classificação ABC**  
 Fonte: Autoria própria

Na empresa há dois tipos de análises de falhas: A RCFA, utilizada para quebras e a MSA, utilizada como ferramenta para as pequenas paradas.

A RCFA é composta por uma sequência de ferramentas de qualidade, onde a ferramenta conhecida como Diagrama de causa e efeito (Ishikawa) inicia a análise, seguida da análise dos 5 porquês, resultando num plano de ação.

Dessa forma, com base na classificação ABC, cada equipamento tem um tempo tolerável para que determinada quebra justifique a necessidade de uma análise de falha.

A Figura 6 apresenta o tempo necessário para abertura de uma RCFA, de acordo com a criticidade de cada máquina da linha produtiva.

CLASSIFICAÇÃO	TEMPO (min)
MÁQUINAS "A"	30
MÁQUINAS "B"	45
MÁQUINAS "C"	60

**Figura 6 - Tempo padrão para abertura de RCFA com base na classificação ABC**  
**Fonte: Autoria própria.**

A MSA traduzida como análise de pequenas paradas, é aberta em função de uma análise diária das pequenas paradas apontadas na linha de produção, ou seja, a abertura da ferramenta se inicia com uma estratificação da linha, dos equipamentos, das falhas ocorridas e o número de ocorrências de cada falha. Com esses dados, também baseado na criticidade ABC, A MSA é necessária de acordo com o número de falhas para cada equipamento, de acordo com a classificação.

A Figura 7 indica os parâmetros utilizados.

CLASSIFICAÇÃO	CRITÉRIO	TURNOS	DIA	SEMANA
MÁQUINAS "A"	Nº PARADAS/TURNO	3		
	Nº PARADAS/DIA		5	
	Nº PARADAS/SEMANA			10
MÁQUINAS "B"	Nº PARADAS/TURNO		5	
	Nº PARADAS/DIA			10
MÁQUINAS "C"	Nº PARADAS/TURNO		10	

**Figura 7 - Critérios para abertura de MSA**  
**Fonte: Autoria própria.**

A MSA, além da análise dos 5 porquês seguida de uma plano de ação, tem como diferencial, o passo anterior a essas ferramentas. Assim, sobre o estudo do problema, neste caso, a equipe de análise deve entender o funcionamento do equipamento e o fenômeno que resulta na falha repetitiva. Com isso, geralmente, são utilizados vídeos e desenhos simples que ilustram passo a passo a etapa do processo onde a falha é notada.

Sendo assim, todas as necessidades foram passadas aos colaboradores, os quais presenciaram cada falha. Um exemplo disso é quando acontece uma quebra em um equipamento classificado com máquina A, onde o tempo de reparo foi de 70 minutos, a RCFA referente a esta quebra, foi destinada aos manutentores envolvidos. Outro exemplo, é quando em um turno determinado, ocorreram 10 pequenas paradas recorrentes da mesma falha em um equipamento B. A MSA foi destinada ao operado deste turno.

Dessa forma, as análises foram realizadas no mês de abril, mas nem todas as ações levantadas foram aplicadas, devido ao material necessário para reestabelecimento de condições básicas e disponibilidade da linha para a manutenção. Muitas dessas ações precisam de um tempo elevado para implementação, que não se enquadra com o tempo de disponibilidade na estação do verão.

Praticamente, as ações levantadas no período foram executadas no sexto mês. E, com isso, se pode obter uma análise da eficiência da aplicação nas análises de falha nessa linha.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

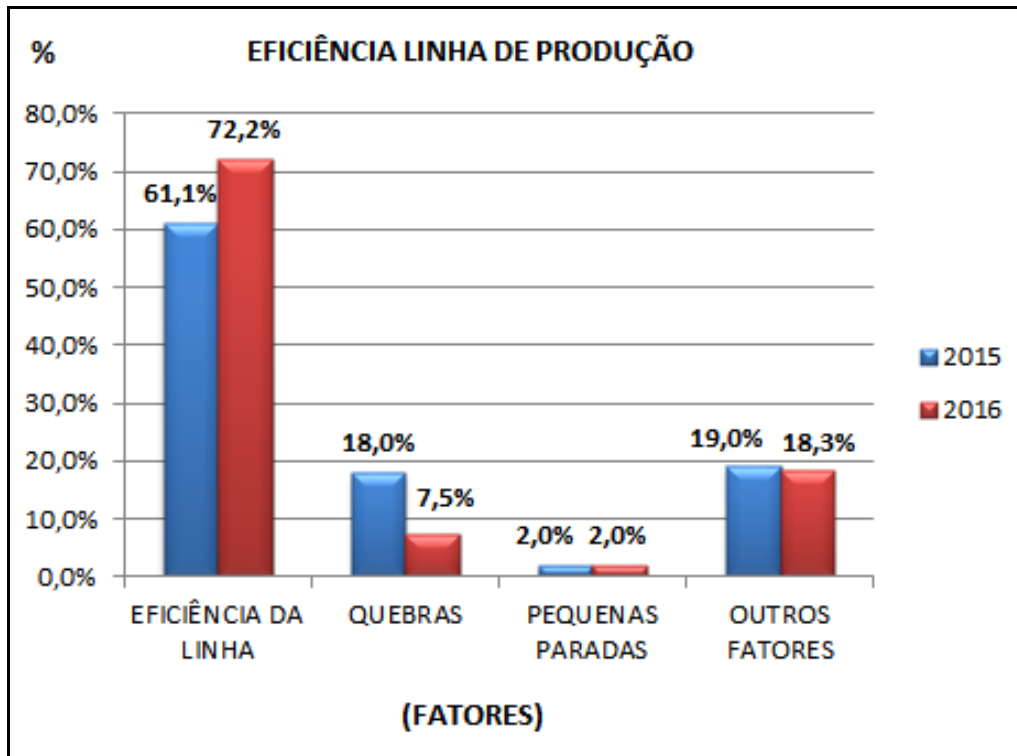
A base para a análise das falhas foi realizada nos 2 primeiros meses de 2015 e toda a execução das análises em 45 dias. Porém, não basta apenas analisar, deve-se inserir o que foi levantado no plano de ação de cada análise.

Assim, a implementação de todas as ações foi efetuada apenas no sexto mês de 2014, 45 dias após o fim das análises, ou seja, após abertura de uma análise de falha, a conclusão efetiva da análise foi concretizada com 90 dias. Este tempo foi conhecido pela gestão, onde a partir destes dados, estipulou-se o prazo de 72 horas (3 dias) como período máximo para realização de uma análise de falha. Este prazo permitiu que o tempo efetivo de realização diminuísse. Dessa forma, com um tempo limite para realização da análise, o tempo para implementação das ações também melhorou, passando de 45 para 30 dias.

Com o desenvolver do trabalho, novas quebras e pequenas paradas foram ocorrendo, mas nenhuma com atraso de análises. Após a realização das análises pendentes nos dois primeiros meses, as mesmas se tornaram hábito do pessoal da fábrica, sendo que o envolvimento de cada um deles foi determinante para o fluxo de cada análise e da realização das ações respectivas.

Tomando como base o primeiro mês do ano seguinte (janeiro de 2016), onde verifica-se e acredita-se que o fluxo está seguindo de maneira automática, foi realizado o levantamento das quebras ocorridas e das pequenas paradas da mesma linha de produção. Os resultados obtidos após as análises de falhas podem ser verificados no Gráfico 2:

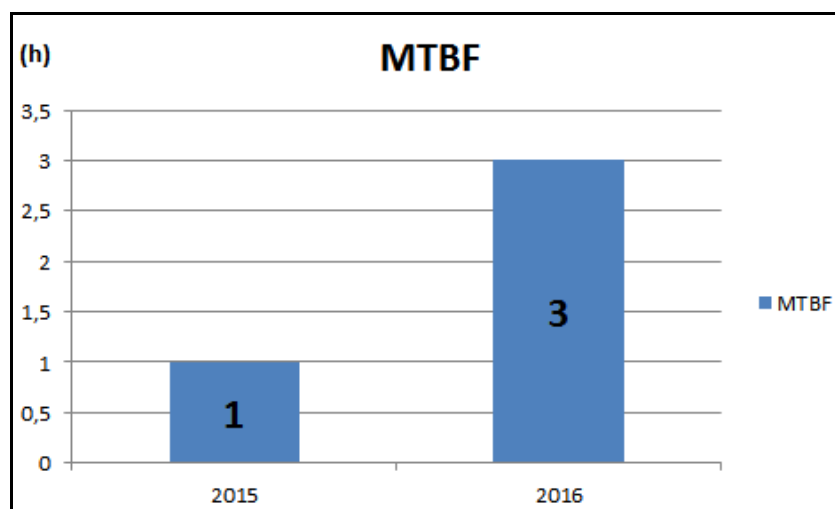




**Gráfico 2 - Comparação rendimento linha de produção no início de 2015 e 2016**  
 Fonte: Autoria própria.

Com todos esses dados, também se observa uma melhora efetiva em dois dos principais indicadores de manutenção.

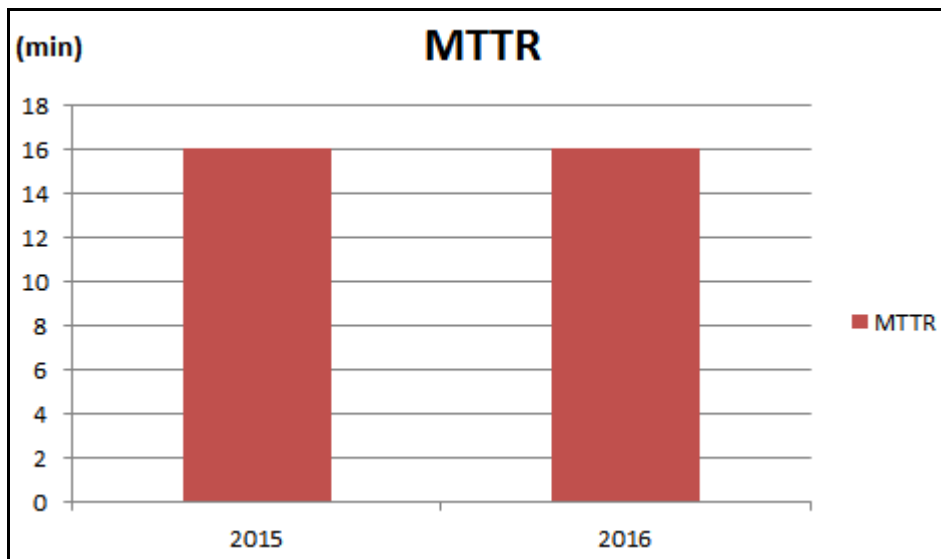
No Gráfico 3, verifica-se a melhora do indicador MTBF, ligado diretamente às ações consolidadas nas análises de falhas.



**Gráfico 3 - Comparação MTBF início de 2015 e 2016**  
 Fonte: Autoria própria.

Com isso, não se notou redução no tempo médio de reparo. Acredita-se que, mesmo com o indicador estabilizado em uma média de 16 minutos para cada reparo, o resultado é considerado satisfatório, pois neste período há uma redução de 15% do pessoal envolvido na manutenção, ou seja, manteve-se o indicador com menos pessoas envolvidas.

O Gráfico 4 apresenta a comparação MTTR:



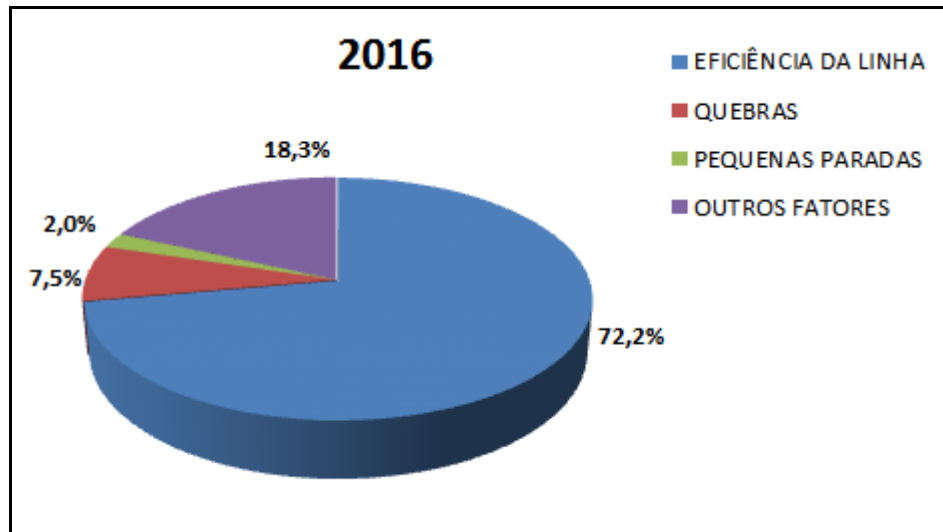
**Gráfico 4 - Comparação MTTR início de 2015 e 2016**  
Fonte: Autoria própria.

As RCFA's mostraram-se fáceis de entender por parte do pessoal da manutenção e operação, sendo, muitas vezes, realizadas até 2 horas após o reestabelecimento da quebra. Entretanto, as MSA's precisam do prazo máximo para resolução, pois a identificação das falhas, que levam as pequenas paradas, não é, sempre, de fácil verificação. Ainda, os entendimentos plenos do funcionamento e do fenômeno que ocasiona a falha não são simples de identificar.

Comparando a eficiência da linha de produção nos períodos iniciais dos anos de 2015 e 2016, com o indicador de desempenho operacional acusado, os resultados foram de 61,1% e 72,2%, respectivamente. Sabendo que, o período de 2016 representa a gestão ideal do fluxo de análise de falhas e implementação de contra medidas, é possível concluir que, a aplicação de RCFA e MSA na linha de produção foi positiva.

A coleta de dados, no início das análises de falha, foi base para que as comparações posteriores fossem confiáveis. Saber em que ponto está localizado o problema, é o principal item para que a gestão seja eficiente.

O Gráfico 5, apresenta os resultados da aplicação das análises de falha na linha e assim, observa-se a redução de quebras na linha de produção:



**Gráfico 5 - Rendimento linha de produção início de 2016**  
**Fonte: Autoria própria.**

A redução das quebras foi o fator mais significativo do trabalho, tal redução melhorou em 10,5% o indicador da linha de produção. O tempo médio para que cada falha ocorresse, sendo que antes era de apenas uma hora, passou para três horas, através da inserção de ações das análises de falhas.

A classificação ABC dos equipamentos permitiu que se diferenciasse a necessidade de análises de falhas, sendo do ponto de vista da empresa, desnecessárias, sabendo que o custo envolvido tem relevâncias diferentes. A classificação também estimula que, a atenção maior seja voltada aos equipamentos onde a qualidade do produto está diretamente ligada ao princípio de funcionamento da máquina, permitindo concluir assim, que a classificação ABC da empresa prioriza a qualidade.

Tomando como referência apenas as máquinas de classificação “A”, pode-se concluir também, que a evolução no tempo médio entre falhas e no tempo médio para reparo dessas máquinas foi crucial para melhorar estes indicadores, somados com as máquinas de classificação “B” e “C”.

Os Gráficos 6 e 7 mostram a evolução dos indicadores MTBF e MTTR respectivamente:

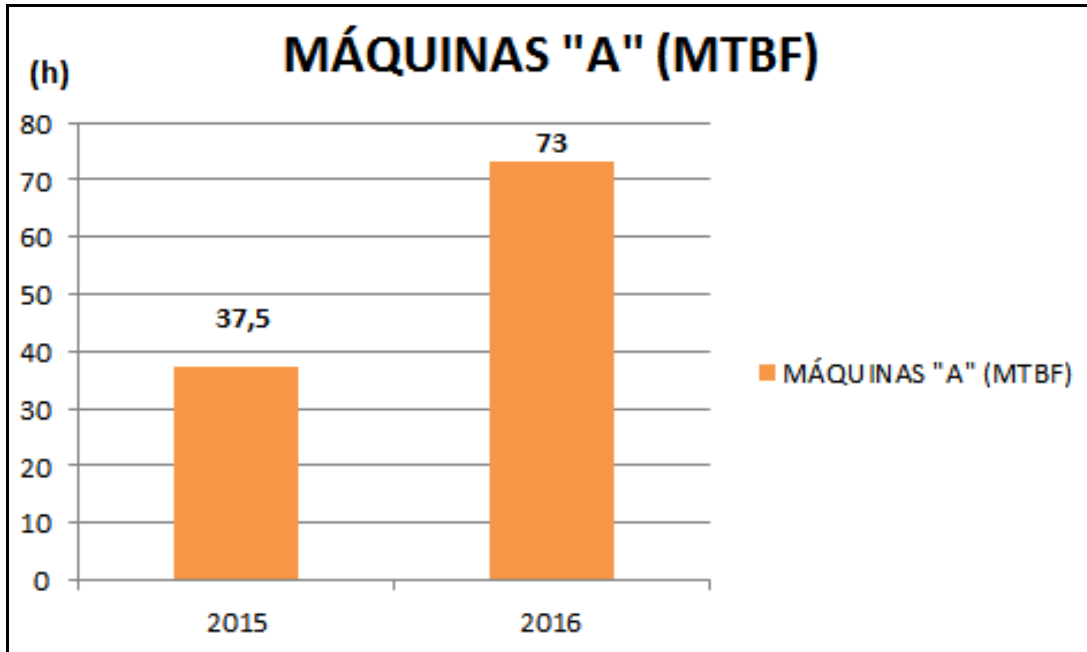


Gráfico 6 - Evolução MTBF  
Fonte: Autoria própria.

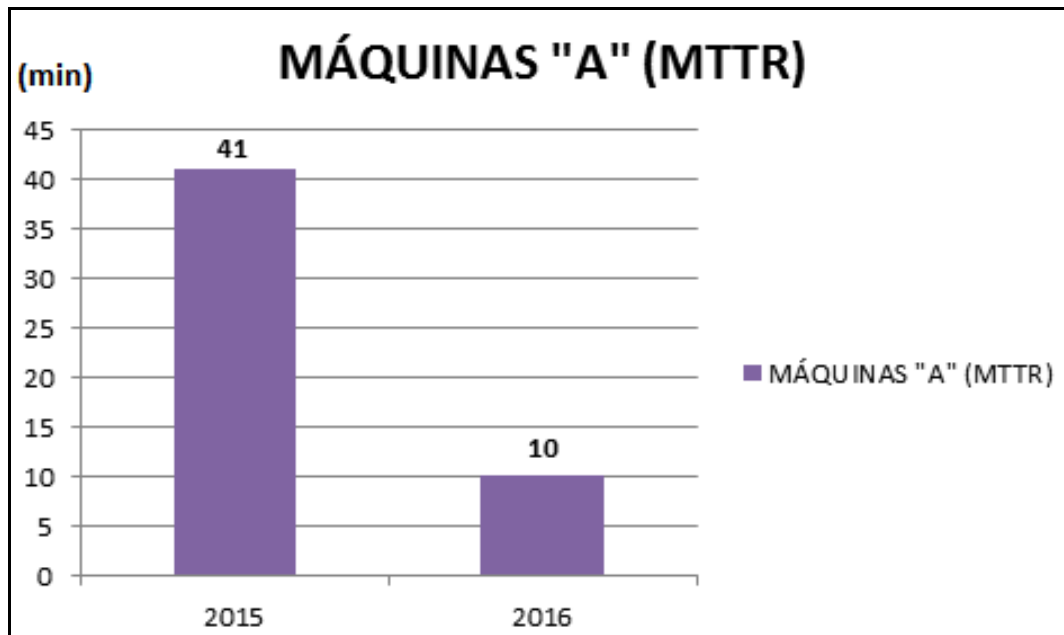


Gráfico 7 - Evolução MTTR  
Fonte: Autoria própria.

A separação das paradas em quebras e pequenas paradas, fez com que os procedimentos de análises de falhas fossem resolvidos de formas diferenciadas, não precisando analisar uma parada esporádica, mas sim, toda parada ou um grupo de paradas iguais impactantes no indicador, através de um tempo.

Para as empresas que possuem a estratégia de manutenção como parte do plano, as análises de falha dão suporte para o apoio à manutenção preventiva. Praticamente, em todas as análises de falhas, um padrão de manutenção baseado em horas foi implantado junto ao software de manutenção da empresa. A análise de falhas, além de enriquecer o conhecimento e o histórico de manutenção, faz com as pessoas direcionem seu pensamento para a não recorrência de problemas. Com isso, o que aconteceu passou, foi consertado e não ocorrerá novamente.

Ainda, acompanhando o desenvolvimento e análise de RCFA e MSA, buscou-se sempre a erradicação da perda ou problema existente. Assim, pode-se concluir que, a erradicação está em forma de padrões, conhecimentos, eliminações de ajustes e treinamentos.

É relevante e de grande valor para a empresa, o comportamento dos seus colaboradores, que através das análises de falha, desenvolvem uma função conhecida no TPM como “expansão horizontal”. Esta expansão busca a inserção das contramedidas em equipamentos ou linhas semelhantes ao equipamento específico da análise. Ou seja, uma erradicação de perda padrão ou até mesmo um conhecimento, podem ser disseminados a outras linhas ou unidades fabris por meio de intranet, alimentando e enriquecendo a gestão de conhecimento da empresa.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no estudo realizado em campo e nos casos analisados, considera-se que, a prática de utilização de análise de falha num modelo de gestão de manutenção é válida.

Assim, através das publicações pertinentes ao assunto RCFA e análises de falhas, pode-se concluir que, não há uma forma padrão de análise de falha. Porém, dentre todos os modelos existentes, os mesmos se baseiam em três principais partes:

- Falha: o que acontece ou aconteceu;
- Análise: o que está acontecendo e quais as causas,
- Contramedidas: o que fazer para que o problema seja resolvido.

Todas as publicações contendo estudos de caso utilizaram indicador de desempenho como base dos resultados. Conclui-se assim, que todas as análises de falhas devem ser estabelecidas focando em indicadores de desempenho.

A respeito do caso da manutenção, nos indicadores MTBF e MTTR, foi nítido, no estudo de caso em campo, que esses dois indicadores evoluíram de acordo com a implementação e aperfeiçoamento do sistema de gestão de análise de falhas.

A MSA, modelo de análise utilizado pela empresa, se assimila muito com a utilização de RCFA's utilizadas em outros casos publicados, onde a análise foi útil para redução de pequenas paradas, porém, a empresa utiliza a RCFA para quebras. Dessa maneira, verificou-se que, a empresa trata as paradas de forma diferenciada, o que é relevantemente positivo, pois para cada problema há uma ferramenta específica. Quanto maior a abertura da estratificação, maior é o alcance dos dados e mais fácil é o conhecimento das falhas.

Para que uma RCFA seja eficaz, é necessário que os técnicos conheçam as ferramentas e o objetivo da análise. Isso faz com que os mesmos interajam e se motivem a buscar melhores resultados.

No estudo de caso realizado em campo, verificou-se que todas as RCFA e MSA consideradas eficazes, apresentaram itens relevantes para o impulsionamento

dos indicadores, e através destes dados, verificou-se que, para uma RCFA ser considerada eficaz, a mesma deve conter os seguintes itens:

- Mudança física: modificação do componente ou material onde ocorre a falha.
- Mudança ou criação do plano de manutenção: estudo e reavaliação do plano de manutenção atual, mudando a periodicidade da rota de inspeção ou manutenção preventiva.
- Geração de conhecimento: disseminação do conhecimento agregado com o estudo da falha, repassando a todos os técnicos, qual é o motivo da falha e o que fazer em caso de recorrências.
- Treinamento: nos casos em que o problema é a falta de conhecimento de operação ou manutenção, há por parte da empresa, a criação de um plano de treinamento, buscando o nivelamento de habilidades de todo pessoal.
- Padrão: é a principal forma de eliminação de erros. Exemplos desse comportamento são os gabaritos, demarcações de ajustes ou se possível, a eliminação de ajustes, reduzindo a chance de erros e, conseqüentemente, as falhas.

Com o objetivo do trabalho alcançado, há o conhecimento de que as análises de falhas utilizadas na manutenção proporcionam resultados positivos para a empresa. Também foi possível confirmar que a base de todo acompanhamento estão em formas de indicadores apoiados em ferramentas de qualidade.

## REFERÊNCIAS

- ABRANTES, J. **Gestão da qualidade**. Rio de Janeiro: Interciência, 2009.
- BLOCH, H. P. **Looking for RCFA databases? Consider failure statistics**. Hydrocarbon Processing, v. 81, p. 35 -37, 2002.
- CABRAL, J. P. S. **Organização e gestão da manutenção**. Lisboa: Libel, 2006.
- ETI, M. C.; OGAJI, S. O. T.; PROBERT, S. D. **Implementing total productive maintenance in Nigerian manufacturing industries**International. Journal of Production Economics, v. 79, p. 385-401, 2004.
- FARIA, F. G. A. **Administração da manutenção**. São Paulo: Edgard Brucher, 1994.
- FERNANDES, C. G. **Metodologia para melhorar a confiabilidade de subsistemas através de análise de falhas e testes acelerados**. 2010. 126 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010
- GLOVER, W. J.; FARRIS, J. A.; AKEN, E. M. V. **Characteristics of established kaizen event programs: an empirical study**. International Journal of Operations & Production Management, v. 33, n 9, p. 1166 - 1201, 2013.
- GLOVER, W. J. et al. **Critical success factors for the sustainability of Kaizen event human resource outcomes: An empirical study**. International Journal of Production Economics, v. 137, p. 197-213, 2011.
- LAFRAIA, J. R. B. **Manual da confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade** Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobras 2001.
- LATINO, M. **RCFA + RCM = formula for successful maintenance**. Plant Engineering, Dec. 1999, v. 53 (12), p.32-36.
- LATINO, R. **Decipher the RCFA paradox: performing root cause failure analysis saves time and money, the same reasons most companies cite for not implementing it**. Training Trends. Quality, Mar. 2002, v. 41(3), p.10-11.
- LAURETNI, R. **Sistematização de problemas e práticas da análise de falhas potenciais no processo de desenvolvimento de produtos**. 2010. 180 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2010.
- MARTIN, T. **Analyzing RCFA**. Hydrocarbon Processing, v. 86, p.38, 2007.
- OZILGEN, S. **Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) for confectionery manufacturing in developing countries: Turkish delight production as a case study**. Ciência e Tecnologia de Alimentos. v. 32, n 3, p. 505-514, 2012.
- PEREZ, X. R. **When good pumps turn bad**. Hydrocarbon Processing, v. 91, 2012.



PINTO, A. K.; ARCURI, R.; CABRAL, N. **Gestão estratégica e avaliação do desempenho**. Rio de Janeiro: Qualitymark: ABRAMAM, 2002.

PINTO, A. K.; FLORES, J. F.; SEIXAS, E. **Gestão estratégica e indicadores de desempenho**. Rio de Janeiro: Qualitymark: ABRAMAM, 2002.

PINTO, A. K.; LAFRAIA, J. R. B. **Gestão estratégica e confiabilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark: ABRAMAM, 2002.

PINTO, A. K.; RIBEIRO, H. **Gestão estratégica e manutenção autônoma**. Rio de Janeiro: Qualitymark: ABRAMAM, 2002.

PINTO, A. K.; XAVIER, J. A. N. **Manutenção: função estratégica**. 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymak, 2001.

SMET, R. D.; GELDERS, L.; PINTELON, L. **Case studies on disturbance registration for continuous improvement**. Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 3, n 2, p. 91-108, 2006.

TAKAHASHI, Y.; OSADA, T. **TPM/MTP: manutenção produtiva total**. São Paulo: Instituto IMAM, 1993.

TOLEDO, J. C. **Qualidade industrial: conceitos, sistemas e estratégias**. São Paulo: Atlas, 1987.

VIANA, H. R. G. **PCM, planejamento e controle de manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

VIEIRA, S. **Estatística para a qualidade: como avaliar com precisão a qualidade em produtos e serviços**. Rio de Janeiro: Elsevier, 1999.

WAEYENBERG, G.; PINTELON, L. **A framework for maintenance concept development**, International Journal of Production Economics, v. 77, p. 299-313, 2002.

WANG, W. **A stochastic model for joint spare parts inventory and planned maintenance optimization**. International Journal of Production Economics, v. 216, p. 127-139, 2012.

WERKEMA, M. C. C. **As ferramentas de qualidade no gerenciamento de processos**. 6. ed. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1995.

XENOS, H. G. **Gerenciando a manutenção produtiva**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998.