

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA MANUTENÇÃO CENTRADA EM
CONFIABILIDADE (MCC) NO SETOR DE LAMINAÇÃO DE UMA
EMPRESA SIDERÚRGICA**

VINÍCIUS LACERDA DE OLIVEIRA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

JOÃO MONLEVADE

Agosto, 2017

VINÍCIUS LACERDA DE OLIVEIRA

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA MANUTENÇÃO CENTRADA EM
CONFIABILIDADE (MCC) NO SETOR DE LAMINAÇÃO DE UMA
EMPRESA SIDERÚRGICA**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do grau de
Engenheiro de Produção na Universidade
Federal de Ouro Preto.**

**Professor Orientador: Prof. MSc. Rafael Lucas
Machado Pinto**

**Professora Co-orientadora: Prof. Dra. Luciana
Paula Reis**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

JOÃO MONLEVADE

Agosto, 2017



ANEXO IV – ATA DE DEFESA

Aos 29 dias do mês de agosto de 2017, às 17:10 horas, na sala D202 deste instituto, foi realizada a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso pelo aluno Vinícius Lacerda de Oliveira, sendo a comissão examinadora constituída pelos professores: Daysemara Maria Cotta, Maressa Nunes Ribeiro Tavares, Rafael Lucas Machado Pinto. O aluno apresentou o trabalho intitulado: APLICAÇÃO DA METODOLOGIA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC) NO SETOR DE LAMINAÇÃO DE UMA EMPRESA SIDERÚRGICA.

A comissão examinadora deliberou pela:

- Aprovação
() Aprovação com Ressalva - Prazo concedido para as correções: _____
() Reprovação com Ressalva - Prazo para marcação da nova banca: _____
() Reprovação

do(a) aluno(a), com a nota 9,5. Na forma regulamentar e seguindo as determinações da resolução COEP 04/2017 foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da comissão examinadora e pelo (a) aluno(a).

João Monlevade, 29 de agosto de 2017.

Rafael Lucas Machado Pinto
Professor Rafael Lucas Machado Pinto - Orientador

Maressa Nunes R. Tavares
Professora Maressa Nunes Ribeiro Tavares - Convidada

Daysemara Maria Cotta
Professora Daysemara Maria Cotta - Convidada

Vinícius Lacerda de Oliveira
Vinícius Lacerda de Oliveira - Graduando



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Colegiado do Curso de Engenharia de Produção



TERMO DE RESPONSABILIDADE

O texto do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “APLICAÇÃO DA METODOLOGIA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC) NO SETOR DE LAMINAÇÃO DE UMA EMPRESA SIDERÚRGICA” é de minha inteira responsabilidade. Declaro que não há utilização indevida de texto, material fotográfico ou qualquer outro material pertencente a terceiros sem o devido referenciamento ou consentimento dos referidos autores.

João Monlevade, 23 de agosto de 2017

Vinícius Lacerda de Oliveira
Vinícius Lacerda de Oliveira

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus, por me proporcionar a realização de mais este sonho.

Aos meus pais, por todo apoio, suporte e esforço dedicados a mim para que fosse possível alcançar este objetivo. À Larissa, por me acompanhar e apoiar nos momentos mais difíceis. E aos meus familiares que me mostram a importância da família.

Ao meu orientador, Prof. Rafael Lucas Machado Pinto, pelos grandes ensinamentos, dedicação e apoio na realização deste trabalho.

Aos mestres da UFOP, pelos conhecimentos e experiências passados que foram cruciais à minha formação.

Aos meus amigos, gostaria de agradecer pela amizade, companheirismo e apoio sempre acreditando e caminhando junto na busca desse sonho.

À ArcelorMittal Monlevade, em especial à equipe de manutenção do laminador, pela oportunidade de vivenciar e aprender com experiências únicas, agregando muito à minha formação.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. Justificativa.....	13
1.2. Objetivos	14
1.2.1. Objetivo Geral	14
1.2.2. Objetivos Específicos.....	14
1.3. Estrutura do Trabalho	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1. Manutenção	16
2.2. Evolução da Manutenção.....	16
2.3. Tipos de Manutenção.....	17
2.3.1. Manutenção Corretiva	18
2.3.2. Manutenção Preventiva.....	18
2.3.3. Manutenção Preditiva.....	19
2.4. Confiabilidade	19
2.5. Tempo Médio Entre Falhas (MTBF).....	20
2.6. Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC)	20
2.7. Distribuição de Probabilidade.....	22
2.7.1. Distribuição Weibull e Weibull 3 parâmetros	23
2.8. Análise FMEA.....	23
2.9. Técnica dos 5 Porquês.....	24
3. METODOLOGIA DE PESQUISA	26
3.1. Classificação da Pesquisa	26
3.2. Coleta e Análise dos Dados	27
4. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA.....	29
4.1. Apresentação da Empresa.....	29
4.2. Descrição do Laminador 2	29
4.3. Descrição do Problema	30
5. DESENVOLVIMENTO.....	32
5.1. Identificação e Seleção do Sistema Crítico a ser Tratado	32
5.2. Coleta e tratamento dos Dados de Paradas Acidentais.....	33
5.3. Análise dos Dados de Confiabilidade	34
5.3.1. Gráfico Função Densidade de Probabilidade (PDF)	37
5.3.2. Gráfico de Probabilidade Weibull 3 Parâmetros.....	39

5.3.3.	Gráfico Função de Sobrevivência	40
5.3.4.	Gráfico Função de Risco	40
5.4.	Elaboração do FMEA	41
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	45
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gerações da Manutenção.....	17
Figura 2 - Tempo Médio Entre falhas (MTBF).....	20
Figura 3- Tabela FMEA	24
Figura 4 - Tabela 5 Porquês	25
Figura 5 - Layout do Laminador 2	31
Figura 6 - Gráfico de Pareto das paradas acidentais	32
Figura 7 – Gráfico de Pareto de paradas por componente.....	34
Figura 8 - Distribuições de Probabilidade	35
Figura 9 - Distribuições de Probabilidade	35
Figura 10 - Distribuições de Probabilidade	36
Figura 11 - Gráfico de visão geral da distribuição Weibull 3 parâmetros.....	37
Figura 12 - Gráfico PDF com 95% de confiabilidade.....	38
Figura 13 - Gráfico PDF com 90% de confiabilidade.....	38
Figura 14 - Gráfico PDF com 50% de confiabilidade.....	39
Figura 16 - Gráfico de tempo gasto com manutenção corretiva (2016)	42
Figura 15 – FMEA e 5 porquês.....	43
Figura 17 - Gráfico de tempo gasto com manutenção corretiva (2017)	44

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Comparação entre a MCC e o Modelo Tradicional de Manutenção	22
--	-----------

ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AMM	ArcelorMittal Monlevade
FMEA	Análise dos Modos e Efeitos da Falha
MCC	Manutenção Centrada em Confiabilidade
RPN	Número de Prioridade de Risco

RESUMO

As atividades de manutenção vêm se tornando cada dia mais importantes, tendo em vista que essas atividades influenciam diretamente na produtividade das organizações. Diante desse cenário, torna-se necessário conhecer os equipamentos de produção a fundo para que seja possível tomar decisões assertivas, e no momento certo, sobre o tipo de manutenção a ser realizada. Isso é importante para que o processo mantenha-se em funcionamento sem que haja uma diminuição tanto da produtividade quanto da qualidade da produção. Dessa forma, o presente trabalho apresenta a implantação da metodologia Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) em um sistema crítico do laminador de uma empresa siderúrgica, a fim de diminuir o tempo de paradas acidentais, mantendo assim, a produção programada sem atrasos e aumento de custos. Para identificar o sistema a ser estudado, os tempos de paradas acidentais foram estruturados de modo que fosse possível observar qual equipamento apresentava uma maior taxa de falha, além de analisar junto à equipe responsável quais equipamentos mais influenciavam a qualidade do produto. A partir dessa identificação, contando com o auxílio de ferramentas estatísticas e da qualidade, além da experiência dos envolvidos no processo de manutenção, foi possível identificar o comportamento do equipamento estudado, e em seguida, propor ações mitigadoras que solucionassem os modos de falha observados.

Palavras-chave: Laminador; Manutenção; Manutenção Centrada em Confiabilidade; Implantação

ABSTRACT

Maintenance activities become increasingly important because these activities directly influence the productivity of organizations. Based on that, it becomes necessary to know the production equipment so that it is possible to make assertive decisions, at the right time, about the type of maintenance to be done. This is important so that the process remains in operation without any decrease in both productivity and production quality. In this way, the present project shows the implementation of the Reliability Centered Maintenance (RCM) methodology in a critical system of the rolling mill in a steel company, in order to reduce the accidental stopping times, which maintains the scheduled production without delays and increasing costs. In order to identify the system to be studied, the accidental stopping times were structured so that it was possible to observe which equipment presented a higher failure rate, besides analyzing with the responsible team which one influenced the product quality. Based on this identification, with the assistance of statistical tools and quality, besides the experience of people involved in the maintenance process, it was possible to identify the behavior of the equipment studied and then to propose mitigating actions that would solve the failure modes observed.

Keywords: Rolling mill; Maintenance; Reliability Centered Maintenance; Implantation

1. INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos e com a constante evolução das tecnologias, as organizações se viram obrigadas a modernizar tanto os seus processos de produção quanto as suas atividades de manutenção, como forma de se manterem competitivas perante o mercado. A partir dessas mudanças, as organizações se viram obrigadas a tratar suas atividades de manutenção não apenas como uma atuação pontual ao ocorrer uma falha, mas sim buscar maneiras de prevenir as falhas e preservar os seus ativos, tratando o processo de gerir a manutenção como uma ferramenta estratégica para o constante crescimento da organização.

Desde modo, os conceitos sobre manutenção sofreram alterações ao longo do tempo, sempre se adaptando às necessidades requeridas na época. Com a constante mecanização e automação das máquinas, viu-se a necessidade de se priorizar e melhorar cada vez mais a confiabilidade das máquinas, mantendo-se a produtividade e disponibilidade das linhas de produção. Nesse contexto segundo Moubray (2000), a indústria aeronáutica americana desenvolveu uma metodologia baseada na gestão de ativos e sua confiabilidade, a Metodologia Manutenção Centrada em Confiabilidade, buscando obter ativos mais confiáveis que possibilitassem aumentar a segurança dos seus processos e serviços, além de uma diminuição nos gastos tanto com atividades de manutenção quanto com falhas e perdas de ativos.

A empresa estudada percebeu na necessidade de se manter competitiva no mercado, e na constante necessidade de otimização dos seus processos a possibilidade de realizar uma mudança na forma de realizar a manutenção. A modificação nos tipos de atividades de manutenção realizadas e na forma de tratar seus ativos vem juntamente com uma mudança de cultura por parte da organização, onde tem-se a necessidade de se quebrar o paradigma de que tudo o que se fazia não é mais o suficiente para controlar e manter seus ativos realizando suas respectivas funções sem que houvesse uma perda funcional do ativo, seja em questão de qualidade ou de produtividade.

Assim, o presente estudo pretende aplicar a metodologia Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) no setor de laminação de uma empresa de grande porte do setor siderúrgico da cidade de João Monlevade. A metodologia foi implementada com foco no entendimento de um sistema crítico, escolhido com base em uma análise dos dados de paradas acidentais, buscando entender o comportamento do ciclo de vida de seus componentes para assim poder definir e direcionar as atividades de manutenção mais adequadas.

Para auxiliar nos processos de conhecimento dos ativos e implantação da metodologia, as organizações utilizam ferramentas estatísticas e da qualidade a fim de auxiliar os gestores no

processo de tomada de decisão. Ferramentas como a Análise dos Modos e Efeitos das Falhas (FMEA) auxiliam as organizações na orientação e implantação da metodologia. No entendimento do comportamento dos ativos, ferramentas e softwares estatísticos auxiliam com a construção de gráficos que facilitam a visualização das particularidades de cada ativo.

É necessário entender que a gestão da manutenção não serve apenas para otimizar o tempo e custo com atividades de manutenção, mas também para fazer com que a organização consiga um melhor desempenho produtivo, em uma busca constante pela excelência.

1.1. Justificativa

Através da identificação do nível de confiabilidade dos equipamentos por meio da análise MCC, será possibilitado à empresa diminuir a ocorrência de manutenções corretivas, uma vez que estas atuações geram atraso de produção e tem um alto custo.

Em uma indústria siderúrgica, objeto de estudo, onde a confiabilidade de suas máquinas é ponto chave para o sucesso da organização, viu-se no decorrer da realização do estágio obrigatório, a oportunidade de aprimorar a aplicação da MCC na área de laminação. Tendo em vista que a empresa lida com equipamentos complexos que podem apresentar anomalias a qualquer instante, aumenta-se cada vez mais a necessidade de se encontrar formas de reduzir a perda de tempo e o gasto com recursos para normalizar o funcionamento desses. Com isso, o uso da metodologia MCC para identificar a confiabilidade dos sistemas de produção, vem com o intuito de auxiliar a empresa a entender, se antecipar, se preparar e se adaptar para amenizar e até mesmo impedir que ocorra gastos com manutenção corretiva em excesso.

Visando analisar a confiabilidade dos equipamentos estudados, de forma a obter uma maior disponibilidade desses, a MCC analisa como o equipamento pode falhar e define a melhor estratégia de manutenção com vistas a evitar a falha ou reduzir as perdas decorrentes das falhas.(KARDEC e NASCIF (2012) apud ROSA(2016)).

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

“Definir a confiabilidade de equipamentos em uma empresa siderúrgica através da metodologia MCC”.

1.2.2. Objetivos Específicos

Para se alcançar o objetivo geral, temos os objetivos específicos citados abaixo:

- Definir qual(is) equipamento(s) serão estudados;
- Tratar os dados de paradas acidentais do(s) equipamento(s);
- Identificar as funções e falhas funcionais do(s) equipamentos;
- Identificar os modos de falha e seus efeitos de cada equipamento;
- Definir a confiabilidade do(s) equipamento(s) através de uma análise estatística dos dados;
- Propor ações de melhoria para mitigar os modos de falha.

1.3. Estrutura do Trabalho

O presente trabalho está organizado em seis seções. A primeira seção traz uma introdução acerca do assunto a ser tratado, contextualizando de forma global a manutenção e a importância de sua gestão para as organizações. Nesta mesma seção ainda consta os objetivos a serem alcançados pelo estudo, bem como sua justificativa. Na segunda seção é feita uma revisão na literatura, trazendo os principais conceitos utilizados na realização do estudo, tais como manutenção, confiabilidade, distribuição de probabilidade além da metodologia a ser implementada. A terceira seção trata da metodologia usada na pesquisa. Nessa seção há a explicação do passo a passo da realização da pesquisa, desde a obtenção dos dados, passando pela análise completa das falhas até à proposta de ações mitigadoras. Na quarta seção é feita a apresentação da empresa e do setor onde o estudo foi realizado, além de descrever o problema identificado. Uma vez evidenciado o problema, tem-se na quinta seção o passo a passo de implantação da metodologia, além das análises estatísticas realizadas, finalizando com a

apresentação dos resultados obtidos com a implantação da metodologia. Por fim, a seção seis traz conclusões acerca do trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Manutenção

A manutenção, conforme afirmam Fogliatto & Ribeiro (2009), passou a ser vista como um item necessário nas indústrias com o surgimento da produção em série, onde as organizações passam a investir na manutenção como uma forma de reparar seus ativos com um menor tempo, mantendo seus sistemas eficazes com um menor gasto.

Segundo Sharma, (2011) a manutenção vem se tornando de suma importância para a indústria, sendo adotada pelas organizações como uma ferramenta estratégica para a obtenção de lucro, mantendo-as eficaz e economicamente sustentável a médio e longo prazo.

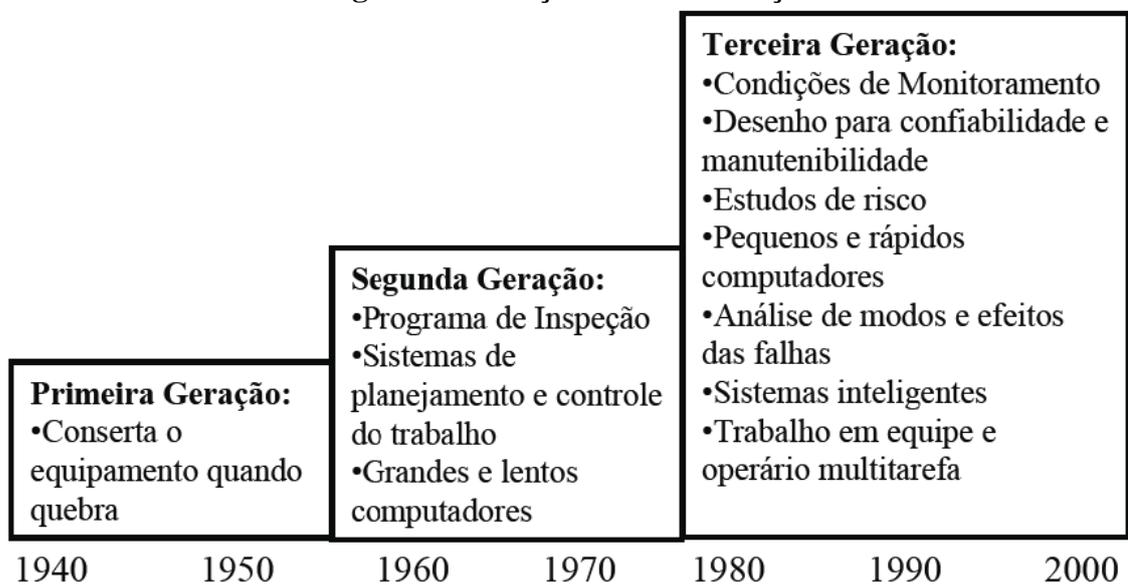
A manutenção é definida, de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (1994), como uma combinação de todas as ações técnicas e administrativas tomadas com o intuito de permitir que um item retorne ou mantenha suas características, de modo que este consiga cumprir todas as funções designadas ao mesmo. Na mesma linha de pensamento, Ferreira (1997) complementa, afirmando que o ato de dar manutenção é tomar as medidas necessárias para conservação ou permanência de alguma coisa ou situação. Isto sugere que manutenção é o ato de manter algo. Em complemento, Kardec e Nascif (2012) afirmam que a missão da manutenção é garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações, visando atender a um processo ou serviço da maneira mais apropriada e confiável possível.

2.2. Evolução da Manutenção

Segundo Moubray (2000), a evolução da manutenção pode ser investigada em três gerações, na primeira geração definida pelo autor como o período até a II Guerra Mundial, onde a maioria dos equipamentos era simples e superdimensionados, não havia uma preocupação por parte dos gerentes com a prevenção contra falhas. Já se tratando da segunda geração, que se inicia durante a II Guerra Mundial, houve um aumento na demanda por bens de todos os tipos, ao mesmo tempo em que diminuía a mão de obra industrial, sendo necessário que as indústrias se adaptassem e aumentassem o número de máquinas cada vez mais complexas. Isto fez com que os gerentes se preocupassem e buscassem evitar as falhas dos equipamentos, surgindo assim a ideia de manutenção preventiva. Ainda segundo o autor, na terceira geração, com a utilização da filosofia Just-in-time, pequenas paradas no processo se tornaram suficientes para parar a

planta inteira, o que aumentava o prejuízo das organizações. Com o crescimento da mecanização e da automação, passou-se a considerar que a confiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos eram questões chaves para se manter a capacidade de produção com todos os padrões estabelecidos. Confrontando estes desafios, a indústria da aviação comercial desenvolveu um processo de tomada de decisão conhecido como Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), ou RCM (Reliability-centered Maintenance), conforme pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 - Gerações da Manutenção



FONTE: Adaptado de Moubray (2000)

2.3. Tipos de Manutenção

A manutenção é caracterizada também quanto ao planejamento, que pode ser realizada de forma planejada, executada sob um tempo e condições pré-estabelecidas, ou de forma não planejada, em função da necessidade. (FILHO, 2008; SIQUEIRA; 2009). Em complemento, Pinto e Xavier (2001) definem os tipos de manutenção em relação à maneira em que são feitas as intervenções nos equipamentos ou instalações, sendo as mais comuns denominadas corretiva, preventiva e preditiva.

2.3.1. Manutenção Corretiva

É aquela onde o equipamento opera até a quebra para então ser realizada a manutenção, seja esta decisão tomada baseada em um planejamento ou por uma falha acidental. Segundo Slack, Chambers e Johnston (2002), manutenção corretiva significa deixar as instalações operarem até que quebrem.

Segundo Filho (2008), a manutenção corretiva se divide entre corretiva planejada, onde o sistema é reparado ou removido em uma data posterior a falha, e corretiva não planejada ou de emergência, onde o reparo ocorre logo após a falha. Stevenson (2001) reforça esta divisão afirmando que a manutenção corretiva não planejada é classificada como uma manutenção reativa, que consiste em atuar após a ocorrência das falhas ou algum tipo de perda tendo como objetivo restaurar as capacidades funcionais dos equipamentos ou sistemas falhados.

Kardec e Nascif (2009) e Papic (2009) afirmam que a incapacidade de planejar as necessidades de manutenção e prever a disponibilidade do sistema fazem com que a manutenção corretiva se torne limitada. Mobley, Higgins e Wikoff (2008) complementam dizendo que outra limitação da manutenção corretiva é que as atividades de reparo são dirigidas em função dos sintomas óbvios apresentados e não a causa raiz da falha.

2.3.2. Manutenção Preventiva

A ABNT (1994) define manutenção preventiva como as intervenções realizadas em intervalos de tempo, conhecida como manutenção preventiva sistemática, ou de acordo com as condições, conhecida como manutenção preventiva não sistemática, ambas têm a finalidade de reduzir a probabilidade de ocorrência de alguma falha ou degradação do funcionamento normal do item.

Kardec e Nascif (2009) afirmam que a manutenção preventiva consiste em realizar uma atuação como forma de reduzir ou evitar a falha ou quebra, a partir de um plano previamente elaborado, baseado a intervalos definidos de tempo. Filho (2008) complementa afirmando que a manutenção preventiva é toda ação de manutenção e reparo executada quando o sistema ou equipamento apresenta condições operacionais, ainda que apresentando algum tipo de defeito. Essas ações podem ser realizadas em intervalos de tempo predeterminados, em função da vida útil e do ciclo de operação do sistema, ou em função da sua condição.

Dhillon (2006) e Mobley, Higgins e Wikoff (2008) definem a manutenção preventiva como um conjunto de técnicas preditivas, tarefas de manutenção baseadas na condição e no tempo, visando abranger toda a produção de plantas ou sistemas de manufatura.

2.3.3. Manutenção Preditiva

Segundo Filho (2008) e Marçal (2000) as atividades de manutenção preditiva consistem em acompanhar ou monitorar as condições dos equipamentos, seja por desgaste ou desempenho operacional, sendo realizada através de medições ou inspeções que não interferem na operação do sistema.

Papic (2009) afirmam que os componentes ou sistemas apresentam algum sintoma antes de falhar e que a manutenção preditiva pode determinar o estado que a máquina está operando e definir se esta necessita de manutenção. Marçal (2000) complementa que se este monitoramento for realizado da maneira correta, pode-se definir o estado futuro da máquina permitindo planejar e programar uma ação.

Segundo Raposo (2004) a manutenção preditiva apresenta dois enfoques, no primeiro ela é tratada como uma modalidade de manutenção dentro da manutenção preventiva, onde não se conhece a degradação do sistema e é realizada uma supervisão contínua dos parâmetros. No segundo enfoque as técnicas de manutenção preditiva são tratadas como uma evolução da manutenção preventiva sistemática, sendo consideradas como uma forma de manutenção.

2.4. Confiabilidade

King e Magid (1979, p.197) definem confiabilidade como “a probabilidade de que parte de um equipamento ou componente desempenhe uma função como pretendido por um dado período de tempo em um determinado ambiente”. Confirmando esta definição Bergamo (1997, p. 2) define confiabilidade como “a probabilidade de um produto executar, sem falhas, uma certa missão, sob certas condições, durante um determinado período de tempo”.

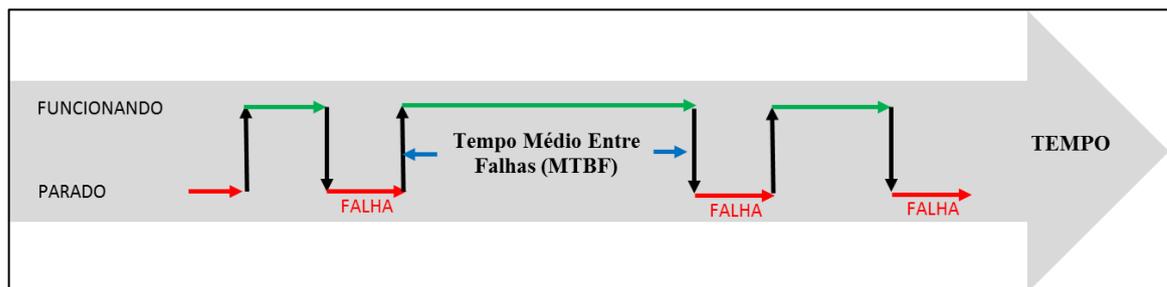
Ferreira (1986) define confiabilidade como “Qualidade do que ou de quem é confiável, ou seja, merecedor de crédito; qualidade do que (ou quem) goza de boa forma, inspira segurança pelo seu talento e discrição; qualidade daquele (ou aquilo) com quem se pode contar.”

Analisando estas definições, identifica-se a necessidade de se conhecer a confiabilidade dos sistemas de uma organização, visando principalmente o desempenho da função, para que este, mesmo em funcionamento, exerça a sua função corretamente, sendo assim considerado confiável. Alguns conceitos podem auxiliar na identificação da confiabilidade dos ativos, os quais serão apresentados nas próximas seções.

2.5. Tempo Médio Entre Falhas (MTBF)

Tempo médio entre falhas, do inglês Mean Time Between Failure, é o indicador que representa o tempo médio entre a ocorrência de uma falha e a próxima, representa também o tempo de funcionamento da máquina ou equipamento diante das necessidades de produção até a próxima falha, conforme pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 - Tempo Médio Entre falhas (MTBF)



FONTE: Elaborado pelo autor

2.6. Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC)

De acordo com Moubray (2000) sendo complementado por Siqueira (2009) e Wang (2004), a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), do inglês Reliability Centered Maintenance (RCM), é uma abordagem da manutenção desenvolvida na indústria aeronáutica americana no final da década de 60 com o objetivo de direcionar os esforços da manutenção, para sistemas e equipamentos onde a confiabilidade é fundamental, visando garantir o desempenho, a preservação e a segurança do ambiente atrelado ao custo/benefício.

Fogliatto e Ribeiro (2009) definem a MCC como um programa que visa reunir várias técnicas de engenharia em busca de assegurar que os sistemas de uma planta continuem realizando suas funções. Rosa (2016) complementa afirmando que tais programas permitem às

empresas alcançar uma excelência nas atividades de manutenção, obtendo uma ampliação na disponibilidade dos equipamentos com um menor custo, tanto de manutenção quanto custos referentes a acidentes. Estas atividades são aplicadas de acordo com a criticidade de cada componente, ajustando tarefas em todos os momentos para atingir às metas de distribuição estabelecidas, buscando otimizar a segurança, a qualidade e a confiabilidade do processo.

Wireman (1998), diz que a MCC é uma evolução da manutenção tradicional, que tem como objetivo principal focar nas funções mais importantes do sistema, diminuindo as tarefas de manutenção e diminuindo também os custos de manutenção.

Garza (2002) afirma que além de introduzir um novo conceito de manutenção, a MCC tem como base novos objetivos para a tomada de ações, apresentando um novo foco para a manutenção. O Quadro 1 apresenta uma comparação entre a MCC e o modelo tradicional de manutenção.

Baseando-se nessas expectativas, a MCC é uma metodologia que, quando aplicada, permite a organização gerir de uma forma melhor as suas atividades de manutenção, podendo atuar nos pontos mais críticos do seu processo, diminuindo assim o esforço desnecessário com atividades de manutenção corretivas, uma vez que com o uso desta metodologia a equipe de gestão pode direcionar qual tipo de manutenção é mais viável para um determinado sistema ou equipamento.

Segundo Smith e Hinchcliffe (2004), a MCC foi desenvolvida pela necessidade de se desenvolver uma estratégia de manutenção planejada que focasse na disponibilidade do sistema e sua segurança, sem gerar um aumento nos custos.

De acordo com Backlund (2003), a MCC que foi desenvolvida inicialmente por uma necessidade da indústria aeronáutica americana, começou a ser aplicada em outros setores da indústria, especialmente na de mineração e manufatura.

Moubrey (2000) afirma que caso a MCC seja implantada de forma correta, esta irá reduzir de 40% a 70% a rotina de tarefas de manutenção, gerando também uma otimização do planejamento de manutenção, aumento da produtividade, aumento da segurança humana e ambiental, reduzindo os custos com manutenção, materiais e operação, além de reduzir os riscos referentes às falhas acidentais. Leverette (2006) afirma que a obtenção de tais resultados está diretamente relacionada aos recursos (tempo, mão-de-obra física e técnica) aplicados e do comprometimento da organização durante a implantação e execução.

Quadro 1- Comparação entre a MCC e o Modelo Tradicional de Manutenção

Características	MCC	Manutenção Tradicional
Foco	Função	Equipamento
Objetivo	Preservar a função	Manter o equipamento
Atuação	Sistema	Componente
Atividades	O que deve ser feito	O que pode ser feito
Dados	Muita ênfase	Pouca ênfase
Documentação	Obrigatória e sistemática	Reduzida
Metodologia	Estruturada	Empírica
Combate	Consequência das falhas	Falhas
Normalização	Sim	Não
Priorização	Por função	Inexistente

Fonte: Siqueira (2009)

Além destes, Moubray (2000) complementa afirmando que os resultados esperados com uma correta implementação da MCC são: (i) maior segurança humana e proteção ambiental; (ii) melhoria do desempenho operacional em termos de quantidade e qualidade do produto e serviço; (iii) maior efetividade do custo de manutenção; (iv) aumento da vida útil dos itens físicos mais dispendiosos; (v) criação de um banco de dados completo sobre manutenção; (vi) maior motivação do pessoal envolvido com a manutenção e (vii) melhoria do trabalho em equipe. Estes resultados esperados demonstram o quanto a implantação da MCC pode trazer vantagens para a organização, identificando e concentrando os esforços da equipe de manutenção no foco do problema, evitando com que seja gasto um esforço desnecessário no momento em que não é necessário.

2.7. Distribuição de Probabilidade

Segundo Crowe e Feinberg (2001) apud Guzzon (2009, pág. 27), as principais distribuições de probabilidade associadas à confiabilidade são as distribuições Weibull, normal, exponencial e lognormal.

Devido às características do sistema a ser estudado no presente trabalho, a distribuição que melhor se enquadra é a Weibull 3 parâmetros, conforme será visto no decorrer do trabalho.

2.7.1. Distribuição Weibull e Weibull 3 parâmetros

A distribuição de Weibull é útil para representar diferentes fenômenos físicos (DHILLON, 2002). Em complemento, Ritcher (2006) diz que a distribuição de Weibull é uma distribuição flexível, com grandes variedades de formas, podendo assumir diferentes formatos e se aproximar de outras distribuições. Com isso, Fogliatto e Ribeiro (2011) afirmam que esta é uma das distribuições mais importantes na modelagem de confiabilidade de sistemas.

A expressão da função densidade de probabilidade da distribuição Weibull três parâmetros é dada pela expressão:

$$f(T) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{T - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{T - \gamma}{\eta} \right)^\beta}$$

Onde:

$f(T) \geq 0$, $(T) \geq 0$ ou γ , $\beta > 0$, $-\infty < \gamma < \infty$

e:

β é o parâmetro de forma, conhecido também como inclinação da distribuição Weibull;

η é o parâmetro de escala;

γ é o parâmetro de posição.

2.8. Análise FMEA

De acordo com Almannai et al. (2008), a Análise de Modos e Efeitos de Falhas, do inglês Failure Mode and Effects Analyses (FMEA), é um método sistemático com foco na prevenção de falhas de um projeto, processo ou sistema, baseando-se na identificação, impacto e frequência dos modos de falha sobre os mesmos. Em complemento, Lafraia (2001) afirma que o FMEA é uma técnica estruturada, indutiva e lógica que permite identificar potenciais modos de falha, classificando-os de acordo com a criticidade obtida, visando eliminar os riscos associados a estes modos de falha.

A FMEA é uma técnica de engenharia usada para definir, identificar e eliminar falhas potenciais ou conhecidas, problemas e erros do sistema, projeto, processo ou serviço antes que atinjam os usuários (STAMATIS, 2003). Conforme pode ser visto na Figura 3.

Figura 3- Tabela FMEA

FALHA FUNCIONAL	MODOS DE FALHAS	EFEITO DA FALHA	SEVERIDADE	OCORRENCIA	DETECTIBILIDADE	RPN	CAUSAS FUNDAMENTAIS	AÇÕES MITIGADORAS PROPOSTAS

FONTE: Elaborado pelo autor

Segundo Mobley (1999), o procedimento FMEA é uma sequência de passos lógicos, que se inicia com a análise de elementos do menor nível (subsistemas ou componentes), por meio da identificação dos modos de falhas potenciais e os mecanismos de falha, traçando o efeito dessa falha nos diversos níveis do sistema. Após essa identificação o modo de falha é caracterizado quanto a sua severidade (impacto na segurança, no meio ambiente, tempo de parada planejada e não planejada e custo de manutenção), ocorrência (periodicidade de ocorrência do modo de falha) e detectibilidade (probabilidade de identificação das falhas antes que estas virem defeitos), categorizadas com valores de 1 a 10 de acordo com as suas características. Esses valores multiplicados geram um Número de Prioridade de Risco (RPN), do inglês Risk Priority Numbers. Após a identificação do RPN são identificadas as causas fundamentais dos modos de falha, para que seja possível propor ações mitigadoras assertivas.

2.9. Técnica dos 5 Porquês

De acordo com Ohno (1997) a técnica dos “5 Porquês” foi desenvolvida pela Toyota no Japão, com a proposta de apoiar a identificação da causa raiz de um problema por meio de cinco questionamentos consecutivos sobre o porquê ocorrem determinados eventos. Conforme pode ser visto na Figura 4.

Figura 4 - Tabela 5 Porquês

RPN	Modo de Falha	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?
		Por que o Modo de Falha ocorre?	Por que a primeira resposta ocorre?	Por que a segunda resposta ocorre?	Por que a terceira resposta ocorre?	Por que a quarta resposta ocorre?

FONTE: Elaborado pelo autor

Na utilização desta técnica, o indivíduo ou equipe deve analisar as possíveis causas de um problema com um olhar crítico, visando identificar realmente a causa fundamental do problema. Apesar de ser uma técnica simples, a técnica dos “5 porquês” costuma apresentar resultados significativos (WERKEMA, 1995).

3. METODOLOGIA DE PESQUISA

Nesta seção, será explicitado como a pesquisa foi conduzida, a forma de extração/coleta de dados, as análises e os métodos utilizados na elaboração das conclusões.

3.1. Classificação da Pesquisa

O presente estudo é considerado uma pesquisa aplicada quanto à sua natureza, por ter interesse prático, onde os resultados serão aplicados ou utilizados imediatamente na solução de problemas que ocorrem na realidade, visando concluir objetivos comerciais (TURRIONI; MELLO, 2012). A pesquisa aplicada “objetiva gerar conhecimento para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais” (GERHARDT & SILVEIRA, 2009).

Quanto à forma de abordar, o problema em estudo pode ser classificado como uma pesquisa combinada, uma vez que combina a abordagem qualitativa com aspectos da abordagem quantitativa.

Um estudo quantitativo considera tudo que pode ser quantificável, o que significa traduzir em números opiniões e informações para classificá-las e analisá-las, utilizando de recursos e técnicas estatísticas (TURRIONI; MELLO, 2012). Enquanto que a pesquisa qualitativa “difere em princípio, do quantitativo, à medida que não emprega um instrumental estatístico como base na análise de um problema, não pretendendo medir ou numerar categorias” (RICHARDSON, 1999 apud DALFOVO et al., 2008, p. 09).

Pode-se perceber que a análise da aplicação da MCC deve ser feito por meio de estudos estatísticos, gerando dados quantitativos, porém estes dados necessitam se transformar em informação e conhecimento para a geração de conclusões e tomadas de decisões, abrindo espaço para o método qualitativo, onde o conhecimento da equipe envolvida nas atividades de manutenção tem destaque.

3.2. Coleta e Análise dos Dados

Para identificar as características do objeto de estudo, é necessário analisar os dados de paradas acidentais extraídos do software de gerenciamento MES (Manufacturing Execution System). Este software recebe dados dos operadores acerca das ocorrências na linha de produção e organiza-os em um banco de dados, disponibilizando informações de todas as paradas em forma de relatório contendo: data, horário, equipamento, causa, descrição da ocorrência e providência tomada. Para a realização deste estudo, foram utilizados dados do período de 01 de janeiro de 2012 a 31 de dezembro de 2016.

Inicialmente, com o intuito de se obter informações sobre as paradas acidentais ocorridas no processo de laminação, foi gerado um relatório do MES e extraído para uma planilha do Excel, para que fosse possível fazer um filtro para a geração de gráficos, visando identificar os sistemas responsáveis pela maior taxa de paradas acidentais.

Após a identificação dos sistemas de maior criticidade, e definido qual sistema seria objeto de estudo, foi realizado um novo filtro buscando identificar quais componentes eram responsáveis pela maior taxa de paradas acidentais, para tal foram elaborados gráficos com o auxílio do Minitab17 para uma melhor visualização.

Uma vez identificado os componentes mais representativos em termos de falhas acidentais, os dados foram tratados visando obter informações sobre as características individuais do mesmo, para isso além da planilha de Excel foi utilizado o software Minitab17.

Após identificar o componente crítico, bem como as suas individualidades de funcionamento, foi elaborado um FMEA com a participação da equipe de manutenção responsável pelo sistema, a equipe era composta por engenheiro de manutenção, coordenador mecânico, coordenador da elétrica, mecânico, eletricista e um estagiário de engenharia de produção, cada qual responsável por sua área de conhecimento, sendo o engenheiro de manutenção e o estagiário de engenharia de produção responsáveis por controlar e aplicar a metodologia.

Durante a elaboração do FMEA, foram realizados brainstormings com a equipe responsável, de modo que todos os envolvidos pudessem dar a sua contribuição, com conhecimentos obtidos com a experiência adquirida durante a carreira. Nesta etapa, foram identificadas as funções do sistema, bem como seus modos de falha, e os efeitos destas falhas no sistema, houve também o uso da técnica dos “5 porquês”, para auxiliar no entendimento dos modos de falha, e chegar às suas causas fundamentais, possibilitando à equipe de implantação

da metodologia propor ações de modo a mitigar estes modos de falha e aumentar a confiabilidade e disponibilidade do sistema estudado.

4. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

4.1. Apresentação da Empresa

A ArcelorMittal é um grupo multinacional do ramo siderúrgico. Segundo o site da empresa, no Brasil a ArcelorMittal conta com 29 unidades de produção e beneficiamento de aço, com uma capacidade de produção anual de 11,3 milhões de toneladas de aço bruto e 7,1 milhões de toneladas de minério de ferro. Presente nos segmentos de aços planos e longos ao carbono, mineração, distribuição e produção de carvão vegetal, conta com cerca de 15 mil empregados, nas unidades de Minas Gerais, São Paulo, Espírito Santo e Santa Catarina.

Situada em Minas Gerais, a unidade ArcelorMittal Monlevade oferece produtos no segmento de aços longos, sendo grande fornecedor de fio-máquina, atendendo indústrias do ramo automobilístico, construção civil, eletrodomésticos, entre outros. A variedade do produto se dá pelo tipo de aço e espessura (tipo de bitola).

A ArcelorMittal Monlevade possui uma característica única no grupo por ser uma usina integrada, pois conta com o início do seu processo ocorrendo na extração do minério de ferro, passando pelo processo de sinterização, redução no alto forno, convertedor, forno panela, lingotamento contínuo, laminação e, finalmente, obtendo o seu produto final, o fio-máquina.

A unidade de João Monlevade conta com dois laminadores em funcionamento e um terceiro em fase de teste. O Terminal Laminador 1 (TL1), é o mais antigo, e opera desde 1968, com o funcionamento de duas linhas de laminação paralelas, já o Terminal Laminador 2 (TL2), objeto de estudo deste trabalho, é mais moderno (1990) e trabalha com apenas uma linha.

4.2. Descrição do Laminador 2

Inaugurado na década de 90, contando com reformas entre os anos de 2004 e 2005, e uma nova reforma no ano de 2016, o TL2 produz fio-máquina, variando quanto à espessura – varia de 5,5mm à 44,0mm – sendo, no total, 32 tipos de bitola, variando entre as vias Stelmor e Garret, as quais laminam as bitolas mais finas na primeira via e mais grossas na segunda.

No Laminador 2, a atividade de laminação se divide em alguns processos. Inicialmente, o tarugo vindo do processo de lingotamento contínuo é reaquecido no Forno Combustol, de forma que seja possível ocorrer a deformação a quente nos processos seguintes. Em seguida, o tarugo, já reaquecido, inicia o processo de deformação passando pelas cadeiras de laminação

que vão diminuindo sua espessura e aumentando a velocidade das cadeiras na medida em que a barra de aço vai se deformando, diminuindo a sua bitola e aumentando o seu comprimento. Nesta etapa a barra é direcionada para a via Stelmor, caso seja desejado obter um fio-máquina de menor bitola, ou para a via Garret, caso seja desejado obter um fio-máquina de maior bitola. Ao final deste processo ocorre a formação de espiras e o processo de resfriamento, chegando ao processo de formar as bobinas, para que seja enviada ao processo de manuseio, que irá compactar, etiquetar e embalar as bobinas para que sejam enviadas ao setor logístico e despachadas para os clientes. A Figura 2 mostra o layout do Laminador 2, onde é possível observar os processos desde a entrada do tarugo até a saída do fio-máquina em forma de bobina.

4.3. Descrição do Problema

Na análise dos indicadores da gerência de manutenção, observa-se que o tempo gasto com manutenções corretivas tem grande influência na produtividade do laminador. Esse indicador é dividido em sistemas, de modo que cada equipe responsável por um sistema saiba se a forma como está se desempenhando as funções de manutenção está sendo eficaz e eficiente, trazendo resultados positivos ou negativos para a produtividade do sistema.

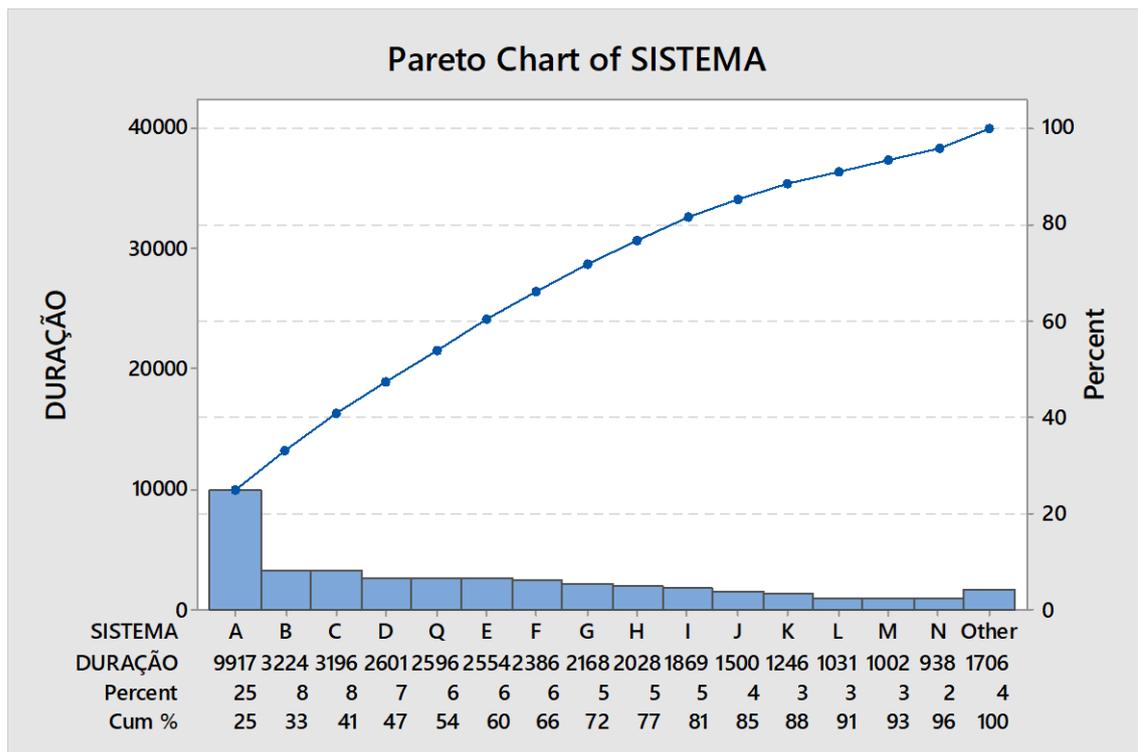
Buscando uma forma de otimizar as atividades da equipe de manutenção, foi proposta pela direção do grupo a aplicação de uma nova metodologia de manutenção, a metodologia Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), buscando obter um conhecimento maior sobre os sistemas da empresa, diminuir os custos com manutenção e direcionar da melhor forma possível as atividades de manutenção, tendo como pilar a procura contínua pela maior confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, além da diminuição dos custos de manutenção.

5. DESENVOLVIMENTO

5.1. Identificação e Seleção do Sistema Crítico a ser Tratado

Com o intuito de identificar um sistema crítico no processo produtivo para a aplicação da metodologia, foi realizado um levantamento contemplando o tempo de produção perdido com paradas acidentais, tendo em vista que essas paradas não foram planejadas durante o planejamento da produção, gerando perda da produtividade do laminador, além da influência do mesmo na qualidade do produto. Para isso, foi elaborado um gráfico de Pareto visando identificar os sistemas mais críticos do processo de laminação, como pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 - Gráfico de Pareto das paradas acidentais



FONTE: Elaborado pelo autor

Através do gráfico foi possível analisar e perceber quais sistemas têm mais influência na produtividade do setor. Após ser realizada esta análise, foram pontuados quais destes sistemas possuem uma maior influência na qualidade do produto. Feito esta análise, a equipe envolvida no processo de laminação decidiu que seria viável e de suma importância estudar e

aplicar a metodologia MCC no sistema B, visando obter uma melhoria não só na produtividade, como também na qualidade do produto, uma vez que este equipamento tem contato direto com o produto e afeta diretamente a sua qualidade.

A preferência em se priorizar o sistema B em relação ao A neste estudo, é a importância desse sistema para a qualidade do produto, uma vez que o sistema a ser estudado tem contato direto com o produto e qualquer modo de falha presente pode deteriorar e até mesmo sucatear o produto.

5.2. Coleta e tratamento dos Dados de Paradas Acidentais

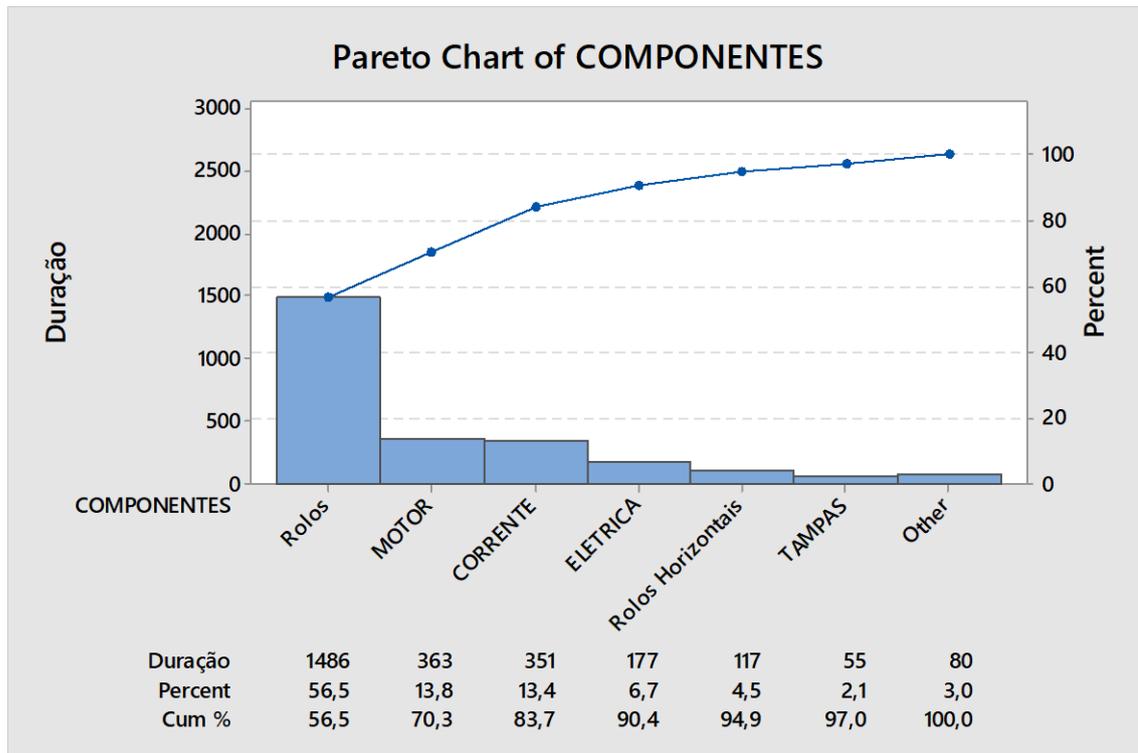
Definido o sistema a ser aplicada a metodologia, deu-se início a coleta e tratamento de dados, com o intuito de entender melhor o comportamento do equipamento. A coleta de dados se deu através do software MES, onde são registradas todas as paradas acidentais da área de laminação.

Posteriormente à coleta de dados, foram analisados os componentes com menor confiabilidade no equipamento, para isso foi elaborado um gráfico, com o auxílio do Excel, de modo a obter uma melhor visualização da parcela de cada componente do sistema B em relação ao tempo de paradas acidentais, conforme pode ser visto na Figura 7.

O tratamento de dados históricos de paradas acidentais em um período de 5 anos permitiu identificar que o componente Rolos representam 56,50% do tempo gasto em paradas acidentais registradas.

Após a identificação do componente responsável pelo maior percentual de horas paradas, foi realizada uma estruturação dos dados de paradas acidentais do componente a ser estudado através do software estatístico Minitab17, de modo a se obter um maior conhecimento acerca da confiabilidade do equipamento e de seus componentes, permitindo através do MTBF, identificar uma estimativa do intervalo entre as falhas ocorridas no componente mais crítico.

Figura 7 – Gráfico de Pareto de paradas por componente

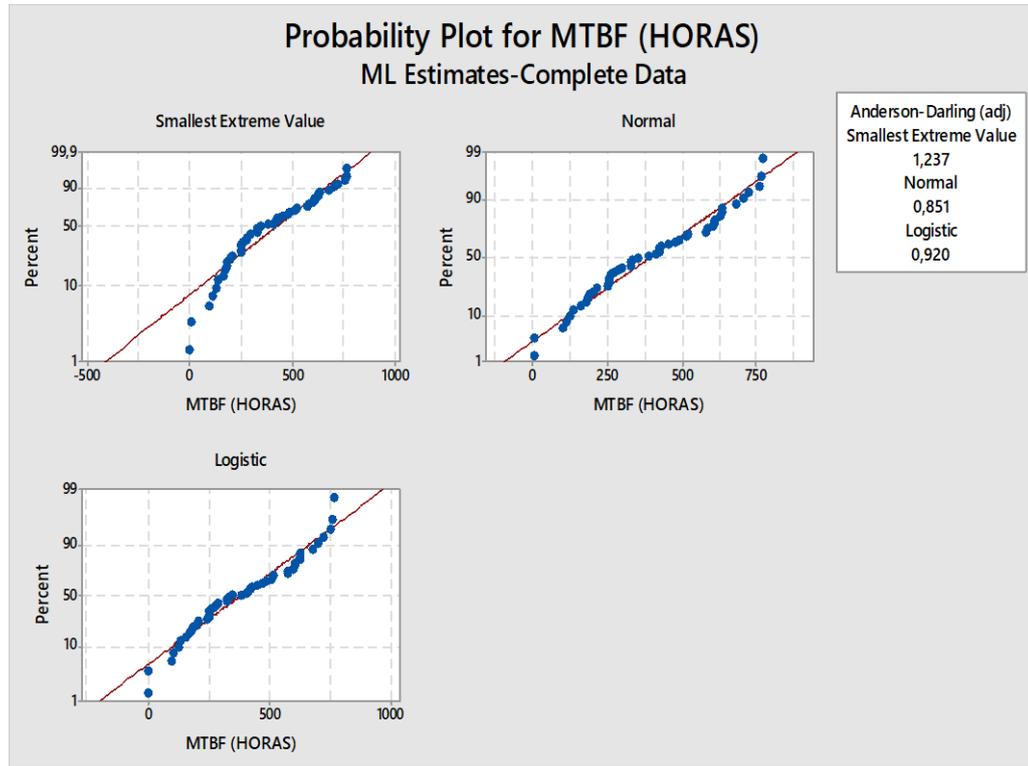


FONTE: Elaborado pelo autor

5.3. Análise dos Dados de Confiabilidade

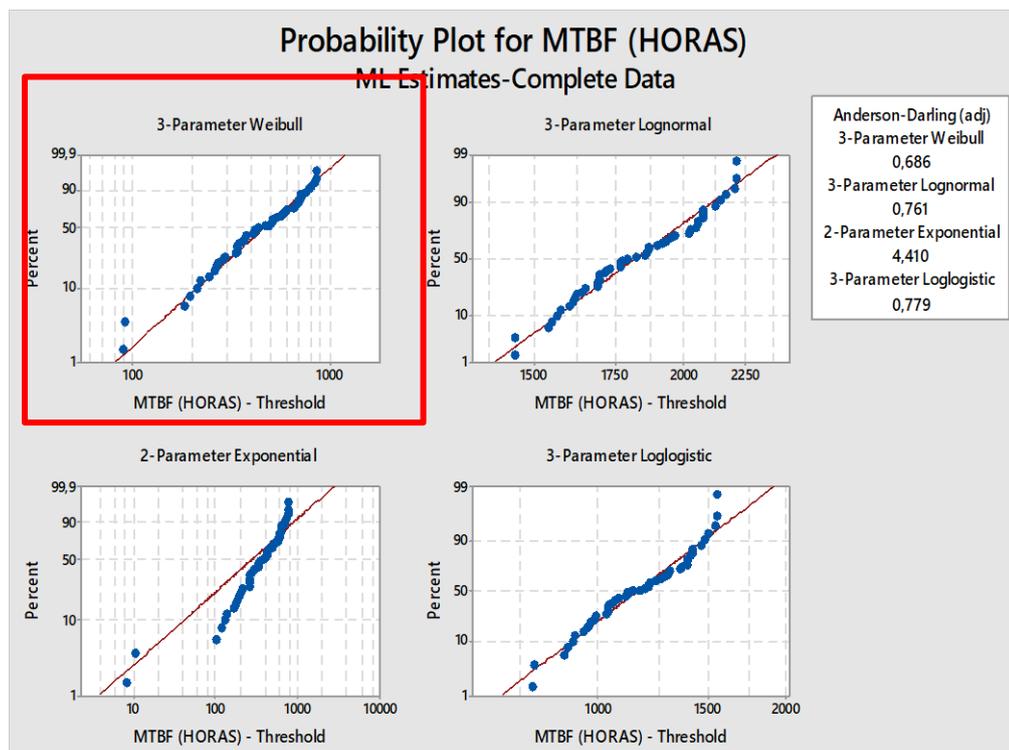
Inicialmente, foi realizada uma análise preliminar com todos os tipos de distribuição de probabilidade a fim de identificar qual distribuição melhor se enquadra para os dados de paradas do componente em estudo, para isso foi utilizado o software Minitab17 como pode ser visto nas Figuras 8, 9 e 10.

Figura 8 - Distribuições de Probabilidade



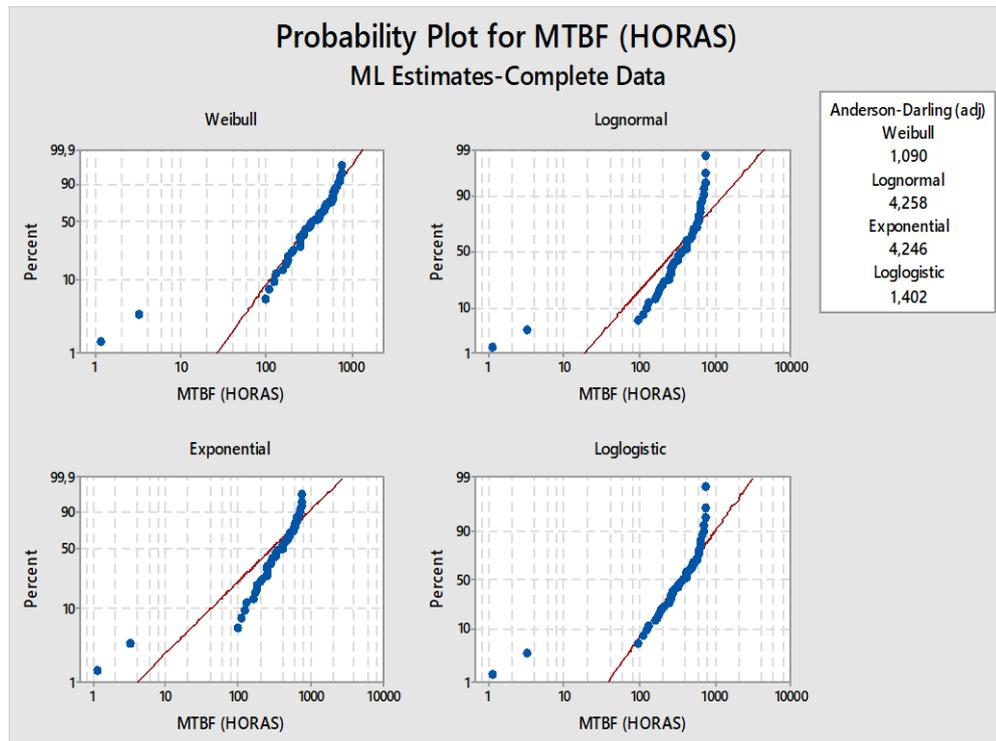
FONTE: Elaborado pelo autor

Figura 9 - Distribuições de Probabilidade



FONTE: Elaborado pelo autor

Figura 10 - Distribuições de Probabilidade



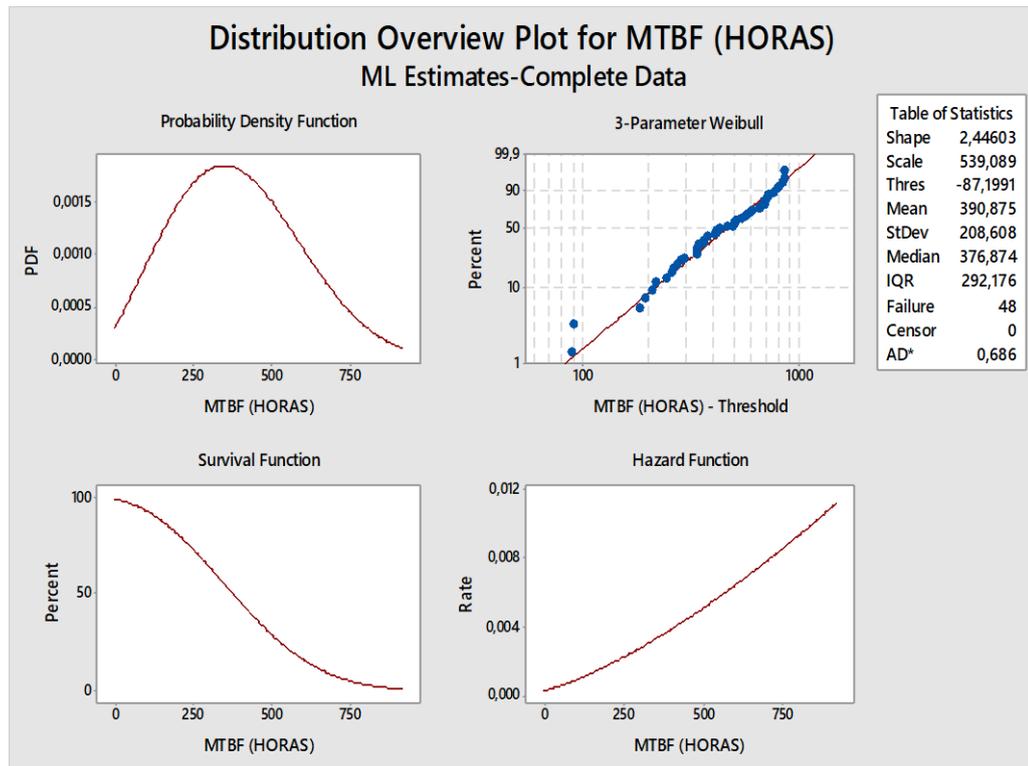
FONTE: Elaborado pelo autor

Através da análise visual e do valor do Teste de Anderson-Darling, que mede a diferença entre a função empírica e a função que se está assumindo, que no caso é a distribuição que melhor se enquadra ao caso é a distribuição Weibull 3 parâmetros – contornada em vermelho (Figura 9) -, uma vez que é a distribuição onde os pontos se encontram mais próximos da reta mediana além de possuir o menor valor da estatística de Anderson-Darling.

Após esta definição da melhor distribuição de probabilidade, foram gerados através do software gráficos de visão geral da distribuição Weibull 3 parâmetros, conforme pode ser visualizado na Figura 11.

Observando a Figura 11, pode se identificar características do equipamento em estudo, através da análise dos gráficos que mostram a Função Densidade de Probabilidade, Função de Sobrevivência e a Função de Risco. Além disso, podemos identificar o valor dos 3 parâmetros da distribuição, onde o parâmetro de forma β vale 2,44603, o parâmetro de escala η tem valor 539,089 e o parâmetro de posição γ tem valor -87,1991. Esses gráficos serão analisados detalhadamente nas próximas seções.

Figura 11 - Gráfico de visão geral da distribuição Weibull 3 parâmetros

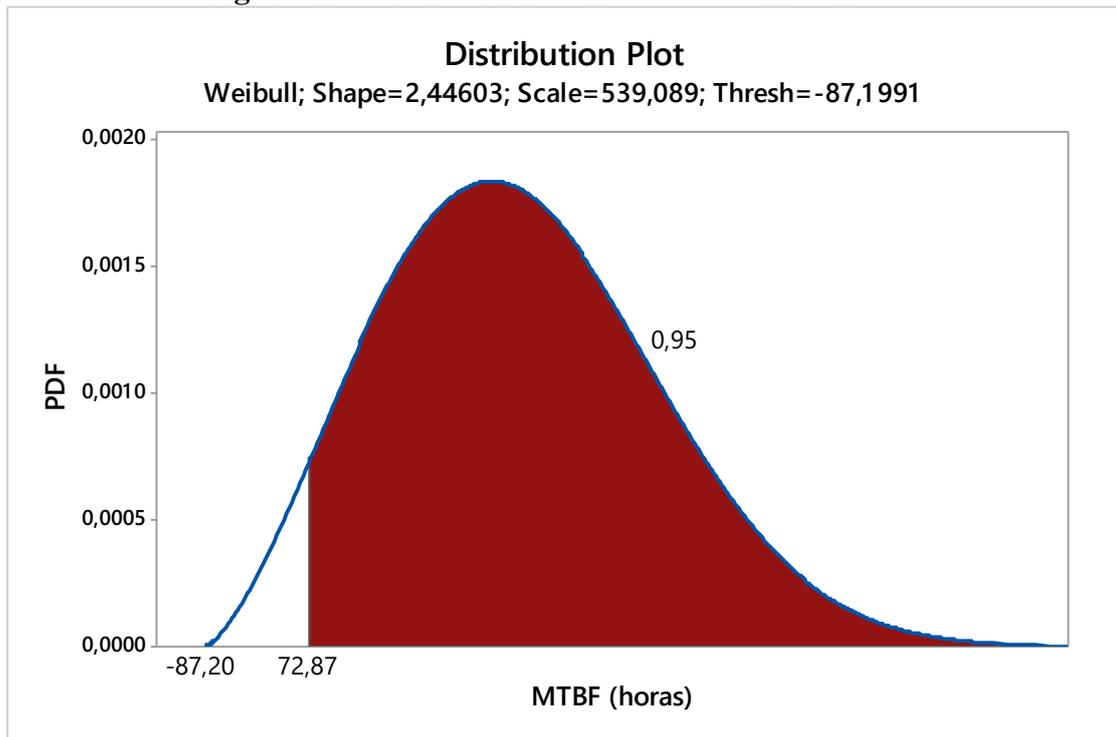


FONTE: Elaborado pelo autor

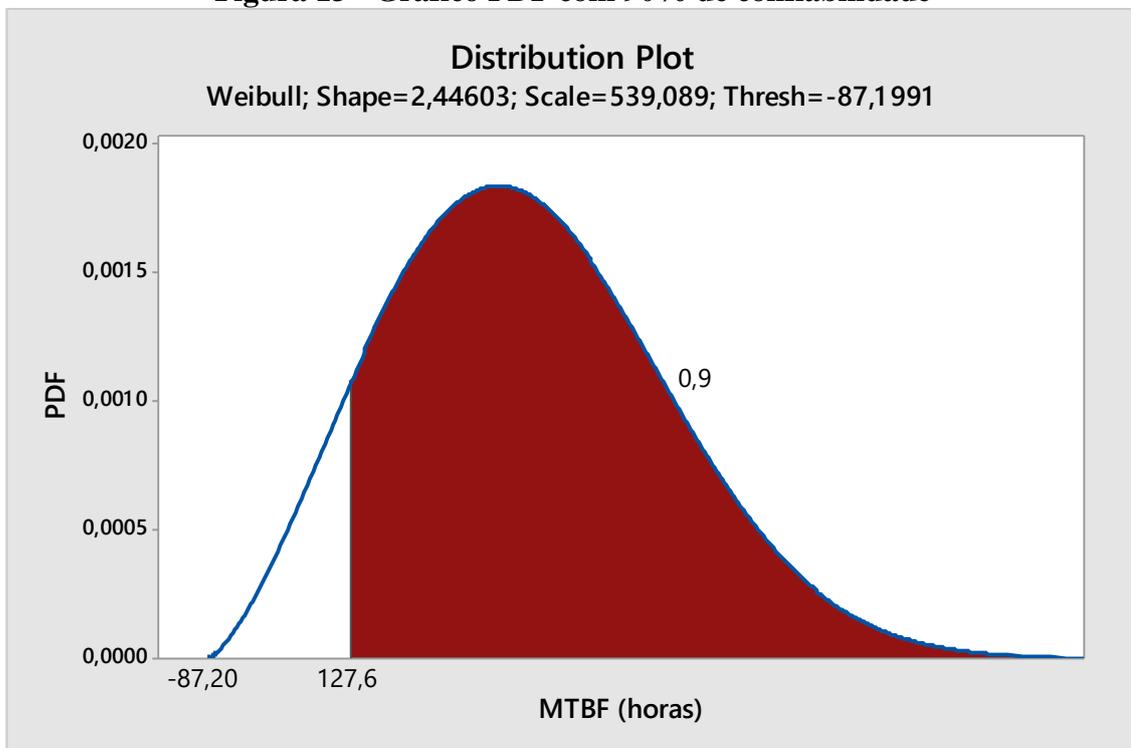
5.3.1. Gráfico Função Densidade de Probabilidade (PDF)

Observando-se o primeiro gráfico, pode-se perceber a curva que representa a função densidade de probabilidade (PDF), referente aos dados de paradas acidentais do objeto de estudo. A área abaixo da curva é igual a 1. A área à direita de qualquer ponto no eixo x representa a confiabilidade estimada do componente.

De posse dos valores dos 3 parâmetros foram gerados com o auxílio do Minitab17 gráficos que possibilitassem identificar a confiabilidade do componente de acordo com o tempo trabalhado, conforme pode ser visto nas Figuras 12, 13 e 14.

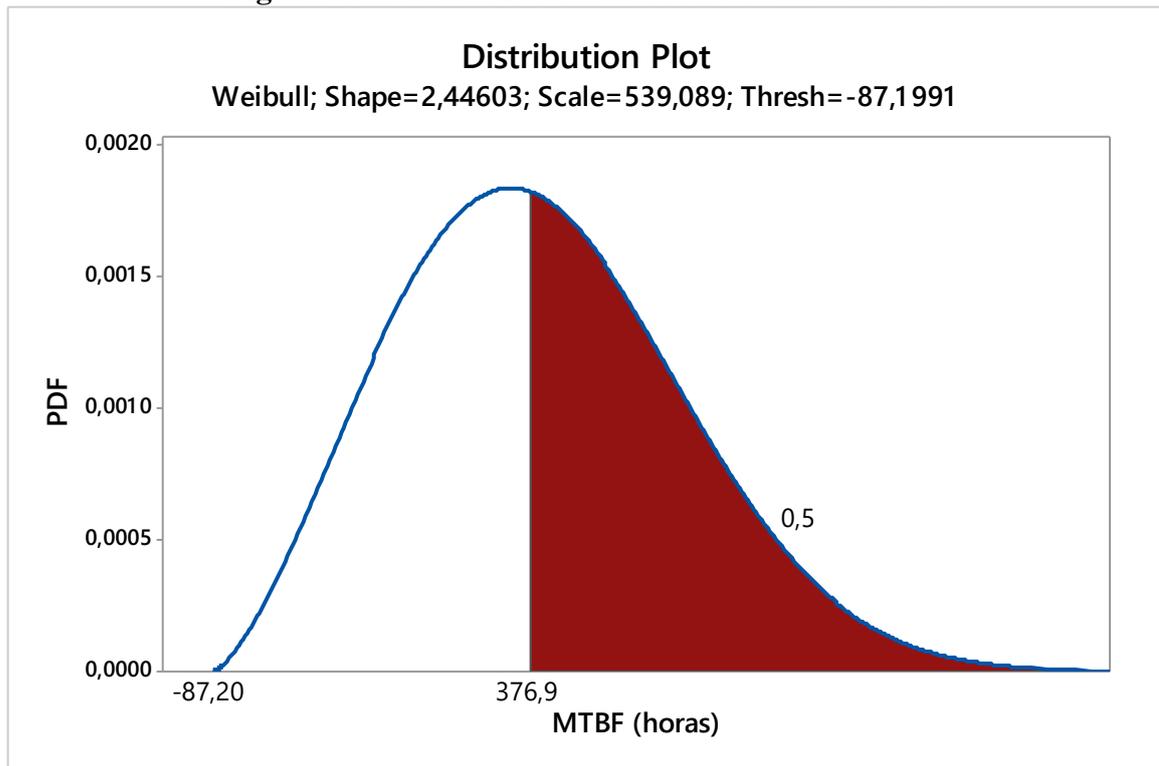
Figura 12 - Gráfico PDF com 95% de confiabilidade

FONTE: Elaborado pelo autor

Figura 13 - Gráfico PDF com 90% de confiabilidade

FONTE: Elaborado pelo autor

Figura 14 - Gráfico PDF com 50% de confiabilidade



FONTE: Elaborado pelo autor

Através da análise dos gráficos pode-se perceber que com o decorrer do tempo de trabalho a confiabilidade do componente tende a decair, fazendo um comparativo pode-se ver que um componente que trabalhou por aproximadamente 73 horas tem 95% de confiabilidade, já um componente que trabalhou por aproximadamente 128 horas apresenta uma confiabilidade de 90%, o que não é uma grande diferença, tendo em vista que teve quase 2 vezes mais horas trabalhadas. Já quando comparamos com um componente que trabalhou por aproximadamente 377 horas apresenta uma confiabilidade de aproximadamente 50%, o que pode ser comprovado quando comparamos esses gráficos com o gráfico da Função de Sobrevivência (Figura 11).

5.3.2. Gráfico de Probabilidade Weibull 3 Parâmetros

Este gráfico auxilia na determinação da melhor probabilidade a ser utilizada, neste caso, determina se a distribuição Weibull 3 parâmetros é adequada, para isso, deve-se analisar se os pontos, que representam os tempos de falha, seguem a linha no gráfico, que representa a função de distribuição acumulada.

Através deste gráfico, podem-se estimar os percentis da distribuição de confiabilidade, onde o eixo y representa o percentual de itens esperados a falhar no tempo correspondente dado

no eixo x. Por exemplo, aproximadamente 5% dos componentes vão apresentar algum tipo de falha em 150 horas de trabalho (Figura 11).

5.3.3. Gráfico Função de Sobrevivência

Através do gráfico da Função de Sobrevivência (Figura 11), ou função de confiabilidade, pode-se observar que a curva que demonstra a confiabilidade do componente em estudo apresenta uma característica de decaimento em relação a quantidade de horas trabalhadas, no qual pode-se ver que 90% dos componentes têm qualidade aceitável até 125 horas de funcionamento. Deste modo a equipe de manutenção deve atuar antes que o mesmo entre em estado de falha, sendo possível intensificar a manutenção preditiva, de modo a acompanhar o comportamento do componente até que este necessite de um reparo ou troca. Esses reparos são realizados através de uma manutenção preventiva, caso ocorra antes do equipamento falhar, ou através de manutenção corretiva, após o componente falhar, o que poderá demandar um maior custo e um maior tempo de atuação. Essa decisão de qual tipo de manutenção melhor se enquadra ao problema detectado cabe à equipe de manutenção, que, de acordo com o conhecimento acerca do equipamento e o planejamento realizado, poderá tomar uma decisão assertiva de modo a resolver o problema.

5.3.4. Gráfico Função de Risco

Ao contrário do que é percebido no gráfico da função de sobrevivência, no gráfico da função de risco (Figura 11), pode-se perceber que o risco de quebra do componente aumenta com o passar do tempo de trabalho do mesmo. Esta função representa a taxa de falha instantânea em um determinado tempo t .

Usando o eixo y para comparar as taxas de falha para os itens de sobrevivência até o tempo dado no eixo x, pode-se fazer uma comparação levando em consideração o tempo de trabalho do item. Por exemplo, um componente que trabalhou sem apresentar algum tipo de falha por 250 horas tem uma função de taxa de falha de aproximadamente 0,003, enquanto que um componente que trabalhou sem apresentar algum tipo de falha por 700 horas apresenta uma função de taxa de falha de aproximadamente 0,006. Isto significa que o componente que trabalhou por 700 horas é duas vezes mais provável de falhar do que o componente que trabalhou por 250 horas.

5.4. Elaboração do FMEA

Para identificar as principais falhas características do componente crítico, a equipe responsável pela aplicação da metodologia elaborou um FMEA, de forma a possibilitar ter uma melhor visão de qual a funcionalidade do equipamento e do que poderia ocorrer em caso de falha deste. Além das causas fundamentais dos modos de falha conhecidos através da experiência dos envolvidos, seja essa adquirida por meio de documentos sobre o componente ou por experiências vividas no tempo de trabalho.

Num primeiro momento foram identificadas todas as funções do componente em estudo, de modo a entender de fato qual funcionalidade esse componente deveria ter para o sistema e até que condições de funcionamento seriam aceitáveis para o mesmo continuar sendo utilizado sem a necessidade de algum tipo de manutenção. Feito isso, foram listadas quais as possíveis falhas funcionais esse componente poderia apresentar, ou seja, que perda de função o mesmo poderia apresentar com o passar do tempo de trabalho. Em um segundo momento, já de posse das possíveis falhas funcionais, foi listado, de acordo com entrevistas realizadas com os responsáveis pelo sistema e com os dados encontrados no sistema MES, os modos de falha possíveis para ocasionar as falhas funcionais, ou seja, caso ocorra uma falha funcional, ao chegar na região do sistema onde o componente se encontra, “quais modos de falha é possível visualizar rapidamente?”. Feita essa identificação dos modos de falha foi gerado o Número de Prioridade de Risco (RPN), multiplicando-se o valor atribuído as colunas referentes a severidade, ocorrência e detectibilidade do modo de falha, para tais colunas, são atribuídos valores de 1 a 10, sendo o valor da coluna de severidade atribuído de forma crescente, ou seja, quanto mais crítico maior o valor, já na coluna de ocorrências, quanto mais frequente as ocorrências, maior o valor a ser atribuído à coluna, e, na coluna de detectibilidade, quanto maior a probabilidade de se detectar a falha menor deve ser o valor atribuído à coluna.

Depois de identificados os possíveis modos de falha, e gerado os seus respectivos RPNs, foi aplicada a técnica dos “5 porquês” nos modos, de modo que fosse possível entender a fundo o que de fato poderia ocasionar tais modos de falha. A aplicação do FMEA e da técnica dos “5 porquês” pode ser vista na Figura 15.

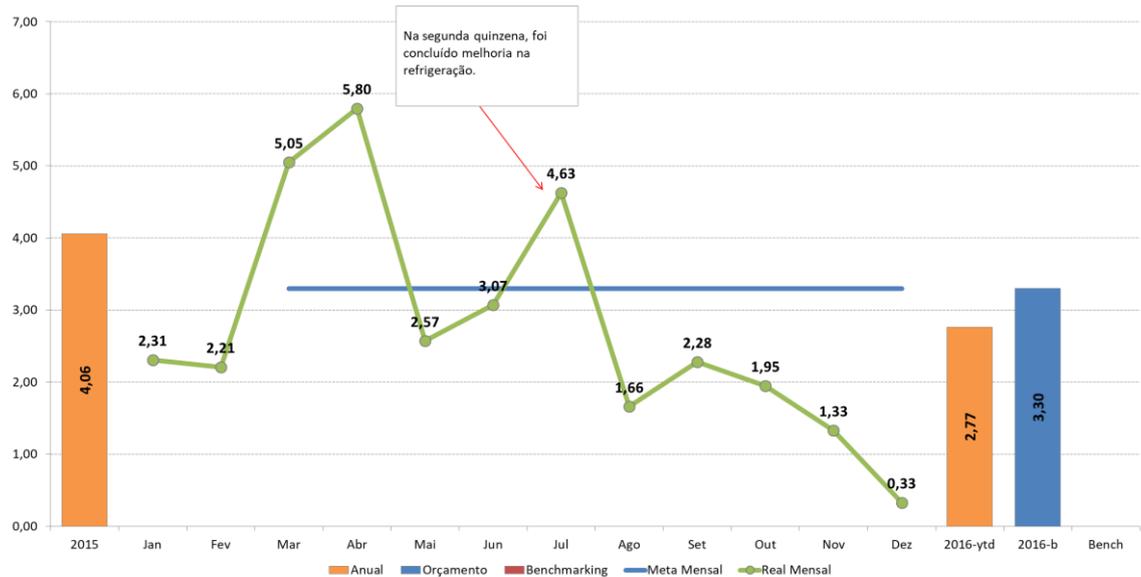
Através da elaboração do FMEA foi possível elaborar ações mitigadoras, de forma a antecipar e até mesmo sanar os modos de falha, tais ações são:

- ✓ Revisão de procedimentos de montagem do componente;
- ✓ Revisão dos planos de inspeção preventiva e preditiva;
- ✓ Modificar o projeto do sistema de refrigeração dos Rolos;

- ✓ Instalar trava de segurança para evitar o fechamento das válvulas de refrigeração dos Rolos.

Tais ações geraram uma diminuição no tempo gasto com manutenção em paradas acidentais, conforme pode ser visualizado nas figuras 16 e 17.

Figura 15 - Gráfico de tempo gasto com manutenção corretiva (2016)



FONTE: Elaborado pelo autor

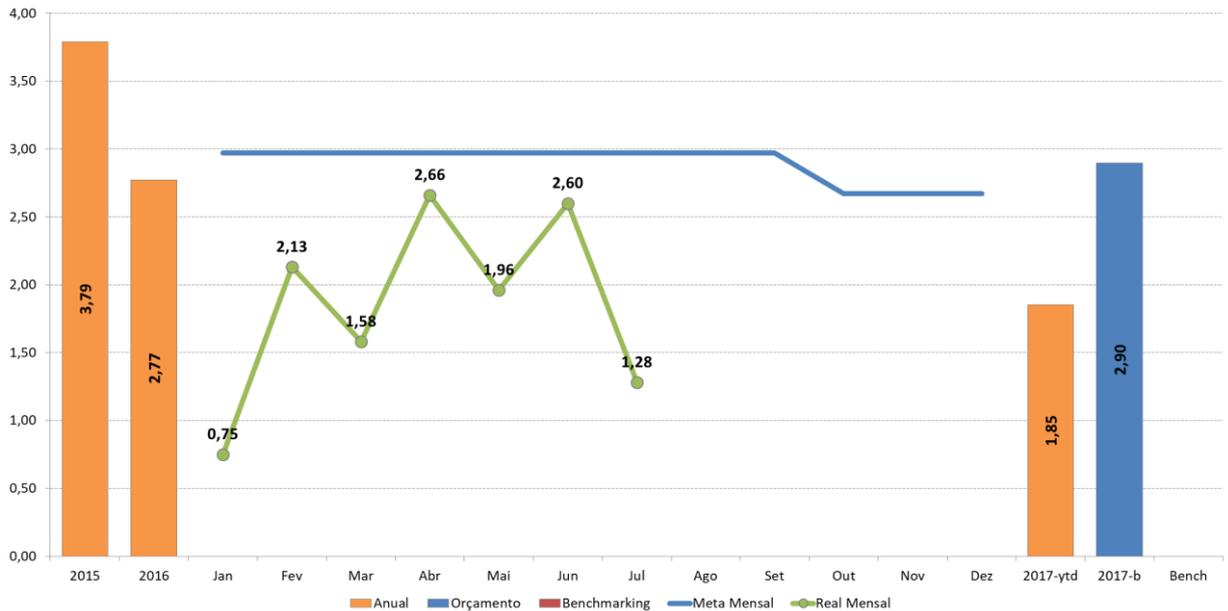
Através da aplicação da MCC, com o auxílio da FMEA e da técnica dos “5 porquês” e de posse do resultado obtido em relação ao tempo de paradas acidentais, pode-se ver que houve um aumento na confiabilidade do componente estudado, ou seja, haveria um aumento do MTBF, fazendo com que as curvas dos gráficos de sobrevivência e de risco se deslocassem para a direita, assim 90% dos componentes teria qualidade aceitável após um tempo de funcionamento maior do que 125 horas, assim como, de acordo com o gráfico da função de risco, um componente apresentaria uma função de taxa de falha de aproximadamente 0,003 após 250 horas de funcionamento.

Figura 16 – FMEA e 5 porquês

FALHA FUNCIONA L	MODOS DE FALHAS	EFETO DA FALHA	SEVE R	OCOR R	DETE C	RPN	Por que	Por que	Por que	Por que	Por que	
1- Não transportar espiras até o formador de bobinas de acordo com a velocidade dos ciclos das receitas de laminação	1.4 - Travamento dos rolos da seção de entrada por sobreaquecimento.	Comença a apresentar travamentos e desarme do motor de acionamento da seção, e caso não seja tomada nenhuma providência, o motor será desarmado por sobrecarga ou provocar entupimento de espiras por travamento nos rolos.	9	7	4	252	Dilatação das chapas de composição entre rolos e chapas laterais	Faltou fluxo de água	Entupimento das mangueiras de entrada e saída de água dos módulos laterais e rolos. Válvula de entrada/saída de água fechada	Sistema de refrigeração obstruído	sistema de filtragem ineficiente	
	1.7 - Cabeça ou cauda do material agarrado.		9	4	5	180	Folga excessiva entre chapas de composição do módulo e rolo.	Desalinhamento do rolo	Mancal com parafusos de fixação frouxos	entupimento das mangueiras de entrada e saída de água dos módulos laterais e rolos Válvula de entrada/saída de água fechada	baixa vazão de água	sistema de filtragem ineficiente
	1.9 - Rolo acionado porém não gira por desgaste na chaveta.	A seção para, ocasionando parada do Stehnr. porém não há sinalização e o motor continua funcionando. Causa entupimento de espiras e acúmulo de material sobre os rolos das seções. Afeta a produção por aproximadamente 120 minutos. É acionada manutenção para troca da roda/chaveta do rolo.	9	3	5	135	Recamento da chaveta de fixação da roda dentada do rolo comum das seções de entrada	Travamento do rolo	rolo desalinhado	parafuso de fixação do mancal frouxo	Refrigeração deficiente	
	1.10 - Rolos não giram por desgaste na corrente.		9	3	5	135	Corrente de ligação dos rolos desgastada	Falta de lubrificação	Descumprimento do plano de lubrificação	mancais com parafusos frouxos desalinhando o rolo		
	1.11 - Rolos não giram por quebra de corrente.		9	5	5	225	Empenda da corrente do rolo comum sem contrapino	Contra pino de fixação solto	contra pino montado na posição incorreta	Falta no procedimento para montagem da corrente de acionamento dos rolos		

FONTE: Elaborado pelo autor

Figura 17 - Gráfico de tempo gasto com manutenção corretiva (2017)



FONTE: Elaborado pelo autor

Pode ser visto também nas figuras 16 e 17, que após a conclusão das ações propostas (no mês de julho), houve um decaimento no tempo de paradas acidentais do sistema estudado, o que pode ser visualizado observando tanto as taxas de paradas mês a mês (linha verde), quanto as colunas que representam as médias anuais, onde no ano de 2015 a média era de 3,79 horas/mês, no ano de 2016, com as mudanças sendo realizadas no segundo semestre do ano, a média anual já apresentou uma melhora, decaindo de 1,02 hora/mês em relação a 2015, melhorando ainda mais essa média no ano de 2017 (1,85 horas/mês). Médias que superaram as expectativas dos envolvidos na implantação do MCC, que foram representadas nas Figuras 16 e 17 através das linhas e colunas azuis, que mostram a meta estipulada, tanto mensal quanto anual.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A existência de uma gestão da manutenção eficiente tornou-se indispensável para as organizações nos dias atuais, diante do cenário competitivo que exige das organizações produzir cada vez mais, reduzindo seus custos e mantendo a qualidade de seus produtos, de modo que essas consigam se manter atuantes no mercado. O bom entendimento acerca dos seus sistemas de produção propicia à organização a possibilidade de uma tomada de decisão mais assertiva, uma vez que as atividades de manutenção vêm a cada dia se tornando mais presente nas estratégias de tomadas de decisão por parte da organização.

Um ponto importante a ser tratado com grande atenção é a participação de todos os colaboradores da empresa na implantação de uma nova metodologia de manutenção, uma vez que esta irá trazer modificações tanto culturais, quanto modificações na forma de se fazer manutenção. Sendo os colaboradores de cada nível hierárquico responsáveis por uma etapa da implantação e da execução da nova metodologia, atuando e tomando decisões para que as barreiras culturais e organizacionais da mudança não atrapalhem tanto a implantação quanto a qualidade e produtividade das linhas de produção.

O uso da Metodologia Centrada em Confiabilidade (MCC) visa entender melhor os equipamentos produtivos, de modo que seja possível atuar para manter e até mesmo aumentar a sua confiabilidade. Com esse melhor entendimento, a equipe responsável pela gestão da manutenção pode tomar decisões e definir o melhor momento para se atuar com cada tipo de manutenção, julgando com base em quesitos como custo, produtividade, qualidade, qual o melhor momento para se atuar, seja essa atuação apenas um monitoramento, um reparo ou troca, sejam esses programados ou corretivos.

Com o gráfico de Pareto e as análises de distribuição de probabilidade gerando gráficos que representam o comportamento do componente estudado pode-se observar a influência do tempo de trabalho no funcionamento do mesmo, tornando evidente para a equipe de manutenção o melhor momento para aumentar ou diminuir a intensidade e o tipo das atividades de manutenção.

O entendimento a fundo do equipamento quando registrado com o auxílio de metodologias e ferramentas da qualidade, como o FMEA e a Técnica dos 5 Porquês, além da participação de todos os envolvidos, permite que a organização tenha o conhecimento de seus colaboradores, adquiridos em anos de experiência, seja este adquirido por meio de situações vividas ou por meio de conversas informais e profissionais com antigos colaboradores ou profissionais de outras organizações, transformados em conhecimento explícito. Essa

transformação de conhecimentos proporciona para a empresa um ganho não apenas em curto prazo, uma vez que este registro ficará de posse da organização e de todos os seus colaboradores para que possa sempre que necessário ser consultado, auxiliando na tomada de decisão em situações futuras.

Finalizando o processo de implantação da metodologia houve a elaboração de ações mitigadoras dos modos de falha, que possibilitaram a organização alterar planos de inspeção e realizar modificações no sistema, modificações estas que trouxeram ganho para a organização, tanto em produtividade quanto em confiabilidade, objetivo principal do desenvolvimento do trabalho.

Assim, pode-se concluir que as atividades para se ter um sistema confiável têm suma importância não apenas no planejamento de produção e manutenção, mas também no planejamento estratégico de toda a organização tendo em vista que tendo esta confiabilidade consegue-se obter vantagens competitivas. Portanto, com o desenvolvimento do presente trabalho, se torna evidente a importância de entender o funcionamento de todo o sistema, bem como suas possíveis falhas, de forma a ser possibilitado que decisões assertivas sejam tomadas, gerando cada vez mais benefícios para a organização.

Como sugestões para trabalhos futuros ficam manter o acompanhamento do equipamento estudado e aumentar a abrangência no sistema, de modo que o tempo gasto com paradas acidentais diminua ainda mais. Fica também a sugestão de se aplicar a metodologia nos demais equipamentos tanto do laminador, quanto de outras áreas da usina, e até mesmo em outras organizações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ALMANNAI, B., GREENOUGH, R. e KAY, J. (2008), **A decision support tool based on QFD and FMEA for the selection of manufacturing automation Technologies, Robotics na Computer-Integrated Manufacturing**, 4, 501-507.

ArcelorMittal no Brasil em Números. Disponível em <<http://www.arcelormittal.com.br/quem-somos/nossos-negocios/numeros>> . Acessado em 12/08/2017 às 16:04.

BACKLUND, Fredrick. **Managing the Introduction of reliability-Centered Maintenance, RCM – RCM as a method of working within hydropower organizations.** 2003. 317 f. Thesys (Doctoral) – Department of Business Administration and Social Sciences – Division of Quality and Environmental Management, Lulea University of Technology. Lulea, 2003.

BERGAMO, V. F. **Confiabilidade Básica e Prática.** São Paulo: E. Blucher, 1997.

DALFOVO, M. S.; LANA, R. A.; SILVEIRA, A. Métodos quantitativos e qualitativos: um resgate teórico. **Revista Interdisciplinar Ciência Aplicada.** Blumenau, v. 2, n. 04, p. 01-13, 2008.

DHILLON, B. S. **Maintenability, maintenance and reliability for Engineers.** 1ª ed. New York: CRC Press, 2006.

FERREIRA, A. B. D. H. **Novo dicionário de língua portuguesa.** 3ª. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997.

FILHO, G. B. **A Organização, o Planejamento e o Controle da Manutenção.** 1ª. ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.

FOGLIATTO, F. S. RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial.** Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2011.

FREITAS, M.A.; COLOSIMO, E. **Confiabilidade: Análise de Tempos de falha e testes de Vida Acelerados.** 1ª ed. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1997. 326 p. (Série Ferramentas da Qualidade).

GARZA, Luiz. **A Case Study of the Application os Reliability Centered Maintenance (RCM) in the Acquisition of the Advanced Amphibious Assault Vehicle (AAAV).** 2002. 85 f. Thesys (Master) – Naval Postgraduate School, United States Navy. Calidornia, 2002.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de pesquisa.** Plageder, 2009.

GUZZON, S.O. **Proposta de Análise quantitativa de confiabilidade a partir de dados qualitativos provenientes da FMEA.** Porto Alegre, 2009.

KARDEC, A.; NASFIC, J. **Manutenção: função estratégica**. 4ª. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2012.

KING, R. W.; MAGID, J. **Industrial hazard and safety handbook**. London. UK: Newnes-Butterworths, 1979.

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

LEVERETTE, J. C. An Introduction to the US Naval Air System Command RCM Process and Integrated Reliability Centered Maintenance Software. In: RCM 2006 – The Reliability Centred Maintenance Managers’ Forum. 2006. **Anais...: p.22-29**.

MARÇAL, Rui F. M. **Um método para detectar falhas incipientes em Máquinas Rotativas baseado em Análise de Vibrações e Lógica Fuzzy**. 2000. 124 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, de Minas e dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.

MOBLEY, K.; HIGGINS, L. R.; WIKOFF, **Maintenance Engineering Handbook**. 7ª ed. New York: McGraw-Hill, 2008.

MOBLEY, R. K. **Root Cause Failure Analysis**. 1ª. ed. Boston: Butterworth-Heinemann, 1999.

MOUBRAY, J. **RCM 2 - Manutenção Centrada em Confiabilidade**. Brasileira. ed. São Paulo: Aladon Ltd, 2000.

OHNO, T. **Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997.

PAPIC, Ljubisa; ARONOV, Joseph & PANTELIC, Milorad. Safety Based Maintenance Concept. **International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering**, New Jersey (USA), v. 16, n. 6, p. 533–549, dez. 2009.

PINTO, A. K., XAVIER, J. N. **Manutenção: função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

RAPOSO, José L. O. **Manutenção Centrada em Confiabilidade aplicada a Sistemas Elétricos: uma proposta para uso de análise de risco no iagrama de decisão**. 2004. 149 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2004.

RICHTER, E. *Análise de confiabilidade no desenvolvimento de tratores agrícolas*. 2006. 75 f. Dissertação(Mestrado) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul. 2006.

ROSA, R. N. D. Aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade em um Processo da Indústria Automobilística. **VI Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção**, Ponta Grossa, 02 Dezembro 2016. 1-10

SHARMA, A.; YADAVA, G. S.; DESHMUKH, S. G. A literature review and future perspectives on maintenance optimization. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 7, n. 1, p. 5-25, jan-abr 2011.

SIQUEIRA, Y. P. D. S. **Manutenção centrada na confiabilidade: Manual de implantação**. 1ª (Reimpressão). ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

SLACK, N; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2002.

SMITH, A. M.; HINCHCLIFFE, G. R. **RCM: gateway to world class maintenance**. 2ª. ed. Burlington: Elsevier Butterworth-Heinemann, v. 1, 2004.

STAMATIS, D. **Failure Mode and Effect Anlyses: FMEA from theory to execution**. 2ª ed., Milwaukee, ASQP, 2003.

STEVENSON, W.J. **Administração das Operações de Produção**. 6ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção: estratégias, métodos e técnicas para a condução de pesquisas quantitativas**. 2012. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2012.

WANG, Cheng-Hua & Hwang, Sheue-Ling. **A stochastic maintenance management model with recovery factor**. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v. 10, n. 2, p. 154-164, Bingley (UK), abr-jun. 2004.

WERKEMA, M. C. C. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni, 1995.

WIREMAN, Terry. **Developing Performance Indicators for Managing Maintenance**. New York: Industrial Press, Inc., 1998. 256p.