

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ALINE DOS SANTOS REIS  
CAROLINE PEREIRA GONÇALVES  
PAULO MENDES DAMIANI BARTOLINI  
PEDRO HENRIQUE DE ALMEIDA GOMES**

**MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE APLICADA EM  
UM CONVERSOR A OXIGÊNIO**

**VOLTA REDONDA  
2019**

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE APLICADA EM  
UM CONVERSOR A OXIGÊNIO**

Monografia apresentada como exigência para a obtenção do grau de Bacharelado em Engenharia Mecânica do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA.

Alunos:

Aline dos Santos Reis

Caroline Pereira Gonçalves

Paulo Mendes Damiani Bartolini

Pedro Henrique de Almeida Gomes

Orientador:

Prof. Dr. Alexandre Fernandes Habibe.

**VOLTA REDONDA**

**2019**

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

Alunos:

Aline dos Santos Reis

Caroline Pereira Gonçalves

Paulo Mendes Damiani Bartolini

Pedro Henrique de Almeida Gomes

## **MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE APLICADA EM UM CONVERSOR A OXIGÊNIO**

Orientador:

Prof. Prof. Dr. Alexandre Fernandes Habibe.

Orientador

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Alexandre Alvarenga Palmeira.

Membro

---

Prof. Antônio de Padua Sobreira Leal

---

Prof. Dr. Alexandre Fernandes Habibe.

Este trabalho é dedicado primeiramente a Deus, que nos criou e nos sustenta. A todos que de maneira direta ou indireta nos apoiaram e acreditaram em nossa capacidade.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a Deus por nos dar saúde e nos permitir alcançar mais esse objetivo em nossas vidas.

Agradecemos também aos nossos familiares, pela compreensão, paciência, apoio e confiança passada nos momentos difíceis.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da nossa formação, o nosso reconhecimento e agradecimentos.

## RESUMO

Manutenção Centrada em Confiabilidade (RCM – Reliability Centered Maintenance), é definida como um método estruturado que estabelece estratégias e reúne de maneira equilibrada as melhores técnicas de manutenção. Inicialmente empregada na indústria aeronáutica há 25 anos, por meio de análises de políticas de manutenção. Seus primeiros conceitos foram divulgados no início de 1970 e documentados em trabalhos científicos. Este projeto visa à implantação de uma metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) conhecida também como RCM (*Reability Centered Maintenance*), no setor de Siderurgia, especificamente no conversor a oxigênio ou LD, de uma usina integrada de uma grande siderurgia localizada na cidade de Volta Redonda, visto que as principais ações se baseiam na revisão e elaboração de Planos de Manutenção. Contudo, serão apresentadas as técnicas de Gerenciamento de Projetos com base no Guia PMBOK aliados às técnicas de Gestão de Manutenção, abordando todo conteúdo referente à MCC e as fases para implantação dessa metodologia no setor anteriormente mencionado.

**Palavras-chave:** Organização; Estratégia; Redução de Custos; Confiabilidade; Manutenção.

## **ABSTRACT**

Reliability Centered Maintenance (RCM) is defined as a structured method that establishes strategies and brings together the best maintenance techniques in a balanced way. Initially employed in the aeronautics industry since 25 years, through analysis of maintenance policies. His early concepts were first published in the early 1970s and documented in scientific papers. This project aims at the implementation of a Reliability Centered Maintenance (MCC) methodology known as RCM (Reability Centered Maintenance), in the steel sector, specifically in the oxygen or LD converter, of an integrated steel mill located in the city of Volta Redonda, since the main actions are based on the revision and elaboration of Maintenance Plans. However, the Project Management techniques based on the PMBOK Guide will be presented along with the Maintenance Management techniques, addressing all MCC content and phases for the implementation of this methodology in the aforementioned sector.

**Key words:** Organization; Strategy; Cost Reduction; Reliability; Maintenance.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
1.1. Problema Abordado .....	14
1.2. Justificativa .....	14
1.3. Objetivos .....	15
1.3.1 Geral .....	15
1.3.2. Específico .....	15
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	16
2.1. Siderurgia .....	16
2.2. Breve História do Processo Siderúrgico .....	17
2.3 Processo Siderúrgico .....	21
2.3.1 Usinas integradas .....	21
2.3.2 Aciaria .....	23
2.3.3 Conversores LD .....	24
2.3.4 Ciclo operacional de um Conversor LD .....	25
2.4 Manutenção .....	26
2.4.1 Evolução da manutenção .....	27
2.4.2 Primeira Geração .....	28
2.4.3 Segunda Geração .....	29
2.4.4 Terceira Geração .....	29
2.5 Tipos de Manutenção .....	30
2.6 Tecnologias de Manutenção .....	33
2.7 Problemas de Manutenção .....	33
<b>3 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE - MCC</b> .....	35
3.1. História da MCC .....	36
3.2. Metodologia Aplicada na MCC .....	37
3.2.1 Desempenho e falhas .....	37
3.2.2 Métodos de falhas .....	40
3.2.2.1 Curva de falhas .....	40
3.2.3 Grau de risco .....	42
3.2.3.1. Definição .....	
3.2.3.2. Como calcular? .....	43
3.3 Sequência de Implementação .....	43

3.3.1 Ferramentas de suporte ao MMC.....	46
3.3.2 Análise de modos e efeitos de falhas FMEA .....	46
3.3.3 FMEA E FMECA.....	47
3.3.4 Sequência de trabalho.....	48
3.3.5 Efeitos potenciais de falha.....	51
3.3.5.1 Severidade .....	52
3.3.5.2 Causas e mecanismos potenciais de falhas.....	53
3.3.5.3 Ocorrência .....	53
3.3.5.4 Detecção .....	54
3.3.6 Matriz de riscos .....	55
3.3.7 Diagrama de decisão .....	57
3.3.7.1 Níveis de decisão.....	57
3.3.7.2 Critérios de decisão.....	58
3.3.7.3 Redundância .....	58
3.3.7.4 Diagrama de decisão.....	59
3.4 Gerenciamento do Projeto .....	62
3.4.1 Ferramentas do Gerenciamento de Projeto.....	63
3.4.1.1 PM CANVAS .....	63
3.4.1.2 PM CANVAS X Plano de Projeto.....	64
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>66</b>
4.1 Etapa 1 – Seleção dos Sistemas e Coleta de Informações .....	66
4.2 Etapa 2 – Análise dos Modos de Falha e Efeito .....	67
4.3 Etapa 3 – Identificação das Consequências das Falhas.....	67
4.4 Etapa 4 – Seleção de Tarefas Aplicáveis e Efetivas.....	68
4.5 Etapa 5 – Definição da Periodicidade das Tarefas .....	68
4.6 Etapa 6 – Comparação Entre o Método Atual e o Proposto .....	68
<b>5 ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>70</b>
5.1 Seleção dos Sistemas e Coleta Informações .....	70
5.1.1 Seleção da área para realização do MCC .....	70
5.1.2 Seleção do equipamento.....	71
5.1.3 Dados coletados .....	71
5.2 Análise de Falhas e Efeitos .....	71
5.3 Identificação das Consequências das Falhas.....	74
5.4 Definições da Periodicidade das Tarefas.....	75

5.5	Comparação Entre o Plano Existente Com o Proposto Através do MCC 76	
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>78</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>79</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01: Fornos antigos usados na extração de ferro.....	17
FIGURA 02 : Forno de Soleira. ....	18
FIGURA 03 : Forno de redução da idade média: forja Corsa (a),forja Catalã (b), forno Osmund (C) e forno Stückoven (d). ....	19
FIGURA 04: Representação esquemática do alto forno de Brescia .....	20
FIGURA 05: Ranking mundial de produção de aço, com base nos dados de 2017 .....	21
FIGURA 06: Fluxograma do processo siderúrgico .....	22
FIGURA 07: Ilustração de um Conversor LD .....	24
FIGURA 08: Evolução do custo de produção de oxigênio e de sua utilização na siderurgia .....	25
FIGURA 09: Etapas de basculamento do conversor LD .....	26
FIGURA 10: Diagrama de seleção dos tipos de manutenção aplicados .....	32
FIGURA 11: Mudança de Paradigma da Manutenção. ....	32
FIGURA 12: Confiabilidade x Custo .....	38
FIGURA 13: Tipos de falhas .....	38
FIGURA 14: Classificação das Falhas, segundo o MMC .....	40
FIGURA 15: Tipos de curvas de falha.....	41
FIGURA 16: Equipe multidisciplinar para RCM .....	43
FIGURA 17: Exemplificação de um formulário de FMEA. ....	56
FIGURA 18: Exemplificação de uma matriz Semi – quantitativa de risco .....	57
FIGURA 19: Diagrama de tomada de decisão MCC .....	60
FIGURA 20: Diagramação visual do PM CANVAS .....	64
FIGURA 21: Conversor características .....	66
FIGURA 22: Estrutura organizacional da manutenção da aciaria .....	71

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 01: Evolução da Manutenção .....	28
QUADRO 02 : Classificação dos modos de falhas, segundo RCM.....	39
QUADRO 03 : Diagrama global da aplicação da RCM.. .....	45
QUADRO 04 : Etapas do processo da RCM .....	46
QUADRO 05 : Exemplo recomendações baseadas em experiências de empresas.....	49
QUADRO 06 : Modelo de planilha de FMEA .....	49
QUADRO 07 : Exemplificação de um formulário de FMEA.....	50
QUADRO 08 : Tabela de efeitos da severidade de acordo com o índice.....	53
QUADRO 09 : Tabela de avaliação de ocorrência .....	54
QUADRO 10 : Classificação de probabilidade .....	55
QUADRO 11 : Classificação de gravidade.....	56
QUADRO 12 : Planilha de decisão do MCC.....	62
QUADRO 13 : Quadro comparativos das atividades.....	69
QUADRO 14 : Funções e falhas. ....	72
QUADRO 15 : Mapa de risco. ....	73
QUADRO 16 : Árvore de decisão.....	74
QUADRO 17 : Plano de manutenção elaborado.....	76
QUADRO 18 : Comparação entre os planos de manutenção. ....	77



## LISTA DE SIGLAS

MCC - Manutenção Centrada em Confiabilidade  
RCM – *Reliability Centered Maintenance*  
PMBOK - *Project Management Body of Knowledge*  
IEC – *International Eletroctechical Comission*  
ISO - *International Organization for Standardization*  
SAE - *Society of Automotive Engineer*  
FMEA - *Failure Mode and Effect Analysis*  
PM Canvas – *Project Model Canvas*  
LD - Linz-Durrer  
LZC – Linha de Zincagem Continua  
CO – Monóxido de Carbono  
EBC - Empresa Brasil de Comunicação  
GAF – Gás de Alto Forno  
FEA - Forno Elétrico a Arco  
CO2 – Dióxido de Carbono  
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas  
NBR - Norma Brasileira  
FTA - *Failure Tree Analysis*  
PRA - *Probabilistic Risk Assessment*  
NR – Norma Regulamentadora  
CLT - Consolidação das Leis do Trabalho  
CNAE - Classificação Nacional de Atividades Econômicas  
CNPJ - Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica  
CA - *Critically Analysis*  
NPR - Número de Prioridade de Risco  
PAP – Painel de Acionamento e Proteção

## 1 INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento tecnológico, a busca incansável por métodos de produção responsáveis que garantam o bem estar dos operadores e meio ambiente, vem sendo um grande desafio. Porém, como manter um equipamento com alta disponibilidade e confiabilidade, com baixos custos sem deixar de fora fatores como, segurança e meio ambientes?

Com o intuito de esclarecer essa pergunta, o presente trabalho apresenta um modelo de implementação de metodologia MCC em um conversor a oxigênio de uma siderurgia. O MCC consistente com padrões internacionais vigentes da IEC, ISO e SAE e com os requisitos documentais e organizacionais das normas ISO 9000.

Embora muitos exemplos sejam oriundos das indústrias mecânicas, elétrica, química e civil, esse trabalho é independente de tecnologia e visa mostrar os benefícios acerca da utilização em qualquer empreendimento industrial.

Dentre as tecnologias contemporâneas de manutenção, a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), tem expandido sua aplicação em diversos ramos de atividades humanas, onde houver a necessidade de manter o funcionamento de ativos físicos ou processos. Originária na indústria aeronáutica americana e adotada pelas indústrias nuclear e elétrica mundiais, atualmente é aplicada em muitos outros setores modernos da economia, inclusive o terciário e de serviço (Siqueira, 2005).

Visando seu benefício, utilizou-se a MCC, ferramenta de análise de falhas e efeitos (FMEA) e o Programa de Gerenciamento de Projetos (PM *Canvas*) para desenvolver um plano de manutenção para um conversor a oxigênio.

O processo LD, é um equipamento essencial na produção de aço, segundo Mourão, Yokoji e Malynowskyj (2007); até 2005, o processo LD era responsável por cerca de 77% da produção de aço brasileira. O crescimento desse processo na produção deve-se as suas principais características que são: alta produtividade, custos adequados e grande flexibilidade metalúrgica.

Este equipamento possui um plano de manutenção criado e aperfeiçoado de acordo com as necessidades e disponibilidades da equipe de manutenção. Apesar disso, necessita de tarefas de manutenção corretivas frequentes, sendo que algumas delas causam paradas de processo, interrompendo assim a produção.

## **1.1 Problema Abordado**

A proposta de se implantar a metodologia MCC na Aciaria vem de encontro com a necessidade de conhecer melhor o sistema para melhor investir em sua manutenção, haja vista o alto custo dos materiais e equipamentos da área, tendo em vista os seguintes problemas detectados:

1. Alto índice de perda de Produção;
2. Restrições para Produção;
3. Queda na qualidade dos produtos;
4. Alto Custo de Manutenção;
5. Equipamentos com estreito espaçamento entre falhas;
6. Equipamentos com tempo de reparo alto;
7. Plano de manutenção ineficaz;
8. Entre outros.

## **1.2 Justificativa**

O presente estudo se justifica tendo em vista que o conversor a oxigênio apresenta um histórico de falhas, onde possui informações importantes, a sua manutenção a partir de um determinado período de tempo.

Com base nessas informações, observamos que quando ocorre uma falha, há um deslocamento de 80 % da equipe de manutenção para solução do problema, devido à importância do equipamento no processo de fabricação do aço. A indisponibilidade do equipamento ocorre em geral por falhas.

Algumas dessas indisponibilidades do equipamento poderiam ser evitadas, se tivesse disponível um plano de manutenção adequado sendo seguido corretamente. Essas paradas de equipamento elevam o custo de trabalho julgando que na maioria das vezes necessita de um deslocamento de grande parte da equipe, além de custos com horas extras, adicionais noturnos, dentre outros.

## **1.3 Objetivos**

### 1.3.1 Geral

O objetivo geral é expor um plano prático para aplicação das técnicas de Manutenção Centrada em Confiabilidade, MCC em uma aciaria de usina siderúrgica nacional de grande porte, instalada na cidade de Volta Redonda, com capacidade de produção aproximada de 12,8 mil toneladas de ferro-gusa por dia.

As técnicas de MCC serão apresentadas ajustadas às realidades da vida prática dessa empresa siderúrgica, demonstrando todas as etapas percorridas, desde a avaliação de criticidade de equipamentos e sistemas, até as melhorias sugeridas e resultados obtidos com a aplicação desta nova formatação de gestão da função.

A MCC, é um processo que estuda um equipamento ou um conjunto em detalhes, analisa suas falhas e define a melhor maneira de se realizar manutenção, de modo a prevenir falhas ou minimizar as perdas por conta das mesmas (Kardec; Nascif, 2010).

### 1.3.2 Específicos

E como objetivo específico pretende-se:

- Implementar a metodologia de Manutenção Centrada de Confiabilidade (MMC) em busca da diminuição de falhas em um equipamento industrial para que fique em condições operacionais reais;
- Realizar um estudo de caso na aciaria de uma empresa siderúrgica utilizando de ferramentas como a ferramenta Análise dos Modos de resultados Falhas e Efeitos (FMEA) e PM CANVAS;
- Implementar a metodologia de Manutenção Centrada de Confiabilidade (MCC) visando a diminuição de falhas de um conversor a oxigênio, do processo LD em condições operacionais de três conversores de 2100 corridas por mês, e atualmente faz 1700 corridas por mês, ou seja, sua capacidade está reduzida em aproximadamente 20%.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## 2.1 Siderurgia

De acordo com Araújo (2007) a siderurgia é o ramo da economia que é utilizado como padrão para se mensurar o desenvolvimento das nações; sendo assim, aquelas que produzem ou comercializam produtos e seus insumos são considerados fortes. Pode-se afirmar que a siderurgia é a metalurgia do ferro e suas ligas, já a metalurgia é a ciência e a tecnologia de extração dos metais, partindo de seus minérios, transformando-os e utilizando-os industrialmente.

Siderurgia é uma das subdivisões da metalurgia e visa a extração do ferro e suas ligas dos minérios e posteriormente realizar a elaboração e a conformação com o objetivo de produzir bens conforme a necessidade humana. Esses bens produzidos são essenciais para o mundo, devido às propriedades versáteis, baixo preço, política administrativa, agregação de valor ao minério, e domínio da tecnologia siderúrgica (Machado, 2003).

O mercado possui um grande número de produtos siderúrgicos, os quais no passado eram aplicados somente na área industrial, civil, automobilística, naval, dentre outros. Existem diversos tipos de usinas siderúrgicas, cada uma é consequência do cliente, e das características de seu produto. Mourão (2007) afirma que a usina siderúrgica pode ser dividida em usinas integradas e usinas semi-integradas, já Machado (2003) coloca que a usinas siderúrgicas podem ser integradas, semi-integradas e não-integradas. Existe um consenso entre os autores quanto às usinas integradas e semi-integradas.

A usina integrada lida com ferro a partir dos primórdios ocorrendo a redução dos minérios, até gusa ou ferro esponja. Machado (2003) afirma que a usina não-integrada trabalha com redução dos minérios até a produção do ferro gusa/esponja, onde o mesmo será comercializado para usinas semi-integradas.

## 2.2 Breve histórico do Processo Siderúrgico

Mourão, Yokoji e Malynowskyj (2007), apresentam um relato sobre o histórico dos processos de obtenção de ferro e aço, que é apresentado de forma resumida a seguir.

Com seu surgimento há cerca de 6 mil anos no Oriente Próximo, a metalurgia consiste num conjunto de tratamentos físicos e químicos a que são submetidos os minerais para extração dos metais. Oficialmente, a utilização do ferro iniciou-se em 1000 a.C. Nos 3000 anos oficiais de utilização, o processo de siderurgia de transformação do minério de ferro em aço, evoluiu muito, mas sua essência ainda é a mesma: utiliza-se uma fonte de carbono reagindo com um sopro de ar para extração do ferro a partir do minério. Este ferro obtido é trabalhado térmica e mecanicamente para obter-se o produto final.

A figura 1 apresenta um dos mais antigos fornos usados na redução do minério de ferro. Este consistia de um poço revestido com pedras e provido de tubos, para a injeção de ar no material, constituída de minério de ferro e carvão vegetal. Como não era possível atingir a temperatura de fusão do ferro, ao final do processo, obtinha-se uma massa de ferro sólido, com baixo teor de carbono. Este material passava por um processo de reaquecimento para expulsão da escoria e obtenção do produto final.

Estes fornos apresentavam grande consumo de carvão, cerca de 75kg de carvão por kg de ferro, isto é, comparado aos dias atuais, os fornos antigos consumiam uma média 150 vezes a mais de carvão por kg de ferro, nos dias atuais esse consumo é de 0,5 kg de carvão por kg de ferro produzido.

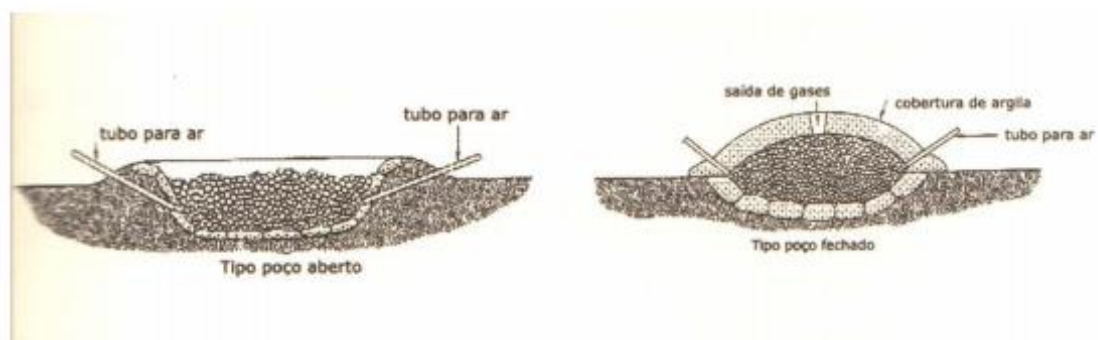


Figura 1 – Fornos antigos usados na extração de ferro.

Fonte: Mourão, Yokoji e Malynowskyj (2007),

Com o passar dos anos, os fornos de redução foram evoluindo para um forno tipo soleira, Figura 2. Nestes fornos, a temperatura era maior, possibilitando atingir a temperatura de fusão da escória, que era vazada com frequência, obtendo-se um

produto mais limpo. A fabricação de aço por têmpera de ferro, com teor de carbono superior a 0,3%, passa a ser regular a partir do século VI a.C.

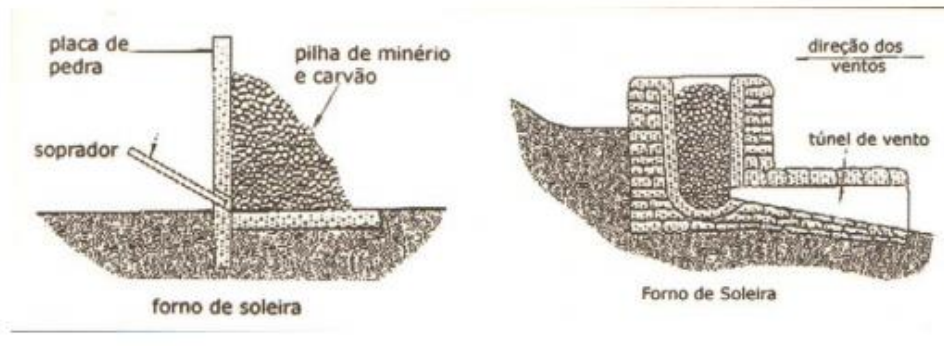


Figura 2 – Forno de Soleira.

Fonte: Mourão, Yokoji e Malynowskyj (2007),

A partir do século X, novas tecnologias na produção de ferro surgiram, a principal foi a utilização dos foles acionados por rodas de água, com isso maiores temperaturas eram atingidas.

Na Figura 3, são apresentados diferentes tipos de fornos surgidos na idade média, como a forja Corsa (a), forja Catalã (b), forno Osmund (C) e forno *Stückofen* (d). Nestes tipos de fornos, o consumo específico de carvão diminuiu para 22,8 kg C/ kg Fe no forno tipo Corsa, 11,5 kg C/kg Fe na Catalã e 6 kg C/kg Fe no *Stückofen*. Neste último era possível a obtenção de ferro líquido com alto carbono, em torno de 4%.

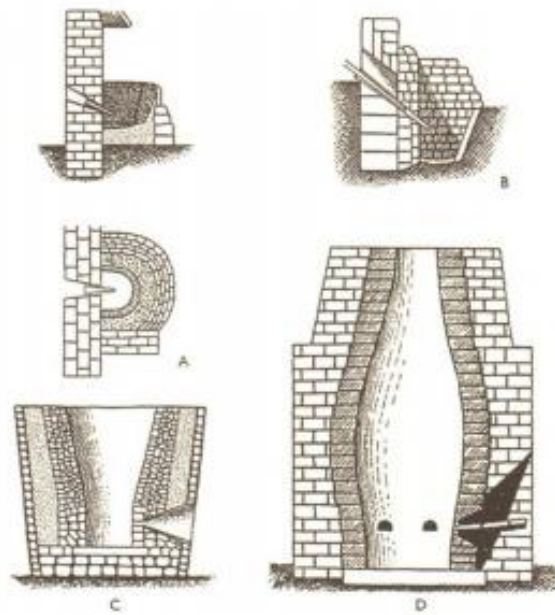


Figura 3 – Fornos de redução da idade média : forja Corsa (a),forja Catalã (b), forno Osmund (C) e forno *Stückofen* (d).  
 Fonte: Mourão, Yokoji e Malynowskyj (2007).

Em 1450 na Brescia, surgia o primeiro alto forno europeu, Figura 4. No fim da idade média, o comércio de ferro e aço estava plenamente difundido, e novas tecnologias coexistiam, tanto para extração do ferro, até a obtenção do aço.

O fim do século XVIII, foi fundamental na difusão do aço como material superior ao ferro forjado. Durante o mesmo, os equipamentos de sopro evoluíram, os tubos de madeira deram lugar aos de ferro e em 1769 as rodas d'águas foram substituídas por motores a vapor.

Com estas inovações, os fornos passaram a produzir de 3 a 5 toneladas/ dia, ao fim do século. O primeiro uso de máquinas a vapor para sopro de ar para produção de ferro deu-se em 1776, com a produção dos primeiros cilindros de ferro fundido com precisão suficiente para impedir vazamentos de vapor.

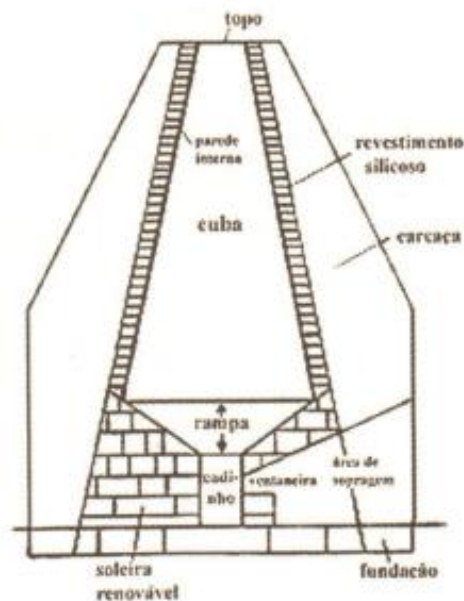


Figura 4 – Representação esquemática do alto forno de Brescia  
 Fonte: Mourão, Yokoji e Malynowskyj (2007).

Com a evolução dos tempos, o consumo de aço aumentou e teve sua produção aprimorada através de fatos tais como a combustão do carbono com ar; desenvolvimento de conversores, desenvolvimento do forno regenerativo de soleira aberta, criado por Siemens-Martin no final do século XIX; sinterização ou pelotização do minério e, por fim, a injeção de combustíveis pelas ventaneiras dos altos-fornos. Hoje em dia, são feitas também injeções de carvão pulverizado e de gás natural.

Em 1970 no Japão, foi descoberto a chamada zona coesiva dos altos fornos, uma região com material semifundido, através de onde os gases fluem apenas por “aberturas” de coque, o que mudou radicalmente a maneira de se pensar sobre o fluxo de materiais no alto forno.

De acordo com a reportagem da EBC (2019), atualmente, a China ocupa o primeiro lugar mundial no *ranking* mundial dos produtores de aço.

Em 2017, produziu 929,26 milhões de toneladas, o que representa uma expansão de 6,6% comparado ao ano anterior. Os Estados Unidos ocupam o segundo colocado no *ranking*, com 168 milhões de toneladas, menos 0,3% que em 2017.

O Brasil, de não estar na relação dos cinco maiores produtores globais, ocupando apenas a 9ª posição do *ranking* mundial (gráfico 1), produziu em 2018, cerca de 34,735 milhões de toneladas produzidas de aço, é líder na América Latina.

Na segunda colocação, aparece o México, com 20,20 milhões de toneladas de aço produzidas em 2018.

A figura 5 demonstra a produção de aço bruto no mundo

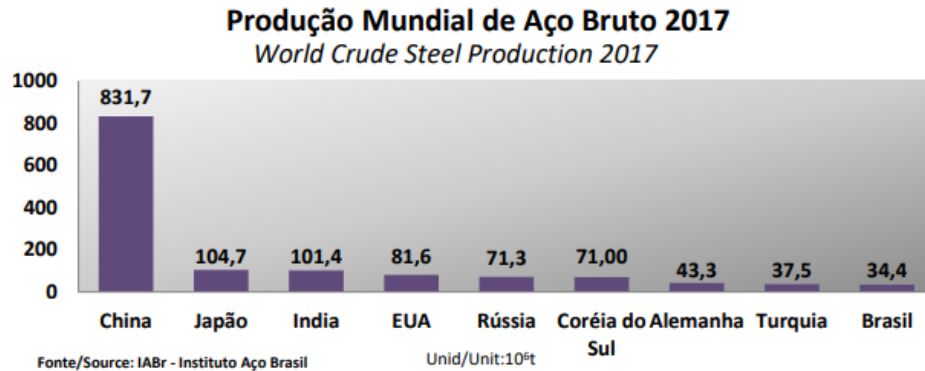


Figura 5 – *Ranking* mundial de produção de aço, com base nos dados de 2017.

Fonte: Anuário estatístico do setor metalúrgico do Ministério de Minas e Energia de 2018,

De acordo com o anuário estatístico do setor metalúrgico do Ministério de Minas e Energia de 2018,

[...] “o saldo comercial brasileiro do setor siderúrgico, em 2017, apresentou superávit de US\$ 5,8 bilhões, com exportações totalizando cerca de US\$ 8 bilhões e importações US\$ 2,2 bilhão.

Os Estados Unidos permanecem como principal destinatário dessas exportações 1,271 bilhão com participação de 47,2%. As vendas internas de produtos siderúrgicos totalizaram 18,9 milhões de toneladas, em 2017, cujos maiores consumidores são o setor da construção civil e as indústrias de autopeças e automobilística. Deve ser também mencionado que o aço é 100% reciclável e desempenha papel chave no modelo circular de negócio no qual todos os produtos devem ser projetados e fabricados de modo que possam ser reparados, reconicionados, reutilizados e reciclados.” Ministério de Minas e Energia (2019).

## 2.3 Processo Siderúrgico

### 2.3.1 Usinas integradas

Mourão, Yokoji e Malynowskyj (2007), apresentam o processo siderúrgico integrado como sendo aquela onde o aço é obtido através da matéria prima, ou seja, o minério de ferro é transformado em ferro na própria usina, nos altos fornos.

Os altos fornos produzem o chamado ferro gusa, que é transformado em aço através da operação de conversão, na Figura 6 é apresentado um fluxograma simplificado do processo siderúrgico.

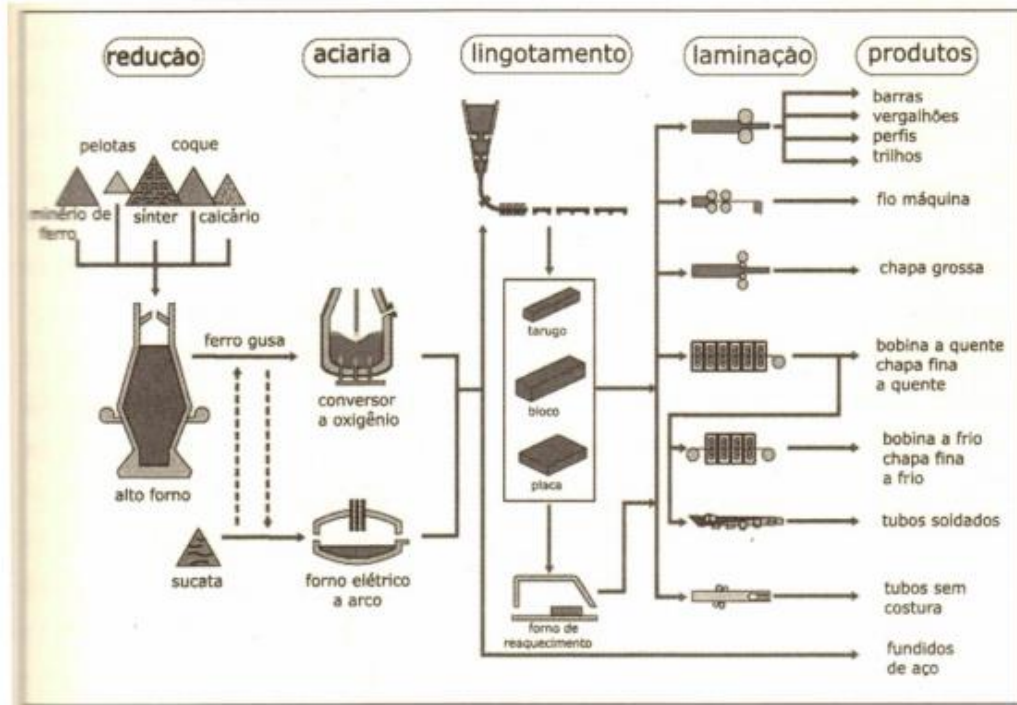


Figura 6 – Fluxograma do processo siderúrgico.

Fonte: Mourão, Yokoji e Malynowskyj (2007),

Em uma moderna usina integrada, o processo é constituído das seguintes etapas principais: extração e beneficiamento do minério de ferro, fabricação do ferro gusa no alto forno, produto intermediário, em aço; lingotamento do aço líquido e por último a conformação do metal na forma de produto.

Nas usinas integradas, o minério de ferro é reduzido a ferro metálico nos altos fornos. Este consiste de forma resumida, em um equipamento que recebe o sinter de minério de ferro, coque e ar aquecido, produzindo o ferro gusa, escória e o GAF, gás que sai pelo topo do alto forno, que após retirar as partículas de material, é injetado nos regeneradores, como combustível para aquecer o ar que é injetado no alto forno.

### 2.3.2 Aciaria

É um setor da siderúrgica responsável pelos processos de transformações dos materiais ferrosos, minério de ferro, ferro gusa e ferro esponja em diferentes tipos de aço líquido. Nessa área, utiliza-se muito o Conversor LD ou o Forno Elétrico a Arco (FEA) (Machado, 2003).

De acordo com Mourão (2007) o processo de transformação do aço ocorre por meio de um conversor em seus primórdios, chamado também de processo Bessemer, criado em 1856, por Henry Bessemer, engenheiro civil, que tinha como meta transformar o ferro gusa em aço utilizando o oxigênio do ar.

Machado (2003) afirma que por meio da aplicação do ar através do gusa líquido permitia-se oxidar o silício (Si), manganês (Mn) e o carbono (C), em seguida obter a energia suficiente para aumentar a temperatura para 1600°C e, em consequência, conseguir o aço líquido. Este processo contribui para a fabricação de duas toneladas de aço utilizando-se de mão-de-obra moderada e em um tempo aproximado de 15 minutos, tornando muito vantajoso.

O processo Linz-Durrer ou conversor a oxigênio, chamado de Conversor LD, surgiu em 1952, tal processo possibilitou a fabricação do aço com uma alta produtividade, se comparado com outros processos e com um investimento de capital inferior (Machado 2003).

O FEA é outro equipamento muito utilizado na Aciaria, segundo Mourão (1991), iniciou na década de 40 e em um pequeno espaço de tempo se tornou uma unidade rápida, econômica e de fusão em larga escala.

O mesmo autor afirma ainda que o FEA proporciona muitas vantagens na produção do aço tais como: menos emissão de CO<sub>2</sub>, maior aproveitamento de sucatas e produção do aço de forma.

O aço líquido, ao sair do conversor LD ou do FEA, é direcionado para um forno panela, onde posteriormente aplica-se um refino secundário para o aço chegar às características necessárias, em seguida é enviado para o lingotamento.

Nos dias atuais, nas aciarias se encontram os processos mais flexíveis na arte de conseguir aços com qualidades competitivas com aqueles fabricados por aciarias de pequeno porte, que utilizam sucatas e fornos elétricos a arco. Para que isso fosse possível, as aciarias foram sendo aprimoradas com tecnologia metalúrgica de panela.

### 2.3.3 Conversores LD

Segundo Mourão, Yokoji e Malynowsky (2007), até o ano de 2005, o conversor LD foi responsável por 77% da produção brasileira. A rápida evolução crescente desse processo de produção deve-se as suas características de alta produtividade, custos adequados e grande flexibilidade metalúrgica. No conversor é realizado o refino do ferro gusa, Figura 7. É no refino onde ocorrem reações de oxidação das impurezas, que são fixadas em materiais imiscíveis ao metal líquido, podendo assim, serem removidas, essas impurezas são conhecidas como escórias.

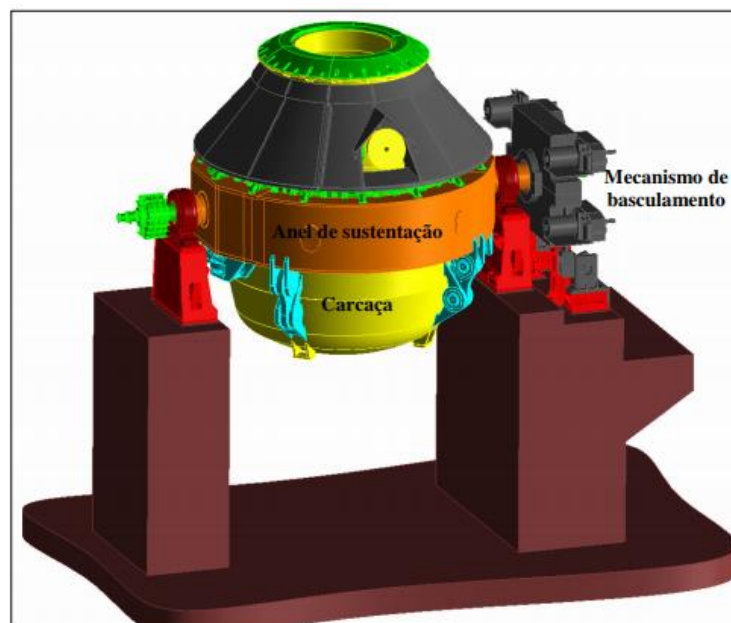


Figura 7 – Ilustração de um Conversor LD  
Fonte: ROMÃO, (2002).

Com a aplicação de sopro correta, quase todas as reações de refino podem ser adquiridas, com isso, o processo ganha grande versatilidade metalúrgica. Essas duas características, juntamente com condições favoráveis de custos, tanto de investimento quanto operacional, foram responsáveis pela rápida evolução da participação do processo LD, na produção mundial.

As principais matérias primas utilizadas na fabricação de aço pelo processo LD são o gusa na fase líquida e sólida, ferro fundido e sucatas de aço, minério de ferro, cal, fluorita e oxigênio. Outros fundentes também podem ser usados assim como calcário também.

A proporção de gusa líquido na carga do conversor vai variar de acordo com sua temperatura e composição, qualidade do aço a ser fabricado, etc. normalmente varia entre 70% a 85%. Já o consumo de oxigênio varia com o tipo de equipamento, possuindo um consumo médio de  $50\text{Nm}^3/\text{t}$  de aço, a Figura 8, apresenta a evolução do custo de produção de oxigênio e de sua utilização na siderurgia (Mourão; Yokoji; Malynowsky, 2007).

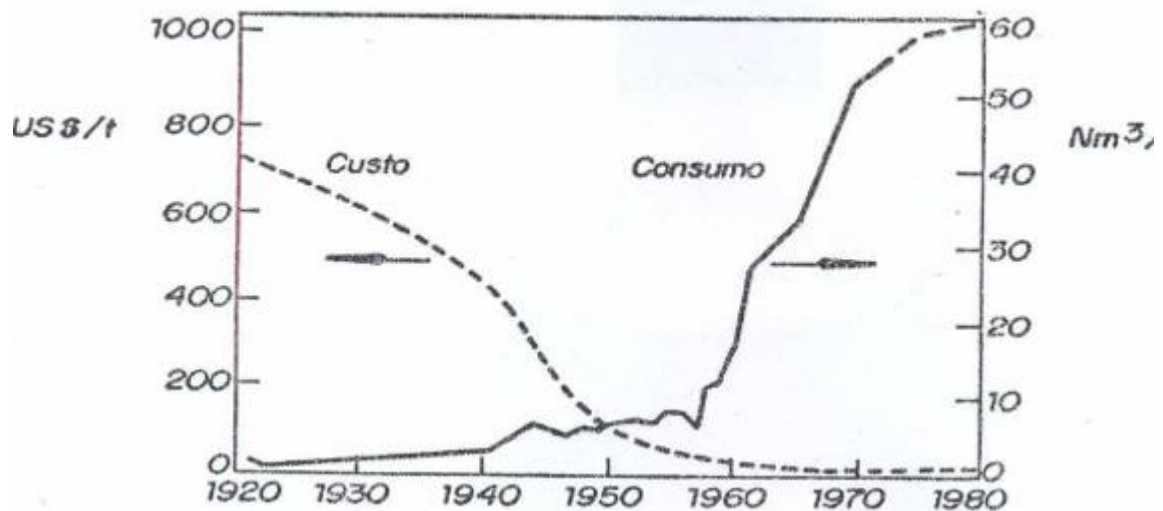


Figura 8 – Evolução do custo de produção de oxigênio e de sua utilização na siderurgia

Fonte: Monteiro (2016).

#### 2.3.4 Ciclo operacional de um conversor LD

O ciclo operacional de refino no LD, envolve 6 etapas: carregamento com carga sólida; Carregamento do gusa líquido; sopro; medição de temperatura e retirada de amostras, vazamento e vazamento de escória

Nas etapas carregamento com carga sólida e carregamento do gusa líquido, o conversor é basculado para uma posição de cerca de  $60^\circ$  com relação a vertical (figura 2.6), após o carregamento, o conversor retorna a sua posição inicial e oscilando em torno dela para assentamento da carga. Feito isso, é novamente inclinado para receber o gusa líquido, Figura 9.

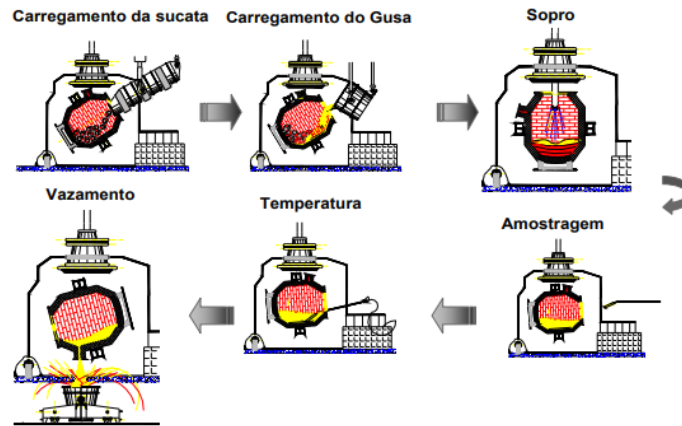


Figura 9 – Etapas de basculamento do convertedor LD  
Fonte: Júnior (2013)

Terminada esta etapa, o conversor é trazido novamente a posição original, a lança de oxigênio é baixada e o sopro iniciado.

O processo LD, consiste em um processo oxidante, para desoxidar o aço, comumente joga-se alumínio, ferro ou silício diretamente no jato de aço através de calhas direcionais. Após o vazamento, o conversor é novamente basculado totalmente para o lado de carregamento e a escória vazadas no pote.

## 2.4 Manutenção

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (1994), define manutenção como sendo a combinação de todas as ações técnicas e administrativas incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida. Ainda segundo (ABNT – NBR 5462 1994), a filosofia da manutenção, consiste num conjunto de princípios para a organização e execução da manutenção. Seguindo a mesma linha de pensamento, 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.

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), a manutenção começou a ser vista como um item de suma importância nas indústrias com o surgimento da produção em série, quando 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.

Conforme Kardec e Nascif (2010), nos últimos 30 anos, a atividade de manutenção tem passado por mais mudanças do que qualquer outra atividade.

Estas mudanças têm sido consequências do crescente aumento do número e da diversidade dos itens físicos (instalações, equipamentos e edificações) que tem que ser mantidos, projetos muito mais complexos, novas técnicas de manutenção, novos enfoques sobre organização da manutenção e suas responsabilidades e a importância da manutenção como função estratégica para melhoria dos resultados dos negócios e aumento da competitividade das organizações.

Ainda segundo Kardec e Nascif (2010), nas empresas vencedoras, os responsáveis da área de manutenção, tem reagido rápido as estas mudanças; esta nova postura inclui uma progressiva conscientização de quanto uma falha de equipamento afeta a segurança e o meio ambiente, maior conscientização da relação entre manutenção e qualidade do produto, maior pressão para se conseguir alta disponibilidade e confiabilidade da instalação, ao mesmo tempo que se busca a redução de custos. Essas alterações estão exigindo novas atitudes e habilidades das pessoas da manutenção, desde gerentes, passando pelos engenheiros e supervisores, até chegar aos executantes.

#### **2.4.1 Evolução da Manutenção**

Soeiro, Olivio e Lucato (2017), consideram a evolução da manutenção em três gerações, Quadro 1.

EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO								
	Primeira Geração		Segunda Geração		Terceira Geração		Quarta Geração	
Ano	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
Aumento das expectativas em relação à Manutenção	• Conserto após a falha		• Disponibilidade crescente • Maior vida útil do equipamento		• Maior confiabilidade • Maior disponibilidade • Melhor relação custo-benefício • Preservação do meio ambiente		• Maior confiabilidade • Maior disponibilidade • Preservação do meio ambiente • Segurança • Influir nos resultados do negócio • Gerenciar os ativos	
Visão quanto à falha do equipamento	• Todos os equipamentos se desgastam com a idade e, por isso, falham		• Todos os equipamentos se comportam de acordo com a curva da banheira		• Existência de 6 padrões de falhas (Nowlan & Heap e Moubray) Ver Capítulo 5		• Reduzir drasticamente falhas prematuras dos padrões A e F (Nowlan & Heap e Moubray) Ver Capítulo 5	
Mudança nas técnicas de Manutenção	• Habilidades voltadas para o reparo		• Planejamento manual da manutenção • Computadores grandes e lentos • Manutenção Preventiva (por tempo)		• Monitoramento da condição • Manutenção Preditiva • Análise de risco • Computadores pequenos e rápidos • Softwares potentes • Grupos de trabalho multidisciplinares • Projetos voltados para a confiabilidade • Contratação por mão de obra e serviços		• Aumento da Manutenção Preditiva e Monitoramento da Condição • Minimização nas Manutenções Preventiva e Corretiva não Planejada • Análise de Falhas • Técnicas de confiabilidade • Manutenibilidade • Engenharia de Manutenção • Projetos voltados para confiabilidade, manutenibilidade e Custo do Ciclo de Vida. • Contratação por resultados	

## 2.4.2 Primeira geração

Nesta geração ocorrida entre 1940 e 1950, as empresas possuíam relativa estabilidade e previsibilidade dos negócios, em que os ativos financeiros (capital edifícios, máquina, equipamentos, etc.), predominavam como os mais importantes patrimônios empresariais. A concorrência não solicitava a insistente troca de produtos e possuir grandes estoques de produtos acabados não representava um custo elevado para a empresa (Soeiro; Olivio; Lucato, 2017).

Neste contexto, as indústrias eram pouco mecanizadas, com equipamentos de baixa tecnologia, a informação no chão de fábrica era basicamente ditada pelos superiores, os equipamentos eram lentos e superdimensionados, o homem da manutenção “não precisava pensar”. Conseqüentemente, não era necessária uma manutenção sistematizada, era, basicamente, uma manutenção corretiva. A habilidade exigida do mantenedor era apenas executar o serviço desejado (Soeiro; Olivio; Lucato, 2017).

### 2.4.3 Segunda geração

Essa geração ocorre entre os anos 50 e 70, portanto após a Segunda Guerra. As pressões do período da guerra aumentaram a demanda por todo tipo de produtos, ao mesmo tempo em que o contingente de mão de obra industrial diminuiu sensivelmente. Como consequência, naquele período houve forte aumento de mecanização, bem como da complexidade das instalações industriais (Kardec; Nascif, 2010).

Começou-se a evidenciar a necessidade de maior disponibilidade, bem como maior confiabilidade, tudo isso em busca da maior produtividade; a indústria estava bastante dependente do bom funcionamento das máquinas. Isto levou à idéia de que falhas dos equipamentos poderiam e deveriam ser evitadas, surge aí o conceito de manutenção preventiva. Os custos da manutenção também começaram a se elevar muito em comparação com outros custos operacionais. Este fato fez aumentar os sistemas de planejamento de manutenção (Kardec; Nascif, 2010).

### 2.4.4 Terceira geração

A terceira geração teve seu início na década de 1970, quando se acelerou o processo de mudança nas indústrias. Paralisações constantes da produção diminuía o rendimento operacional, aumentavam os custos de produção e afetavam a qualidade dos produtos. Evitar parar a produção, portanto, tornou-se uma preocupação generalizada na indústria. Com a recuperação do sistema japonês de produção, os processos de manufatura começaram a sentir os efeitos dos grandes períodos de paralisações, em que o sistema *Just in Time* fazia frente aos sistemas de produção tradicionais (Soeiro; Olivio; Lucato, 2017).

Segundo Kardec e Nascif (2010), o conceito e a utilização de manutenção preventiva foram reforçados, o avanço da informática permitiu um melhor controle sobre o planejamento da manutenção e iniciou-se o conceito de confiabilidade na engenharia de manutenção. A partir da terceira geração da manutenção, a disponibilidade, a confiabilidade e a manutenibilidade passaram a ser medidas de desempenho da manutenção.

A terceira geração da manutenção ocasionou:

- Reforço do conceito e a utilização da manutenção preditiva.
- O avanço da informática permitiu a utilização de computadores e o desenvolvimento de *softwares* para o planejamento, controle e acompanhamento dos serviços de manutenção.
- Conceito aplicado de confiabilidade começa a ser cada vez mais aplicado pela engenharia de manutenção
- O processo de manutenção centrada em confiabilidade, apoiado nos estudos de confiabilidade da indústria aeronáutica, tem sua implantação na década de 90 no Brasil.

Alguns autores como Kardec, Nascif (2010), consideram a existência de uma quarta geração da manutenção, que segundo eles, algumas expectativas em relação a manutenção existente na terceira geração, continuam na quarta geração.

A disponibilidade, é uma das medidas mais importantes da manutenção, se não a mais importantes. Segundo Kardec e Nascif, a confiabilidade dos equipamentos é um fator de constante busca pela manutenção.

Com o objetivo de interferir cada vez menos na planta, as práticas de manutenção preditiva e monitoramento de condições de equipamento e do processo são cada vez mais utilizadas. Em consequência, há uma tentativa da redução da manutenção preventiva ou programada, uma vez que ela promove a paralisação dos equipamentos e sistemas, impactando negativamente a produção.

As constantes evoluções dos métodos atuais de manutenção tiveram uma abordagem empresarial, razão principal para a obtenção da competitividade, necessária à sobrevivência da empresa. Há um esforço conjunto em todas as áreas coordenadas pela sistemática da Gestão de Ativos.

O engenheiro de manutenção deixou de ser apenas uma pessoa que conserta máquinas para ser um gestor de máquinas milionárias que estão no pátio da empresa, ou seja, sua função passou a ser garantir o programa de produção de acordo com as metas propostas pelos investidores da empresa. (Soeiro; Olivio; Lucato,2017).

## **2.5 Tipos de Manutenção**

A manutenção é qualificada também quanto ao planejamento, que pode ser concretizada de forma planejada, executada sob um tempo e condições pré-

estabelecidas, ou de forma não planejada, em função da necessidade. (Filho, 2008; Siqueira; 2009).

Segundo Viana (2002), muitos autores abordam os vários tipos de manutenção que nada mais são do que os tipos de intervenções nos instrumentos de produção. Nesse aspecto, verificamos que existe um acordo, exceto algumas variações, quanto aos principais tipos de manutenção.

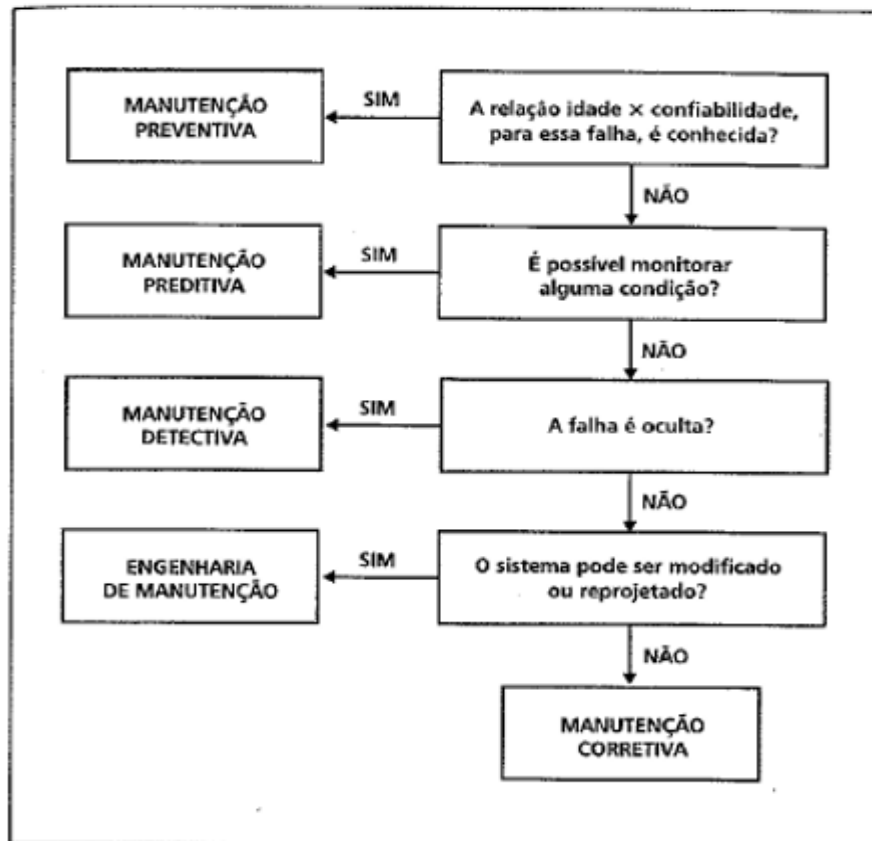
Os tipos de manutenção são também classificados de acordo com a atitude dos usuários em relação às falhas, Figura 10. Seis categorias são normalmente identificadas, sob este aspecto:

- Manutenção Reativa ou Corretiva;
- Manutenção Preventiva;
- Manutenção Preditiva;
- Manutenção Proativa;
- Manutenção Detectiva.

A Manutenção Corretiva ou Reativa destina-se a corrigir falhas que já tenham ocorrido, enquanto a Manutenção Preventiva tem o propósito de prevenir e evitar as consequências das falhas. A Manutenção Preditiva busca a previsão ou antecipação da falha; medindo parâmetros que indiquem a evolução de uma falha a tempo de serem corrigidas. Similarmente, a Manutenção Detectiva procura identificar falhas que já tenham ocorrido, mas que não foram percebidas.

A Manutenção Produtiva objetiva garantir a melhor utilização e maior produtividade dos equipamentos. Finalmente, na Manutenção Proativa, a experiência é utilizada para otimizar o processo e o projeto de novos equipamentos, em uma atitude proativa de melhoria contínua.

Figura 10 – Diagrama de seleção dos tipos de manutenção aplicados  
Fonte: (Kardec; Nascif,2010).



A figura 11, apresenta de maneira sucinta o caminho da otimização dos resultados da manutenção. Apresenta inclusive, o resultado da disponibilidade e como este é melhorado, de acordo com que se evolui as práticas desde a manutenção corretiva para a engenharia de manutenção.

Figura 11 – Mudança de Paradigma da Manutenção.  
Fonte: Kardec e Nascif (2010).



## 2.6 Tecnologias de Manutenção

Complementando estas formas básicas de manutenção, novas técnicas de tratamento de falhas surgiram e foram rapidamente absorvidas pela engenharia de manutenção. Muitas delas são relacionadas ao monitoramento da condição funcional dos equipamentos, sem a necessidade de desmonte ou desativação do item para inspeção (Siqueira, 2005).

No campo metodológico, as pesquisas nas áreas de confiabilidade e manutenibilidade, bem como dos mecanismos e da física de falhas em equipamentos, deram origem às técnicas de Análise de Modos de Falha, Efeitos e Criticidade (FMEA/FMECA), e outras ferramentas tais como as Árvores de Falha (FTA – *Failure Tree Analysis*) e Análise Probabilística de Riscos (PRA – *Probabilistic Risk Assessment*), hoje utilizadas largamente, em especial na indústria bélica americana. A popularização destas técnicas foi facilitada pela disseminação da informática pessoal, possibilitando o desenvolvimento dos sistemas especialistas e de apoio à decisão orientados para manutenção (Siqueira, 2005).

A disponibilidade de métodos analíticos modernos trouxe maior segurança à atividade de manutenção, mas introduziu novos desafios ao profissional desta área. Cabe a ele selecionar a técnica mais apropriada para tratar cada tipo de falha. Além desta missão, a ele compete o atendimento às exigências dos proprietários da instalação, dos cliente e consumidores, e da sociedade em geral, da forma mais econômica, e com o capital humano disponível (Siqueira, 2005).

## **2.7 Problemas de Manutenção**

A missão da manutenção torna-se mais complexa quando confrontada com métodos tradicionais de gestão. À insuficiência de atitudes proativas comuns nesta área, soma-se a execução desnecessária de atividades preventivas ou insuficiência de técnicas preditivas. A ausência de tratamento das causas fundamentais das falhas conduz à frequente repetição dos problemas e de erros humanos, com consequências diretas na produção ou qualidade de produto de um processo (Siqueira, 2005).

A falta de institucionalização das práticas corretas, com justificção insuficiente para as tarefas, resulta em programas de manutenção às vezes desnecessários e não auditáveis, com aceitação cega das recomendações de fornecedores. Neste cenário, é comum encontrar-se variação nas técnicas adotadas entre instalações similares sem qualquer justificativa plausível (Siqueira, 2005).

### **3 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE - MCC**

Em resumo ao que Kardec e Nascif (2010) apresentam, o termo confiabilidade surgiu nas análises de falha dos equipamentos destinados aos militares, durante a década de 50, nos EUA.

A norma brasileira NBR 5464 (1981), define confiabilidade como sendo:

Confiabilidade do inglês *reliability*, é a capacidade de um item desempenhar função requerida sob condições especificadas, durante um intervalo de tempo. O termo confiabilidade, é usado como uma medida de desempenho de confiabilidade.

A confiabilidade de um equipamento ou conjunto, está diretamente relacionada com:

- A saúde e condição do referido item;
- O meio que se insere;
- A atividade fim desempenhada;
- Parte integrante junto ao processo;
- Regime operacional

Já a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), consiste em uma técnica de gerenciamento da manutenção, que é aplicada desde o planejamento e controle até a engenharia de manutenção. Ou seja, é a aplicação de um processo para melhor estratégia de manutenção para um dado sistema. Esta inicia-se identificando o desempenho do equipamento no seu contexto operacional, modos de falhas e suas causas prováveis e a partir daí relata os efeitos e decorrências da falha. Isso permitirá avaliar a criticidade das falhas e onde estão as consequências mais relevantes que afetam a segurança, disponibilidade ou custo do equipamento.

A metodologia da manutenção centrada em confiabilidade, consiste em uma análise que implica em buscar respostas para as oito perguntas sobre os tópicos de revisão, apresentados a seguir.

As perguntas de 1 a 4, são relacionadas às etapas de análise, as de cinco a sete são as etapas de decisão e a oitava corresponde a implementação.

1. Quais as funções e padrões de desempenho a se preservar?
2. De que forma ele falha em cumprir suas funções?
3. O que causa cada falha funcional?
4. O que acontece quando ocorre cada falha?

5. Qual a importância de cada falha?
6. O que pode ser feito para prevenir cada falha?
7. Quais as alternativas restantes?
8. Quais as frequências ideais para as tarefas de manutenção?

Para responder cada uma destas questões, a MCC utiliza métodos e ferramentas com um conjunto de soluções, algumas ferramentas mais tradicionais, outras mais modernas, seguindo uma sequência estruturada e bem documentada.

### **3.1 História da MCC**

A origem da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) está relacionada aos processos tecnológicos e sociais que se desenvolvem após a Segunda Guerra Mundial. No campo tecnológico, foram decisivas as pesquisas iniciadas pela indústria bélica americana, seguidas pela automação industrial em escala mundial, viabilizadas pela evolução da informática e telecomunicações, presentes em todos os aspectos da sociedade (Siqueira, 2005).

No campo social, este movimento resultou na dependência da sociedade contemporânea em relação aos métodos automáticos de produção. Sua dimensão atingiu níveis suficientes para afetar o meio ambiente e a própria segurança física dos seres humanos. Em paralelo, evoluiu a consciência mundial da importância da preservação dos recursos naturais, aliado a uma necessidade ascendente de garantia de segurança física. Na atualidade, exige-se que os processos de projetos e manutenção dos meios de produção não só atendam estes anseios, mas que sejam estruturados de forma transparente e auditável, permitindo à sociedade exercer seu papel de promotora e fiscalizadora (Siqueira, 2005).

### **3.2 Metodologia aplicada na MCC**

O projeto de MCC e a utilização de ferramentas de apoio exigem inicialmente um perfeito entendimento das etapas e uma série de definições associadas a falhas

e desempenho dos itens físicos. Para que isso seja possível, apresentamos a seguir algumas definições essenciais para o desenvolvimento da MCC.

### 3.2.1 Desempenho e falhas

O material apresentado a seguir é baseado na obra de Kardec e Nascif (2010).

Todo equipamento é baseado na função básica que irá exercer. Normalmente o desempenho de um equipamento pode ser classificado como:

- Desempenho Inerente: desempenho que o equipamento é capaz de exercer;
- Desempenho Requerido: desempenho que queremos que o equipamento forneça.

A manutenção pode restaurar o desempenho inerente do equipamento, porém quando este não é o desejado, ou se reduz as expectativas sobre o mesmo ou modificações são realizadas.

Quando o equipamento não apresenta o desempenho previsto, denominamos de falha. A falha pode acarretar:

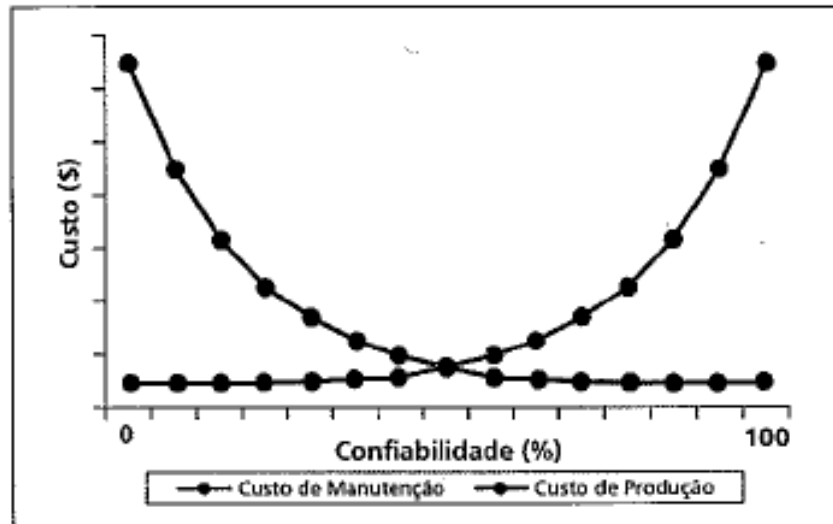
- Interrupção da produção;
- Operação em regime instável;
- Queda da quantidade produzida;
- Diminuição ou perda da qualidade do produto;
- Perda da função de comando ou proteção.

Kardec e Nascif (2010), definem falha como sendo a cessação da função de um item ou incapacidade de satisfazer a um padrão de desempenho previsto.

Quanto maior a ocorrência de falhas menor é a confiabilidade de um item, para as condições estabelecidas a priori. A Figura 12 apresenta a relação entre a confiabilidade e os custos de produção e de manutenção.

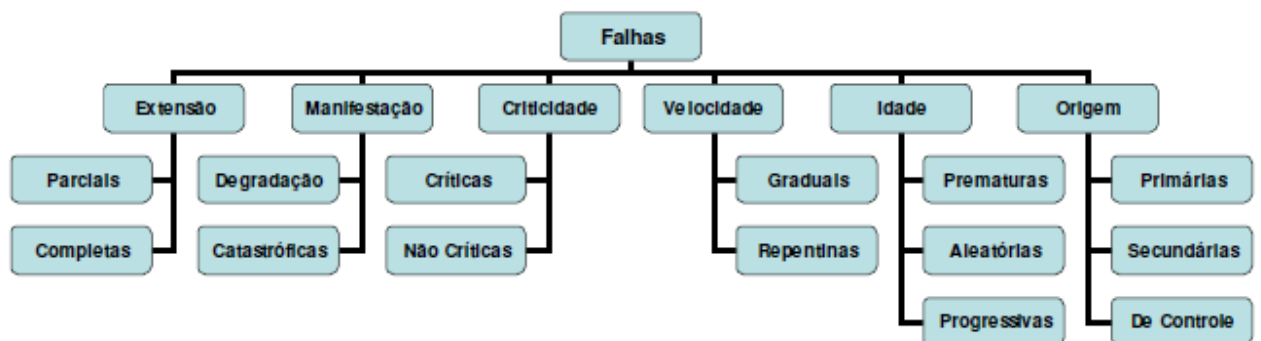
Figura 12 – Confiabilidade x Custo

Fonte: Kardec e Nascif (2010).

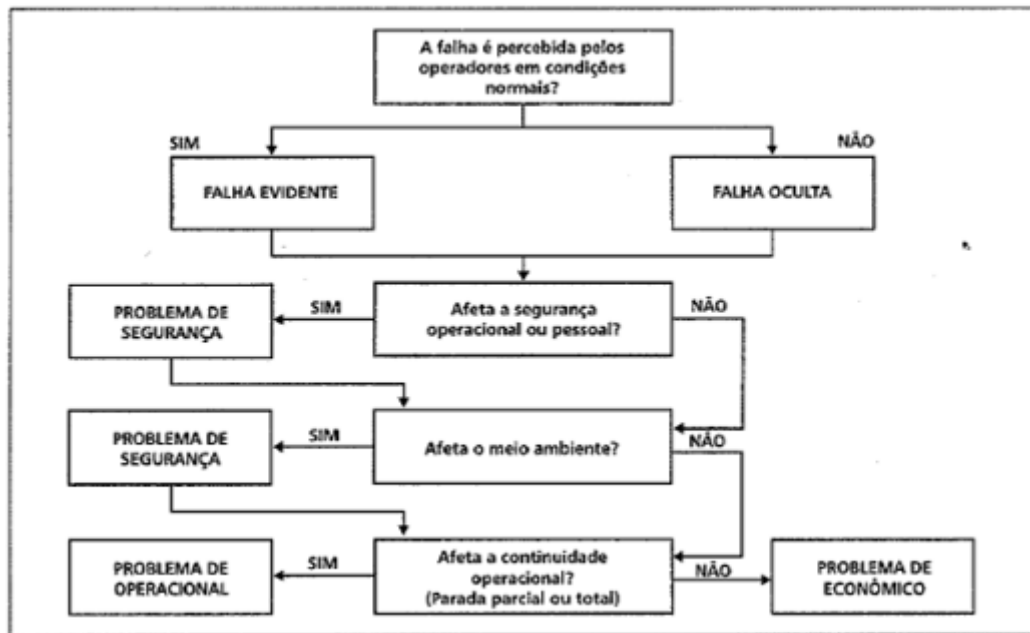


As falhas podem ser classificadas conforme vários aspectos, os tipos de falhas e os modos de falha são apresentados na Figura 13 e Quadro 2, respectivamente.

Figura 13 – Tipos de Falhas  
Fonte: Adaptado de Siqueira (2009).



Quadro 2 – Classificação dos modos de falha, segundo RCM  
 Fonte: Kardec e Nascif (2010).



Para a MCC, as falhas são classificadas de acordo com a Figura 14.

1. **Falha funcional:** caracterizada pela incapacidade de um equipamento ou sistema desempenhar uma função específica dentro dos limites estabelecidos de desempenho. As falhas funcionais se dividem em:
  - **Falha evidente:** detectada pela equipe de manutenção durante o trabalho normal;
  - Falha oculta: não pode ser notada pela equipe de operação durante o trabalho habitual;
  - Falha múltipla: combinação de uma falha oculta mais uma falha secundária, ou evento que a torne evidente;
  - Falha potencial: uma condição e mensurável, que indica falha funcional pendente ou em processo de ocorrência.

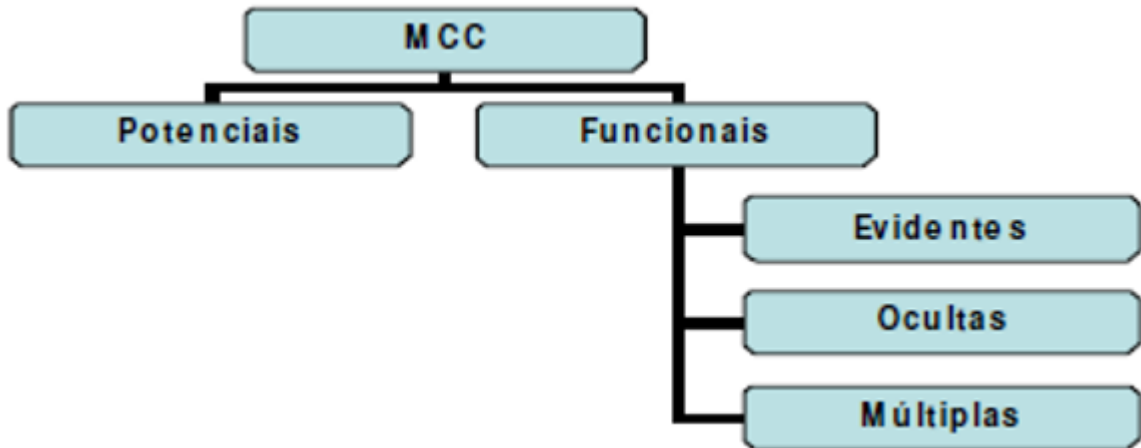


Figura 14 – Classificação das Falhas, segundo a MCC.  
 Fonte: Adaptado de Siqueira (2009).

### 3.2.2 Métodos de falhas

De acordo com Kardec e Nascif (2010), a falha é a interrupção da função requerida do equipamento, a MCC faz uma abordagem inicial do processo de falhas da seguinte maneira:

- Como o equipamento pode falhar.
- O que pode ocasionar a falha.

Feita esta análise, partimos para a identificação dos modos de falha, de modo que só com o entendimento correto do processo podemos criar um plano de ação que impeça sua ocorrência.

Essa análise tem o objetivo de identificar as causas da falha, e ao mesmo tempo registrar seus efeitos. O registro indica o que poderia acontecer se o modo de falha acontecesse em termos de parada ou queda de produção, qualidade do produto oferecido, meio ambiente, dentre outras (Kardec, Nascif, 2010).

Com essas informações, é possível estabelecer um conjunto de ações de manutenção preventiva, preditiva e detectiva, de acordo com o grau de importância da falha.

A MCC, admite que evitar falhas e suas consequências é seu principal objetivo, e classifica as falhas em: Falha evidentes e Falhas Ocultas. Kardec e Nascif (2010),

As falhas evidentes são aquelas perceptíveis aos operadores e se divide em três categorias: falhas com consequências, falhas com consequências operacionais e falhas não operacionais. Já as falhas ocultas, são as não perceptíveis pelos

operadores, estando associadas a sistemas de proteção que não são a prova de falhas (Kardec, Nascif, 2010).

### 3.2.3.1 Curvas de falha

Kardec e Nascif (2010), apresentam o processo MCC com seis curvas de falhas, Figura 15, que são utilizadas para caracterizar a vida do equipamento.

O conceito de quanto mais antigo o equipamento fosse mais eles falhariam não é verídico. Acreditava-se nisso pelo aumento do desgaste com o tempo. Quando temos partes em contato com produto, como em bombas, correias e refratários, esta afirmação se torna verdadeira (Kardec, Nascif, 2010).

As seis curvas da Figura 15, foram apresentadas pela United Airlines em uma pesquisa de 30 anos. Quanto mais complexo for o equipamento, mais encontramos os padrões da curva D, E e F.

Figura 15 – Tipos de curvas de falha.

Fonte: Kardec e Nascif (2010), pg 145.

Padrão de Falha	Idade / Probabilidade de Falha	UAL 1968	Bromberg 1973	US Navy 1982
A.		4	3	3
B		2	1	17
C		5	4	3
D		7	11	6
E		14	15	42
F		68	66	29

Baseado na análise de Kardec e Nascif (2010), apresenta-se de modo resumido, o que as análises das curvas indicam:

- **Padrão A** – Curva da banheira: indica uma grande ocorrência de falhas no início de operação do equipamento/sistema. Em seguida, indica falhas constantes e um aumento devido ao desgaste do mesmo;
- **Padrão B**: apresenta grande índice de falha constante, seguida de uma zona de desgaste até o final da vida do equipamento;

- **Padrão C:** Este padrão apresenta um aumento devagar, porém gradual na probabilidade de falha ocorrer sem que ocorra uma idade definida. Acontece onde há corrosão, fadiga e erosão;
- **Padrão D:** para o equipamento novo sugere baixa ocorrência de falha mas segue de um rápido aumento para um nível de falha constante. Esse tipo de padrão, acontece em sistemas complexos onde a manutenção é feita por técnicos altamente instruídos antes de serem substituídos por operadores sem a mesma instrução;
- **Padrão E:** Neste, o equipamento apresenta falha aleatória, ou seja, pode ocorrer a qualquer momento, independentemente da idade. Este padrão ocorre em muitos sistemas onde não há atuação da manutenção;
- **Padrão F:** este padrão apresenta alta possibilidade de falha no início e essa tendência cai para uma situação constante para as demais idades. Pode também apresentar crescimento lento e gradual.

Os padrões D, E e F representam as falhas mais comuns em equipamentos complexos, como eletrônicos e hidráulicos.

### 3.2.3 Grau de risco

Todo e qualquer trabalhador está exposto a inúmeros perigos e ameaças no seu ambiente de trabalho, e pode sofrer danos à sua saúde e/ou à sua integridade física. A possibilidade desses problemas ocorrerem é conhecida como risco ocupacional (Kardec, Nascif, 2010). Os riscos ocupacionais mais comuns estão ligados a ambientes em que o trabalhador fica exposto a vibrações intensas, iluminação inadequada, excesso de ruídos e outras situações nocivas à saúde (Kardec, Nascif, 2010).

Toda empresa tem uma classificação de risco diferente, que é determinada pelo CNAE (Classificação Nacional de Atividades Econômicas).

#### 3.2.3.1 Definição

O grau de risco é um valor numérico variável, entre 1 e 4, com o objetivo de avaliar o risco de cada atividade. O grau de risco relativo aos acidentes de trabalho é

atestado pela NR-04 (Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho).

É importante ressaltar a relevância das Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho. Elas tratam de um conjunto de requisitos e procedimentos relativos à segurança e medicina do trabalho, e são obrigatórias a todas as empresas que possuem empregados em regime CLT (Consolidação das Leis do Trabalho).

#### **3.2.4.2 Como calcular?**

Para encontrar o grau de risco de uma empresa, você precisa saber qual o código CNAE (Classificação Nacional de Atividades Econômicas). Caso não saiba o CNAE da empresa, basta entrar no site da Receita Federal, inserir o CNPJ (Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica) e assim, obtê-lo.

Após descobrir o código, é necessária uma simples busca pelo código correspondente no quadro I da NR-04. Ao encontrá-lo, confira se a opção “Denominação” coincide com a principal atividade desempenhada pela empresa. Caso tudo esteja certo, o valor correspondente será o grau de risco de sua empresa.

### **3.3 Sequência de implementação**

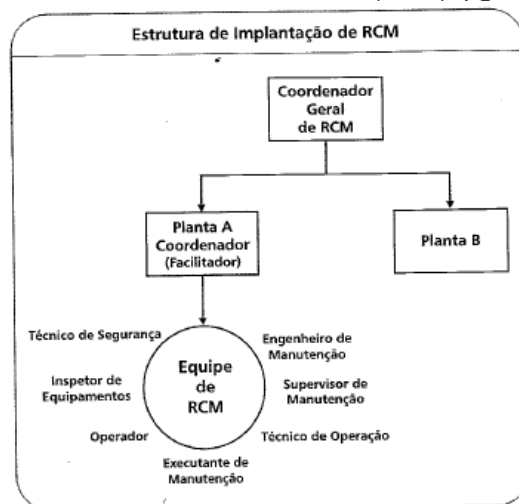
Kardec e Nascif (2010) afirmam que qualquer processo deve ser apoiado pela alta gerência, de modo que haja comprometimento e sejam liberados os recursos necessários, assim como é importante a participação de todos os níveis da organização como operação, manutenção, inspeção e segurança, como pode ser observado na Figura 16.

É fundamental que este grupo possua as seguintes características:

- Grupo pequeno com propósitos em comum;
- Habilidades complementares;
- Conjunto de objetivo, performance, normalmente produzidos por indicadores;
- Conjunto de princípios comuns a outros grupos da planta;
- Responsabilidade mútua.

- Figura 16 – Equipe multidisciplinar para MCC

- Fonte: kardeck e Nascif (2010), pg 152.



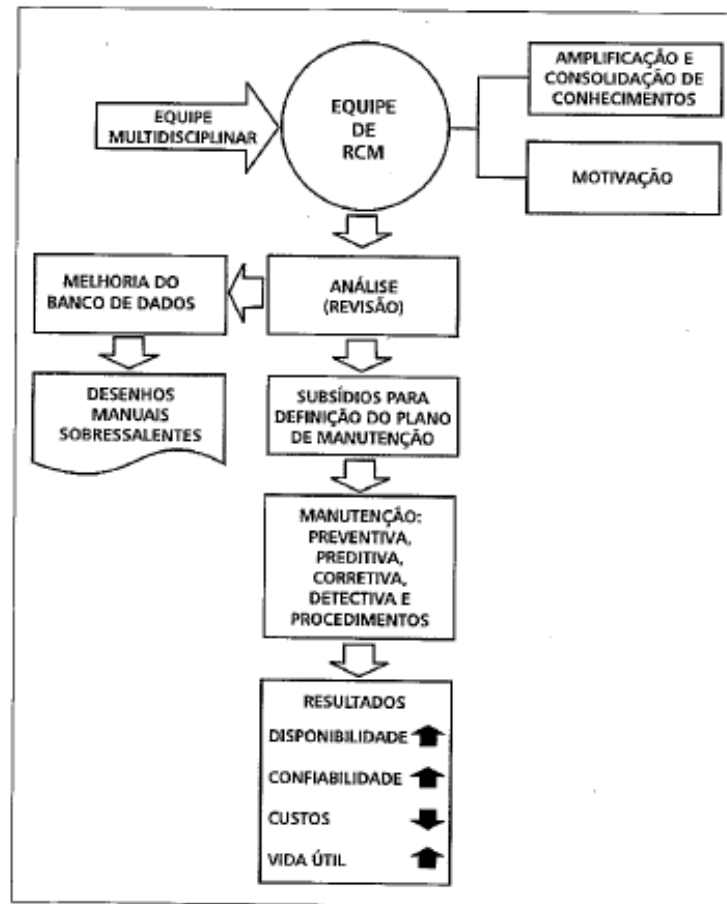
A implementação da metodologia MCC adota uma sequência estruturada, composta pelas 7 etapas, conforme quadros 3 e 4.

Como resultado das etapas anteriores, a Metodologia MCC produz um conjunto de atividades aplicáveis e efetivas, que são apropriadas para prevenir ou reduzir as consequências de falhas funcionais. As etapas seguintes consistem na definição da frequência com que estas atividades devem ser executadas para cada modo de falha do sistema. Em condições ideais, a definição resultará de uma otimização dos resultados que o proprietário ou usuário da instalação deseja, sujeito às restrições de segurança, ambientais e de viabilidade física.

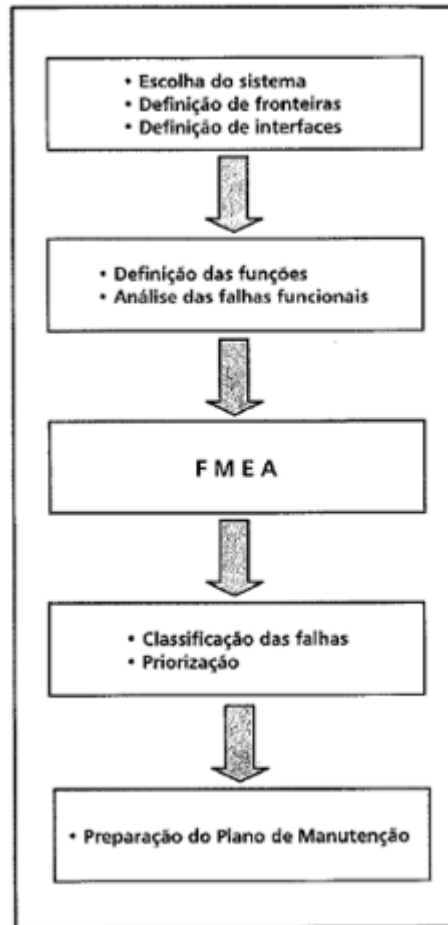
Tanto a norma SAE JA1011 quanto a IEC 60300-3-11 reconhecem a importância dos métodos estatísticos na definição de periodicidade, e recomendam sua utilização quando os dados necessários estiverem disponíveis. Entretanto, estas normas não definem estes modelos, limitando-se a recomendar que o método escolhido seja documentado e aceito pelo usuário ou proprietário da instalação. Para a aviação comercial americana, também o organismo regulatório deverá aprovar o método. Em última instância, um intervalo de manutenção deverá ser escolhido com base nos dados disponíveis, seja através do consenso ou aplicando práticas geralmente aceitas de engenharia.

Este capítulo apresenta um resumo dos modelos estatísticos mais usuais em Engenharia de Manutenção, com ênfase nos métodos bayesianos e makrovianos, e uma metodologia de otimização da periodicidade adequada as atividades da MCC. Finalmente, estes métodos serão incorporados ao conjunto de ferramentas da MCC, completando o *kit* de implementação do Apêndice A (Siqueira, 2005).

Quadro 3 – Diagrama Global da aplicação da MCC.  
 Fonte: kardeck e Nascif (2010).



Quadro 4 – Etapas do processo da MCC.  
 Fonte: Kardeck e Nascif (2010).



### 3.3.1 Ferramentas de Suporte a MCC

### 3.3.2 Análise de modos e efeitos de falha – FMEA

Sason e Duarte (2009), definem a FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis* ou Análises dos Modos e Efeitos de Falha) é uma técnica de confiabilidade que tem como objetivo:

- Identificar e avaliar falhas potenciais em equipamentos, sistemas ou processos;
- Reconhecer ações que sejam capazes de reduzir ou eliminar possibilidades que essas falhas ocorram;
- Registrar o estudo, gerando um referencial técnico que permita contribuir em revisões e desenvolvimentos pósteros do processo ou projeto.

Sason e Duarte (2009 indicam três níveis de FMEA: projeto, processo e sistema).

**FMEA de projeto:** dedica-se a eliminar as causas de falha durante o projeto do equipamento, levando em consideração todos os aspectos, desde manutenibilidade até aspectos ligados à segurança, Sason e Duarte (2009).

**FMEA de processo:** focaliza como o equipamento é mantido e operado, seu sistema se preocupa com falhas potenciais e gargalos no processo global, como uma linha de produção.

**FMEA sistema:** são considerados sistemas e subsistemas nas fases conceituais e de projeto. O objetivo desta análise é focalizar nos modos de falhas entre funções do sistema. São inclusas as interações entre sistemas e elementos dos sistemas.

### 3.3.3 FMEA e FMECA

Além da sigla FMEA, é comum se ouvir FMECA, que significa *Failure Mode Effects and Critically Analysis*, ou seja, Análise do Modo, Efeito e Criticidade de Falhas. A principal diferença entre FMEA e FMECA reside no fato de que FMEA é uma técnica mais ligada ao aspecto qualitativo, sendo muito utilizada na avaliação de projetos, enquanto a FMECA inclui o que se denomina análise crítica (*CA – Critically Analysis*). Esta que consiste em um método quantitativo que é utilizado para classificar os modos de falhas levando em consideração suas probabilidades de ocorrência (Kardec, Nascif, 2010).

Alguns dos principais conceitos necessários para a análise:

- Causa, meio pelo qual um elemento particular do projeto ou processo resulta em um Modo de Falha.
- Efeito, uma consequência adversa para o consumidor ou usuário. Consumidor ou usuário pode ser a próxima operação ou o próprio usuário.
- Modos de Falha, são categorias de falha que são normalmente descritas;
- Frequência, é a probabilidade de ocorrência de falha.
- Gravidade da Falha, indica como a falha afeta o usuário ou o cliente.
- Detectabilidade, indica o grau de facilidade de detecção da falha.
- Índice de risco ou número de prioridade de risco (NPR), é o resultado do produto da frequência pela gravidade da falha pela detectabilidade (facilidade de detecção). Esse índice dá a prioridade de risco da falha.

$$NPR = \text{Frequência} \times \text{Gravidade} \times \text{Detectabilidade}$$

### 3.3.4 Sequência de trabalho

Inicialmente, o engenheiro responsável pela condução do estudo de FMEA deve reunir a equipe de trabalho. Esta deve conter participantes com conhecimentos das diversas áreas envolvidas (materiais, manufatura, montagem, qualidade, manutenção, assistência técnica etc.). Além do conhecimento técnico, também é desejável que os participantes tenham habilidade para trabalhar em equipe.

Na determinação da taxa de risco de falha de um componente particular de um equipamento, o grupo deve adotar a seguinte sequência:

- 1) Isolar e descrever o modo da falha potencial:  
Sob que condições o equipamento falha?
- 2) Descrever o efeito potencial da falha:  
Ocorre para ou redução de produção?  
A qualidade do produto é afetada?  
Quais os prejuízos?
- 3) Determinar a frequência, gravidade e a detectabilidade da falha:  
Qual a frequência de ocorrência de falha?  
Qual o grau de gravidade da falha?  
Qual a facilidade de a falha ser detectada?

Para indicar a gravidade da falha, adota-se uma escala de 1 a 10, sendo 10 para a falha mais grave. Idem para a frequência e para a detectabilidade, como podemos observar no Quadro 5 (Sason Duarte, 2009).

Para que todos os membros do grupo tenham o mesmo entendimento do que é uma falha e o que ela significa para uma operação em particular, devem ser dadas essas definições antes que o grupo inicie o trabalho.

- 4) Determinar o Número de Prioridade do Risco (NPR).
- 5) Desenvolver planos de ação para eliminar ou corrigir o problema potencial.

Para a determinação dos pesos das parcelas que compõem o NPR, existem algumas recomendações baseadas em experiência de empresas, como o quadro 5 (Kardec, Nascif, 2010).

Componente do NPR	Classificação	Peso
FREQUÊNCIA DA OCORRÊNCIA F	Improvável	1
	Muito pequena	2 a 3
	Pequena	4 a 6
	Média	7 a 8
	Alta	9 a 10
GRAVIDADE DA FALHA G	Apenas perceptível	1
	Pouca importância	2 a 3
	Moderadamente grave	4 a 6
	Grave	7 a 8
	Extremamente grave	9 a 10
DETECTABILIDADE D	Alta	1
	Moderada	2 a 5
	Pequena	6 a 8
	Muito pequena	9
	Improvável	10
ÍNDICE DE RISCO NPR	Baixo	1 a 50
	Médio	50 a 100
	Alto	100 a 200
	Muito alto	200 a 1.000

Quadro 5 - Exemplo de recomendações baseadas em experiência de empresas.  
Fonte: Fonte: Kardeck e Nascif (2010).

Os quadros 6 e 7 apresentam um modelo de formulário para registro e acompanhamento da análise de FMEA:

EMPRESA X		FMEA – Análise do Modo e Efeito da Falha						revisão	0										
		( X ) MANUTENÇÃO ( ) OPERAÇÃO ( ) SISTEMAS						data	22/07/09										
								resp.	ABC										
Identificação		Local	U 431	Setor	Britagem	Sistema	Primário	Equipamento	Britador	TAG	431-BT-02								
SUB ITEM	COMPONENTE/ PROCESSO	FUNÇÃO	POSSÍVEIS FALHAS			CONTROLES ATUAIS	ÍNDICES ATUAIS			AÇÕES CORRETIVAS		ÍNDICES MELHORADOS							
			MODOS	EFEITO	CAUSAS		F	G	D	NPR	Recomendada	Adotada	F	G	D	NPR			

Quadro 6 – Modelo de planilha de FMEA.  
Fonte: Fonte: Fonte: Kardeck e Nascif (2010).

Formulário RCFA Preenchido.

EMPRESA		Relatório ANÁLISE DAS CAUSAS-RAÍZES DE FALHA (RCFA)		Data
X				11
Cliente		PETRÓLEO ORIENTAL S.A.		
Planta		REFINARIA CENTRAL		
Unidade		Craqueamento	Local	CRACAT
Equipamento (TAG)		Bomba G3-P-04-B	Sistema	FUNDO FCC
Identificação da Falha		Impacto da Falha		
Falha	Futura	Ocorrida	Perda de Produção	( )
Preencha os campos abaixo, se a falha já ocorreu		Parada de Unidade	Sim	Não
Data	20/03/01	Hora	02:40	Total Horas Paradas
Empregados que podem descrever a ocorrência		Parada Equipamento	Sim	Não
Antonio Silveira – operador		Impacta a Segurança?	Sim	Não
Alfredo Campos Martins – supervisor		Meio Ambiente?	Sim	Não
Classificação da Falha		Custo Total da Falha	US\$ 835.000	
Oper. ___	Manut. X	Projeto ___	Master ___	Outras ___
Tipo de Falha		Custo Melhoria Estim.	US\$ 15.000	
Mec. X		Elet. ___	Quim. ___	Outro. ___
		Prazo Execução	35 dias	
		NPR	30	
Descrição da possível falha ou falha ocorrida – Citar equipamentos envolvidos: Quebra da ponta do eixo, na zona de transição de seção provocou roçamento rotor carcaça provocando desgaste acentuado. Carcaça já apresentava erosão acentuada e o produto vazou para a atmosfera. Não ocorreu incêndio pela intervenção imediata.				
Causas-Raízes: Deficiência de projeto do eixo Programa de inspeção de bomba não-adequado				
Recomendações: 1 – Reprojeter o eixo 2 – Substituir os eixos em estoque 3 – Modificar a sistemática de inspeção de equipamento				
Acompanhamento das Recomendações				
Ação – Reprojeter eixo		Responsável: J. Firme		
Data Receb.	12.06.01	Prev. Conclusão:	22.06.01	Data Conclusão: 21.06.01
Ação – Substituir eixos do estoque		Responsável: A. Salgado		
Data Receb.	25.06.01	Prev. Conclusão:	25.09.01	Data Conclusão: 22.09.01
Ação – Modificar plano de inspeção		Responsável: J. Antonio Dietrich		
Data Receb.	12.06.01	Prev. Conclusão:	30.06.01	Data Conclusão: 29.06.01
Custo Real Melhoria (US\$)		Aprovação	Data	
16.349,00				

Quadro 7 – Exemplificação de um formulário de FMEA.  
Fonte: Kardeck e Nascif (2010).

Uma vez reunida a equipe, os documentos de suporte e o fluxograma das etapas do processo, a análise de FMEA de processo, fisicamente caracterizada pelo preenchimento da tabela de FMEA, pode iniciar. Esta tabela é usada para facilitar e documentar o estudo (Kardec; Nascif, 2010).

O cabeçalho é particular de cada empresa. Em geral, contém o número da FMEA, a identificação do processo, a identificação do(s) item(s) associado(s) ao processo, o modelo ao qual ele corresponde, o departamento responsável pelo estudo, os dados do coordenador do estudo, os dados dos participantes e a data do documento ( Kardec; Nascif, 2010).

Após o preenchimento do cabeçalho, inicia-se o preenchimento das colunas da planilha de FMEA. A FMEA irá desdobrar o processo em análise em todas as suas

etapas e operações. Assim, as primeiras colunas compreendem a especificação da etapa e seu propósito. Isso pode exigir três colunas, por exemplo: etapa, operação e propósito. Deve ser feita uma descrição simples de cada operação a ser analisada (por exemplo: furação, soldagem, polimento, montagem etc.) e seu propósito ou requisito a ser atendido (Sason; Duarte, 2009).

Através dos modos potenciais de falha inicia-se o trabalho propriamente dito. Os participantes da equipe analisam a primeira operação e indicam modos de falha potenciais. O modo potencial de falha é definido como a maneira na qual um determinado processo pode falhar em atingir os requerimentos ou especificações do projeto. Trata-se de uma descrição de uma possível não-conformidade associada com a operação em estudo.

Devem ser listados todos os modos potenciais de falha pertinentes a cada operação. Qualquer modo de falha cuja probabilidade de ocorrência não seja praticamente nula deve ser listado. A relação deve conter inclusive aqueles modos de falha que só ocorrem em certas situações (por exemplo, em dias com umidade muito elevada ou quando a produção está sobrecarregada) (Sason; Duarte, 2009).

A lista de modos potenciais de falha é construída com base na experiência da equipe, em geral fruto da interação entre os participantes, conduzida em um ambiente *brainstorming*, em que todos podem se manifestar. Devem ser listados todos os modos potenciais de falha para a operação em estudo, falhas estas que irão comprometer a qualidade da parte que está sendo produzida.

### 3.3.5 Efeitos potenciais de falha

Os efeitos potenciais de falha são definidos como aqueles defeitos, resultantes dos modos de falha, conforme seriam percebidos pelo cliente. A descrição do efeito deve ser feita em função daquilo que o cliente poderá observar ou experimentar, e o cliente deve ser entendido no seu sentido amplo: pode ser responsável pela operação subsequente, o revendedor ou o cliente final.

Existe uma hierarquia entre as operações, isto é, o efeito de um modo de falha em uma operação pode ser a causa de um modo de falha em outra operação subsequente. Se o cliente é a próxima operação, típicos efeitos potenciais de falha são os seguintes: não fecha, fora de esquadro, não conecta, danifica o equipamento, não coincide a furação, põe em risco a operação subsequente etc. Se o cliente é o cliente final, típicos efeitos potenciais de falha serão aqueles associados com o desempenho: ruído, operação intermitente ou falta de operação, aspecto desagradável rugosidade excessiva ou insuficiente, falta de potência, falta de velocidade, falta de rigidez etc.

#### 3.3.5.1 Severidade

A severidade é definida em termos do impacto que o efeito do modo potencial de falha tem sobre a operação do sistema e, por conseguinte, sobre a satisfação do cliente. Uma vez que o cliente afetado pelo modo de falha pode ser a planta de montagem ou o usuário final, a avaliação da severidade pode estar além da equipe de FMEA.

Nesse caso, o engenheiro responsável pela condução da FMEA de processo deve consultar o responsável pela montagem ou pelo setor de atendimento ao cliente para auxiliar na avaliação. Vale observar que, uma vez que a FMEA utiliza avaliações qualitativas, o estudo pode ser realizado mesmo na ausência de medições ou análises matemáticas mais aprofundadas. Esse é um dos motivos da ampla utilização da FMEA de processo em diferentes segmentos industriais.

A severidade é medida por uma escala de 1 a 10, onde 1 significa efeito pouco severo e 10 significa efeito muito severo. A severidade aplica-se exclusivamente ao efeito. A equipe de FMEA deve chegar a um consenso a respeito do critério a ser utilizado e, então usá-lo conforme o Quadro 8.

Severidade	Efeito da Severidade	Índice de Severidade
Nenhum	Sem efeito identificado.	1
Muito menor	Itens de Ajuste, Acabamento/Chiado e Barulho não-conformes. Defeito evidenciado por clientes acurados (menos que 25%).	2
Menor	Itens de ajuste, Acabamento/Chiado e Barulho não-conformes. Defeito evidenciado por 50% dos clientes.	3
Muito baixo	Itens de Ajuste, Acabamento/Chiado e Barulho não-conformes. Defeito notado pela maioria dos clientes (mais que 75%).	4
Baixo	Equipamento operável, mas item(s) de Conforto/Conveniência operável(is) com níveis de desempenho reduzidos.	5
Moderado	Equipamento operável, mas item(s) de Conforto/Conveniência inoperável(is). Cliente insatisfeito.	6
Alto	Equipamento inoperável, mas com níveis de desempenho reduzido. Cliente muito insatisfeito.	7
Muito alto	Equipamento inoperável (perda das funções primárias).	8
Perigoso com aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do equipamento com aviso prévio.	9
Perigoso sem aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do equipamento sem aviso prévio.	10

Quadro 8 – Tabela de efeitos da severidade de acordo com o índice.  
Fonte: Engeteles (2018).

### 3.3.5.2 Causas e mecanismos potenciais de falhas

Esta é uma das etapas mais importantes, em que se busca identificar a raiz do problema. A causa potencial de falha pode ser entendida como uma deficiência no processo, cuja consequência é o modo de falha. Essa causa, em princípio, pode ser corrigida ou controlada. Na medida do possível, devem ser listadas todas as causas/mecanismos de falha cuja probabilidade de ocorrência não seja praticamente

nula. É importante listar as causas de forma concisa e completa, de modo a facilitar os esforços de correção e melhoria do processo, por exemplo, indicar “erro do operador” não esclarece o problema. Nesse caso seria melhor indicar “selador mal aplicado ao operador”. Similarmente, “máquina com mau funcionamento” também não esclarece o problema, sendo melhor indicar “erro da máquina na fixação do retentor” (Sason; Duarte, 2009).

### 3.3.5.3 Ocorrência

A ocorrência relaciona-se com a probabilidade que uma causa/mecanismo listado venha a ocorrer. Sempre que possível, dados referentes à taxa de falha ou índices de capacidade do processo devem ser estimados aplicando-se procedimentos estatísticos aos dados históricos coletados em processos similares. Quando essas informações não estão disponíveis, é preciso fazer uma análise subjetiva (consenso entre engenheiros), classificando a probabilidade de ocorrência em baixa, moderada, alta, através de uma avaliação feita em uma escala de 1 a 10 Quadro 9 (Sason; Duarte, 2009).

Probabilidade	Taxa de falhas possíveis	Índice de ocorrência
<b>Muito alta</b>	≥ 100 por mil peças	<b>10</b>
	≥ 1 em 10	
<b>Alta</b>	50 por mil peças 1 em 20	<b>9</b>
	20 por mil peças 1 em 50	<b>8</b>
	10 por mil peças 1 em 100	<b>7</b>
<b>Moderada</b>	2 por mil peças 1 em 500	<b>6</b>
	0,5 por mil peças 1 em 2.000	<b>5</b>
	0,1 por mil peças 1 em 10.000	<b>4</b>
<b>Baixa</b>	0,01 por mil peças 1 em 100.000	<b>3</b>
	0,001 por mil peças 1 em 1.000.000	<b>2</b>
<b>Muito baixa</b>	Falha é eliminada através de controles preventivos	<b>1</b>

Quadro 9 – Tabela de avaliação de ocorrência.  
Fonte: Revista Espacios, Vol 37 (2016).

#### **3.3.5.4 Detecção**

A detecção refere-se a uma estimativa da habilidade dos controles atuais em detectar causas ou modos potenciais de falha antes de o componente passar para a operação subsequente. Também é usada uma escala qualitativa de 1 a 10, onde 1 representa situação favorável (modo de falha será detectado) e 10 representa uma situação desfavorável (modo de falha, caso existente, não será detectado).

Para avaliar a detecção, a equipe deve assumir que o modo de falha tenha ocorrido e então verificar a capacidade dos controles atuais em detectá-lo. Inspeções aleatórias de qualidade não são eficientes em detectar a existência de modos de falha. Amostragem seguindo uma base estatística é um método de controle válido, que aumenta a probabilidade de detecção.

#### **3.3.6 Matriz de riscos**

A matriz de risco reúne todos os níveis do modo de falhas com os níveis de severidade e aceitabilidade do risco. Ela é uma ferramenta gerencial que permite ampliar a visão sobre a possibilidade de riscos, com a meta de auxiliar os gestores em uma tomada de decisões, ver Quadro 10 (Marques; Varasquim, 2014).

Esta, tem sido largamente adotada por empresas, tanto em vista sua facilidade de utilização e praticidade. Para a realização da matriz de risco, é preciso seguir dois passos:

- 1) Listar os níveis de probabilidade e gravidade, estas são classificadas a seguir, ou também pode se fazer uma matriz de risco semi-quantitativa, conforme o Quadro 10. Esta matriz semi-quantitativa é construída atribuindo valores ao nível de probabilidade de ocorrência e de consequência, definindo assim a classe de risco a partir da combinação da classe de probabilidade com a de consequência.

Alta:	Mais de 50% de chance de acontecer; Ocorre frequentemente em circunstâncias semelhantes; Ocorre várias vezes durante um projeto;
Média:	10% a 50% de chance de ocorrer; Evento é conhecido por ocorrer, mas não com frequência;
Baixa:	Menos de 10% de chance de ocorrer; Evento improvável, não ocorreu em sua empresa, mas poderia acontecer;

Quadro 10 – Classificação de probabilidade  
Fonte: Autor adaptado.

Alta:	Os custos para conserto ou substituição consomem grande parte dos lucros mensais; Grande chance de causar lesão grave ou incapacitante em algum colaborador; Gera uma grande pausa na operação da empresa; Média
Média	Os custos para conserto ou substituição consomem boa parte dos lucros mensais; Lesão que requer ajuda médica com ou sem perda de tempo no trabalho;
Baixo	Custo baixo para conserto; Nenhuma lesão ou ferimento menor que requer primeiros socorros; Pequena pausa nos processos da empresa.

Quadro 11 – Classificação de Gravidade.  
Fonte: Autor adaptado

Probabilidade / Impacto	Sem Impacto	Leve	Médio	Grave	Gravíssimo
Quase certo	Risco Elevado	Risco Elevado	Risco Extremo	Risco Extremo	Risco Extremo
Alta	Risco Moderado	Risco Elevado	Risco Elevado	Risco Extremo	Risco Extremo
Média	Risco Baixo	Risco Moderado	Risco Elevado	Risco Extremo	Risco Extremo
Baixa	Risco Baixo	Risco Baixo	Risco Moderado	Risco Elevado	Risco Extremo
Raro	Risco Baixo	Risco Baixo	Risco Moderado	Risco Elevado	Risco Elevado

Figura 17 – Exemplificação de uma matriz de risco.  
Fonte: RiskKex (2016)

Matriz Semi- Qualitativa de Risco		Consequência				
		Desprezível	Marginal	Média	Critica	Extrema
Probabilidade	Quase Certo	11	16	20	23	25
	Provável	7	12	17	21	24
	Possível	4	8	13	18	22
	Pouco Provável	2	5	9	14	19
	Rara	1	3	6	10	15






				
Intolerável	Substancial	Moderado	Aceitável	Trivial

Figura 18 – Exemplificação de uma matriz Semi – quantitativa de risco.  
Fonte: riskEx (2016)

### 3.3.7 Diagrama de decisão

Definidas as premissas básicas para as perguntas do MCC, é necessário reunir as informações para a tomada de decisão e definir as atividades de manutenção correta para cada modo de falha. O MCC usa uma lógica estruturada para determinar o plano de ação adequado para eliminar ou reduzir os problemas dos modos de falha. (Siqueira, 2005).

Esta lógica utiliza questões objetivas para classificar e caracterizar cada modo de falha, as respostas dadas às questões, direcionam o fluxo da análise, determinando a classe e consequência.

O diagrama de decisões do método RCM, (Figura 19), tem por objetivo facilitar esta análise, pois nos guia nos tipos de ações que devemos tomar através de uma série de perguntas.

#### 3.3.7.1 Níveis de decisão

Definidas as premissas básicas para as perguntas do MCC, é necessário reunir as informações para a tomada de decisão e definir as atividades de manutenção

correta para cada modo de falha. O MCC usa uma lógica estruturada para determinar o plano de ação adequado para eliminar ou reduzir os problemas dos modos de falha. (Siqueira, 2005).

Esta lógica utiliza questões objetivas para classificar e caracterizar cada modo de falha, as respostas dadas as questões, direcionam o fluxo da análise, determinando a classe e consequência.

O diagrama de decisões do método RCM Figura 19, tem por objetivo facilitar esta análise, pois nos guia nos tipos de ações que devemos tomar através de uma série de perguntas.

### **3.3.7.2 Critérios de decisão**

A lógica de decisão requer então que os seguintes elementos sejam considerados, para cada modo de falha:

- Visibilidade de falha funcional para a equipe de operação;
- Consequência da falha para a instalação e seus usuários;
- Visibilidade da falha potencial para a equipe de operação;
- Causa e mecanismo de falha no tempo;
- Impactos econômicos, ambientais e de segurança.

### **3.3.7.3 Redundância**

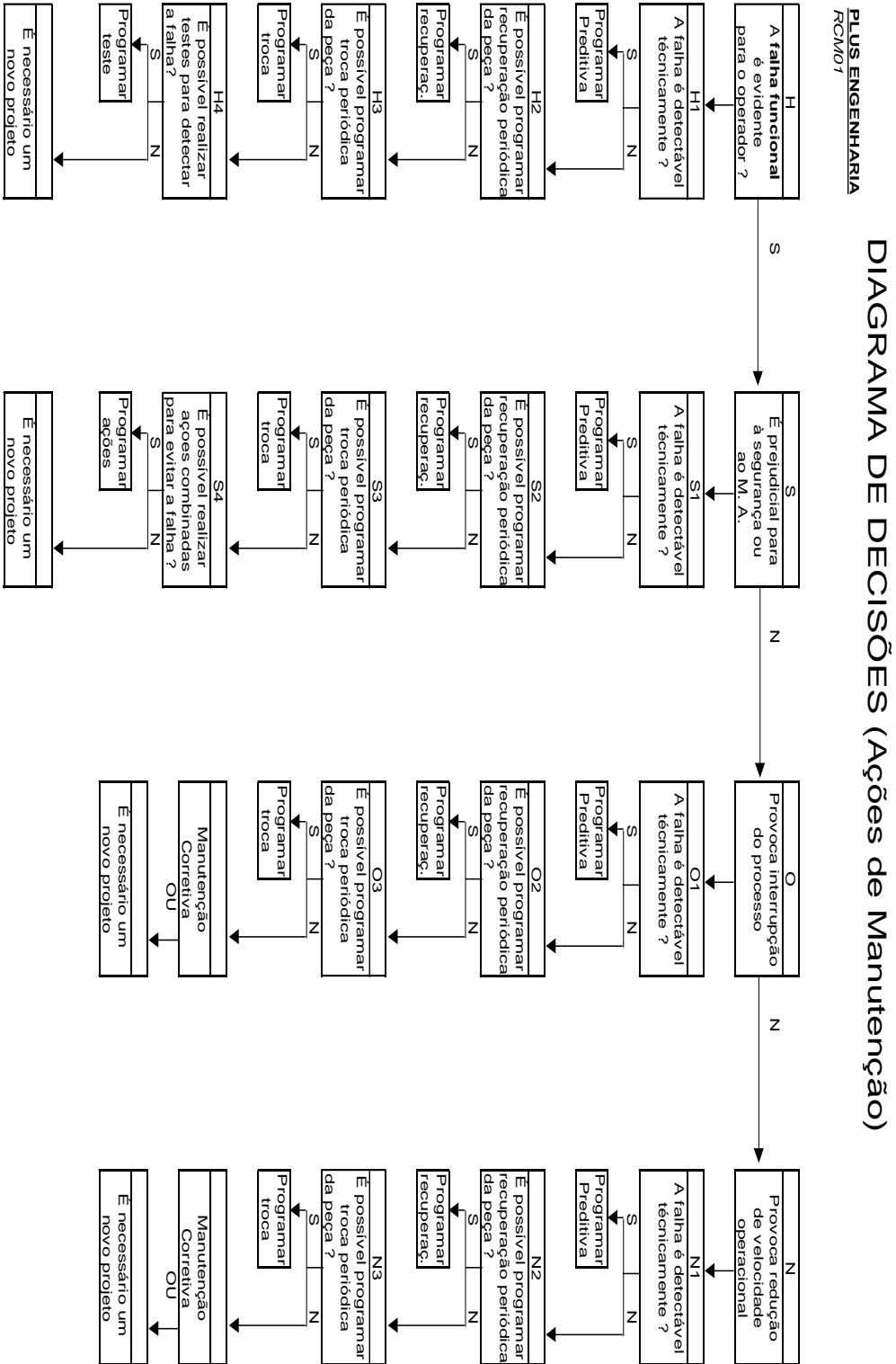
Funções e componentes redundantes podem modificar as consequências produzidas por um modo de falha, ou adiar o instante de sua manifestação. As modificações podem consistir na substituição da função durante a falha, ou na introdução de modos operacionais degradados. Eventualmente, as consequências só serão sentidas com uma falha múltipla das funções redundantes, tornando oculta a falha simples, sem consequências imediatas visíveis para o usuário.

Nesta etapa do processo MCC, todas as consequências possíveis devem ser analisadas, levando em conta a existência de redundâncias físicas ou funcionais, que afetem a visibilidade das falhas simples. Estes aspectos são analisados através do diagrama lógico de decisão adotado na MCC.

#### **3.3.7.4 Diagrama de decisões**

Podemos definir as prioridades de ações, no entanto, decidir por quais ações de manutenção optaremos é que fica muito subjetivo. O diagrama de decisões proposto na metodologia do RCM facilita esta análise, pois nos orienta nos tipos de ações através de um fluxo de perguntas Figura 19.

Figura 19 – Diagrama de decisões  
 Fonte: Costa Alessandra (2009).



As respostas do diagrama são apresentadas na planilha de tomada de decisão conforme a Quadro 12. Ao aplicarmos o diagrama nas falhas levantadas e a resposta estiver na coluna H teremos:

- Consequências de falhas ocultas.

Na coluna S, teremos:

- Consequências na segurança e no meio ambiente.

Na coluna O, teremos:

- Consequências operacionais.

Na coluna N, teremos:

- Consequências não operacionais

Ao aplicarmos o diagrama em um modo de falha, chegamos ao seguinte resultado:

- A falha é evidente para o operador;
- Não é prejudicial para a segurança ou ao meio ambiente;
- Provoca interrupção do processo;
- Não é detectável tecnicamente, ou seja, técnicas preditivas;
- Não é possível programar recuperação periódica;
- É possível programar troca periódica – O3 (consequência operacional).

- H: falha evidente ou não;
- S: indica se a falha afeta a segurança dos funcionários e do processo;
- E: indica se a falha pode afetar o meio ambiente;
- O: indica se a falha tem consequências operacionais, afetando a qualidade do serviço.

As colunas H1, H2 E H3, registram se uma tarefa foi selecionada e H4, H5 e S4, se referem as questões padrão. As últimas três, registram as tarefas que foram selecionadas, a frequência com que elas serão realizadas e o responsável.

SISTEMA				Sistema nº			Facilitador:			Data	Folha nº				
SUB-SISTEMA				Sub-sistema nº			Auditor:			Data	de				
Referência Informação			Avaliação de consequência				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Ação default			Tarefa Proposta	Frequência inicial	Pode ser feito por
F	FF	FM	H	S	E	O			H4	H5	S4				

Quadro 12 – Quadro de resposta do diagrama de decisão.  
Fonte: Costa Alessandra (2009).

### 3.4 Gerenciamento do Projeto

Um projeto é um conjunto de atividades, realizadas em grupo, destinadas a produzir um produto, serviço ou resultado único. Sendo assim, elaborar um plano de gerenciamento é primordial para seu sucesso. Um plano de gerenciamento é um processo de documentação de todas as ações que serão desempenhadas para coordenar todos os planos auxiliares.

Alguns passos que devem ser adotados ao se elaborar um plano de gerenciamento de projetos.

- Determinar os objetivos e como atingi-los;
- Eliminar ou reduzir incertezas;
- Aperfeiçoar os processos;
- Obter um melhor entendimento dos objetivos;
- Antecipar-se aos problemas futuros.

Vale pontuar que esses gerenciamentos podem ser compreendidos como estratégias organizacionais para obtenção de êxito ao competir com os outros mercados, permitindo a união dos resultados dos projetos com os objetivos de negócio.

Segundo o Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK), os grupos de processos do gerenciamento de projetos são cinco;

- Início;
- Planejamento;
- Execução;
- Monitoramento e Controle;
- Encerramento.

O conhecimento em gerenciamento de projetos é composto de dez áreas.

- Gerenciamento da Integração;
- Gerenciamento do Escopo;
- Gerenciamento de Custos;
- Gerenciamento de Qualidade;
- Gerenciamento das Aquisições;
- Gerenciamento dos Recursos;
- Gerenciamento das Comunicações;
- Gerenciamento de Risco;
- Gerenciamento do Cronograma;
- Gerenciamento das Partes Interessadas.

Vale salientar, que todos os gerenciamentos giram em torno desses itens, embora o gerenciamento de projetos traga um foco único delineado pelos objetivos, recursos e a programação de cada projeto.

### **3.4.1 Ferramentas de Gerenciamento de Projeto**

#### **3.4.1.1 PM CANVAS**

Devido à grande demanda de projetos, existem algumas ferramentas que auxiliam no desenvolvimento de projetos e proporcionam agilidade e flexibilidade aos empreendedores que buscam revolucionar os seus negócios a partir da utilização de metodologias inovadoras.

Elaborado pelo professor José Finnochio, e com base na metodologia proposta por Alexander Osterwalter, *Business Model Generation* (BMG), o *Project Model*

*Canvas* é uma diagramação visual em que você consegue avaliar um projeto inteiro, integrando escopo, tempo, requisitos, *stakeholders*, sendo então, escolhida como sustentação do nosso trabalho, Figura 20.

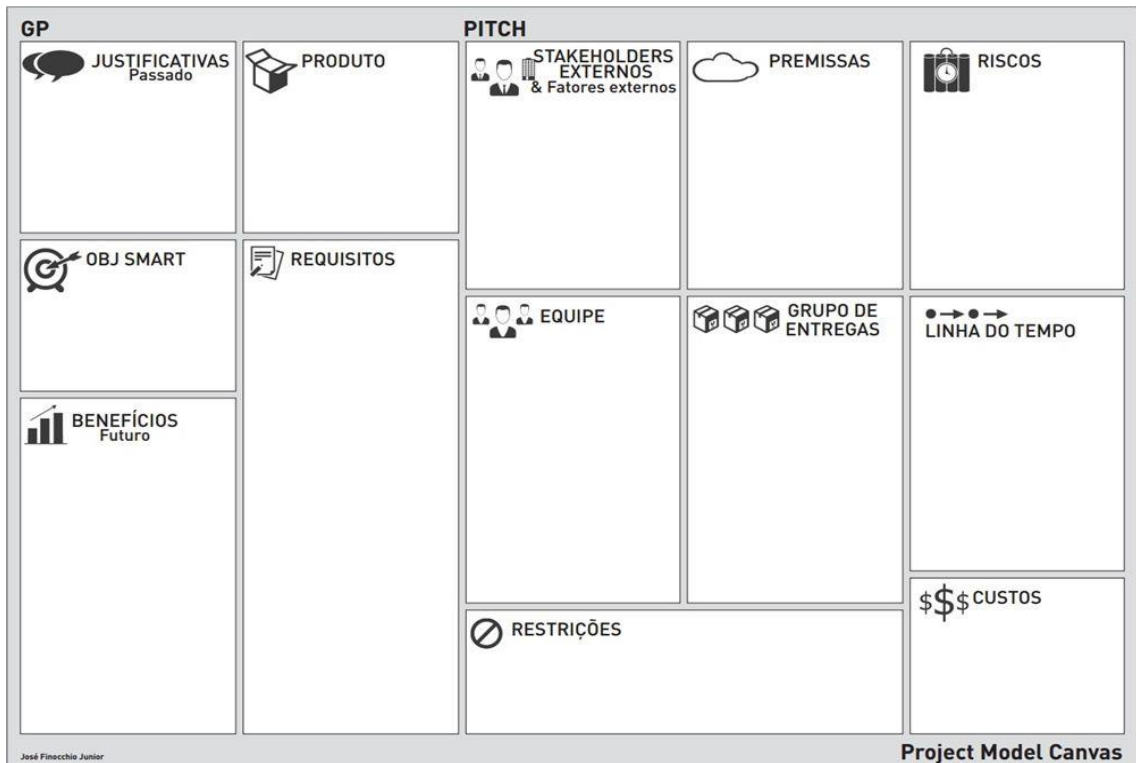


Figura 20 – Diagramação visual do PM CANVAS  
 Fonte: [www.projectbuilder.com.br](http://www.projectbuilder.com.br).

Resumindo, o *Project Model Canvas*, é uma metodologia que proporciona a concepção de projetos de uma forma simplória e organizada, facilitando o processo de produção da equipe, contribuindo para o envolvimento e engajamento de toda a equipe, aumentando a produtividade.

#### 3.4.1.2 PM CANVAS X Plano de Projeto

Basicamente, um plano de projeto é a junção de toda documentação da etapa de planejamento, na maioria das vezes organizada pela por um time de gestão de projetos, submetida a um patrocinador e, então, aprovado (ou não), que tem a finalidade de determinar e estruturar a execução. É encarado, por gerentes e empreendedores como um mero protocolo a ser cumprido.

Se, por um lado, o plano de projeto é apresentado em forma de um documento textual extenso, o PM Canvas é apresentado em formato de um diagrama visual, em uma única página que permita uma visualização clara e ágil, que integra escopo global, exigências, tempo de cada fase do projeto, dentro outros detalhes.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Etapa 1 – Seleção dos Sistemas e Coleta de Informações

O conversor de oxigênio é um equipamento composto por uma carcaça de aço cilíndrica cônica, sem abertura no fundo, revestido com refratário dolomítico ou de Magnesita, e por uma lança de oxigênio refrigerada a água, que injeta oxigênio sobre o gusa líquido com o objetivo de reduzir o teor de carbono e queimar impurezas, obtendo como resultado final o aço.

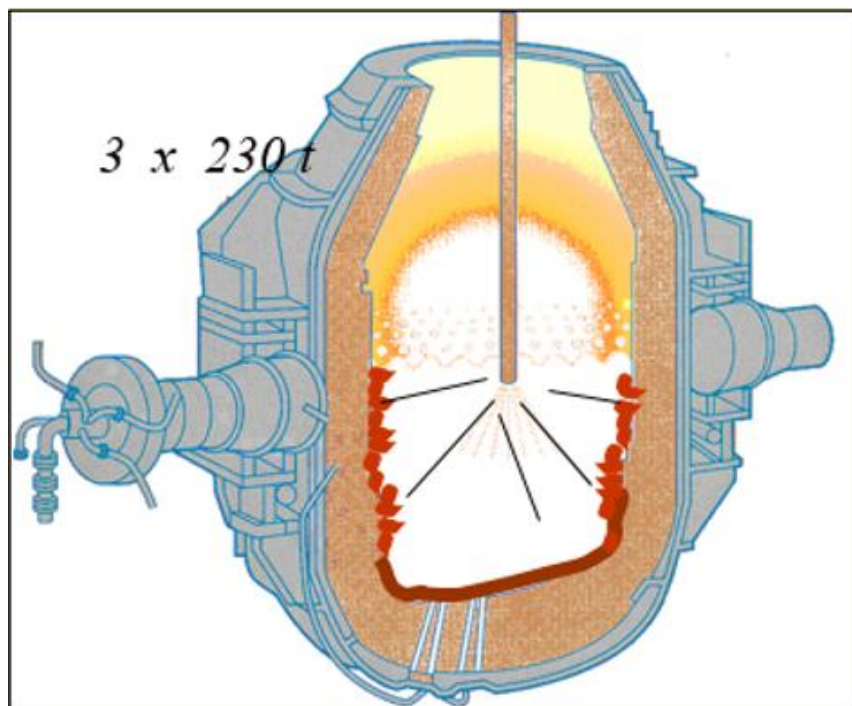


Figura 21 – Conversor características.

Fonte – MONTEIRO, 2016

## 4.2 Etapa 2 – Análise dos Modos de Falha e Efeito

Identificadas as funções e falhas principais, a segunda etapa consiste na identificação das falhas mais recorrentes, assim como os efeitos decorrentes.

A ferramenta FMEA, que consiste em uma ferramenta utilizada para reduzir falhas de produtos e processos e implementar ações para aumentar a confiabilidade dos mesmos.

De acordo com os índices de severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D), para cada causa de falha, de acordo com critérios definidos, foi atribuído a cada um deles, um valor numérico para a severidade do efeito, ocorrência e detecção. Feito isso, foram calculados os coeficientes de prioridade de risco (R), através da equação 5.2.

<p>Equação 5.2. <i>Risco = severidade x ocorrência x detecção</i>  <i>Risco = severidade x ocorrência x detecção Valores</i>  <i>Risco = severidade x ocorrência x detecção Resultado</i></p>
---

## 4.3 Etapa 3 – Identificação das Consequências das Falhas

Realizada a etapa 2 do FMEA, a terceira etapa consiste em responder a quinta pergunta do MMC, sobre a importância da falha. A resposta desta etapa, é fundamental para a execução da etapa 4.

Ao analisar as falhas, segundo Siqueira (2009), deve ficar de forma objetiva qual a importância de cada falha. Cada um dos modos de falha afeta a organização de uma maneira diferente. Algumas podem ter efeito mínimo, outras podem causar grandes prejuízos. O esforço dedicado a cada falha deve ser proporcional a consequência que ela proporciona.

Nesta etapa do processo MCC, os efeitos possíveis das falhas devem ser analisados, por isso aplicamos o diagrama lógico de decisão para definir as prioridades de ações a serem tomadas. As respostas do diagrama são expostas na planilha de tomada de decisão.

#### **4.4 Etapa 4 – Seleção de Tarefas Aplicáveis e Efetivas**

Nesta etapa, são determinadas as tarefas preventivas que são tecnicamente aplicáveis, para prevenir ou corrigir os modos de falhas ou reduzir suas consequências.

De acordo com Siqueira (2009), os critérios de aplicabilidade constam não só da viabilidade técnica, mas da praticidade do que é proposto. A MCC, para ser aplicável, precisa garantir os seguintes critérios: prevenir modos de falha, reduzir taxas de deteriorização, detectar a evolução das falhas e as falhas ocultas, suprir as necessidades e consumíveis do processo, reparar o item após a falha.

#### **4.5 Etapa 5 – Definição da Periodicidade das Tarefas**

Concluída a etapa 4, o próximo passo consiste em responder a oitava questão que o MCC propõe, isto é, definir a frequência ideal para as tarefas de manutenção, melhorias contínuas focando sempre no aumento da produção, diminuição de paradas, etc.


Segundo Siqueira (2009), os resultados obtidos nas etapas anteriores, resulta em um conjunto de atividades aplicáveis e efetivas, que são apropriadas para reduzir ou prevenir as consequências das falhas.

Autores como Siqueira (2009), sugerem a implementação dos métodos estatísticos na definição de periodicidade e recomendam sua utilização quando há o histórico do equipamento.

#### **4.6 Etapa 6 – Comparação Entre o Método Atual e o Proposto**

Nesta etapa, faremos uma comparação entre o plano existente, totalmente realizado de forma corretiva, com as novas propostas do MCC. Esta etapa visa que todos possam observar as diferenças entre os dois planos e motivar os responsáveis a adotar esse novo programa de manutenção

O Quadro 13, registra as informações referentes a comparação das atividades propostas e as atualmente realizadas.

	PLANILHA DE COMPARAÇÃO DE TAREFAS			
	Sistema	Sistema nº	Equipe	Data
	Subsistema	Subsistema	Analista	Data
Item Físico e modo de falha	Descrição da tarefa baseada no MCC	Frequência	Descrição da tarefa Corrente	Frequência
<i>Campo destinado a identificação do item físico e do modo de falha</i>	<i>Campo destinado à descrição das tarefas propostas pela MCC</i>	<i>Campo destinado à identificação da frequência da tarefa proposta</i>	<i>Campo destinado à descrição das tarefas propostas pelo MCC</i>	<i>Campo destinado à identificação da frequência da tarefa corrente</i>

Fonte: Elaborado pelos Autores.

### Quadro 13 – Quadro comparativos das atividades

Quando o quadro estiver completo, será possível realizar quatro comparações essenciais:

1. Comparar as tarefas propostas pelo MCC que já são realizadas no equipamento, ou seja, as tarefas idênticas;
2. Verificar nas tarefas existentes, o que pode ser modificado, vindo de encontro ao proposto pelo MCC;
3. Verificar se alguma das propostas do MCC já é realizada e planejar o que deve ser feito, tendo em vista que é uma nova tarefa a ser implementada;
4. Fazer a comparação da diferença de custo, paradas ou perda/ganho de produção que as mudanças proporcionam.

## **5. ESTUDO DE CASO**

### **5.1 Seleção dos Sistemas e Coleta de Informações**

A implementação da manutenção centrada em confiabilidade, conforme descrito no capítulo 4, foi realizada em uma siderúrgica integrada localizada na cidade de Volta Redonda, cujo os principais produtos são bobinas de aço a quente, bobinas a frio, bobinas revestidas e chapas revestidas. A maior parte da produção é destinada a ao mercado interno, sua exportação em 2018 ficou em torno de 48 mil toneladas.

#### **5.1.1 Seleção da área para realização da MCC**

A criticidade do processo foi o principal fator para seleção da área em questão, pois trata-se de um local onde uma falha no sistema culmina na total paralização do processo produtivo da metalurgia. Vale ressaltar, que por se tratar de um processo intermediário, toda paralização tem como consequência ao não escoamento do gusa recebidos dos altos fornos e também a paralização das máquinas de lingotamento contínuo por falta de aço. Na figura 22, é apresentado a estrutura organizacional da manutenção da aciaria da empresa.

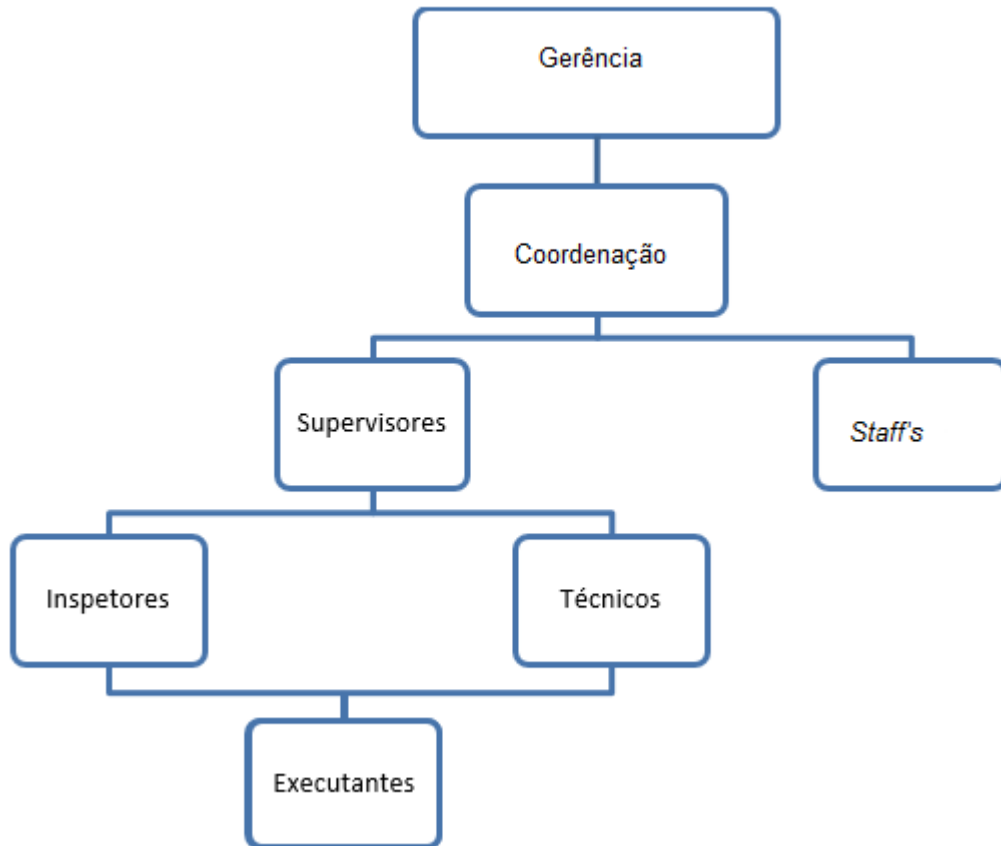


Figura 22 – Estrutura organizacional da manutenção da aciaria  
Fonte: Autor

### 5.1.2 Seleção do equipamento

Em se tratando dos equipamentos utilizados na aciaria, o conversor LD pode ser compreendido como principal, pois é através dele que o gusa é convertido em aço e também por ter um número considerável de paradas emergenciais, gerando um alto custo de manutenção e uma grande perda de produção. Levando em consideração essa importância do equipamento no processo de produção e o tempo de manutenção gasto no mesmo, decidimos por escolher o equipamento em questão para aplicar o processo de Manutenção Centrada em Confiabilidade.

### 5.1.3 Dados coletados

Os dados recolhidos para quantidade de funções e falhas operacionais são apresentados no Quadro 14, representa apenas uma amostra das falhas apresentadas pelo equipamento. Os dados apresentados, representam os principais motivos de parada do equipamento.

Sistema ou Subssistema	Funções	Falhas Funcionais
Sistema OG	4	4
Máquina Retentora de escória	1	1
Carro das Lanças	1	1
Sub-Lança	2	1
Carro de transferencia de metal líquido	2	2

Fonte: Elaborado pelos Autores

Quadro 14 – Funções e Falhas

{ Capacidade de produção da Aciaria: 72 corridas/dia;  
 Capacidade (t/dias): 15840 t/dia.

{ Produção real: 58 corridas/dias;  
 Produção real (t/dias): 12760 t/dia.

- 1 corrida= 220 toneladas;
- Perda de produção em relação o que pode ser produzido e o que é produzido: 19,45%.

Após a coleta de dados, apresentadas acima, a próxima etapa foi de identificação das funções primarias e secundarias exercidas pelo equipamento, assim como as falhas mais comuns, as quais devem ser evitadas através da manutenção.

## 5.2 Análise de Falhas e Efeitos

Nesta etapa, foi realizado a análise da FMEA apresentado no Anexo 1, após ter identificado as funções e falhas, na FMEA identificamos as falhas mais recorrentes e os efeitos.

Os equipamentos em geral, podem ter diversos modos de falhas. Os efeitos dessas falhas descrevem o que acontece quando ocorre um modo de falha. Saber o

modo de falha, é importante para que a equipe de manutenção decida se será evidente ao operador, se apresenta algum risco a segurança, ao meio ambiente, de que modo irá impactar no equipamento, etc.

Na tabela do FMEA, foi atribuído um valor para a severidade do efeito, assim como a probabilidade de a falha ocorrer novamente e a possibilidade de se detectar cada modo de falha.

Através da multiplicação dos valores numéricos de severidade, ocorrência e detecção, encontramos o valor do risco.

Os modos de falhas encontrados através da realização do FMEA, foram classificados por risco através do mapa de riscos no Quadro 15. Nele classificamos os riscos por cores, de acordo com seu grau de importância, conforme já foi explicado no capítulo 3, item 3.2.4.

ITEM/NOME/FUNÇÃO DO PROJETO/ PROCESSO	MODO DE FALHA POTENCIAL	EFEITO (S) DA FALHA EM PODENCIAL	SEVERIDADE	CAUSA (S) POTENCIAL DA FALHA	OCORRÊNCIA	CONTROLE ATUAL DE PREVENÇÃO	CONTROLE ATUAL DE DETECÇÃO	DETECÇÃO
CONVERSOR LD/SISTEMA OG/REFRIGERAÇÃO	VAZAMENTO DE AGUA NO SISTEMA OG	REAÇÃO COM O GUSA/EXPLOSAO		VIDA UTIL DO EQUIPAMENTO VENCIDA		INSPEÇÕES OPERACIONAIS DIARIAS A CADA TURNO	ACOMPANHAMENTO VISUAL	
CONVERSOR LD/SISTEMA OG/LAVAGEM DE GÁS	BAIXA EFICIÊNCIA DE LAVAGEM DE GÁS	DANOS AMBIENTAIS		MATERIAL ADERIDO AO ROTOR DA BOMBA		VERIFICAÇÃO DE VAZÃO ATRAVÉS DE INSTRUMENTOS	INSTRUMENTAÇÃO	
CONVERSOR LD/SISTEMA OG/EXAUSTÃO DE GÁS	DESBALANCEAMENTO NO ROTOR DE EXAUSTAO	PARADA NO PROCESSO PARA REALIZAR CORREÇÃO.		PROCESSO/FALHA NO SISTEMA DE LIMPEZA DO ROTOR		VERIFICAÇÃO DO VALOR DE DESBALANCEAMENTO	INSTRUMENTAÇÃO	
CONVERSOR LD/MAQUINA RETENTORA DE ESCÓRIA	AGARRAMENTO DENTRO COM CONVERSOR	PARADA DO PROCESSO		FALHA OPERACIONAL/FALTA DE MANUTENÇÃO		REALIZAÇÃO DE TESTES DE POSIÇÃO/MANUTENÇÃO ADEQUADA		
CONVERSOR LD/CARROS DAS LANÇAS DE OXIGÊNIO	DESCENTRALIZAÇÃO	DANOS AO EQUIPAMENTO		PERDA DE AUSTES DA LANÇA		VERIFICAÇÃO DA CENTRAGEM ATRAVES DE CAMERA DE MONITORAMENTO		
CONVERSOR LD/SUB-LANÇA	DESCENTRALIZAÇÃO/LANÇA FURADA	INUTILIZAÇÃO/PARADA DO EQUIPAMENTO		PERDA DE AUSTES DA LANÇA		INSPEÇÃO VISUAL		
CORVERSOR LD/CARRO DE TRANFERENCIA DE METAL LIQUIDO	QUEBRA NO ACIONAMENTO	INUTILIZAÇÃO/PARADA DO EQUIPAMENTO		TRILHOS SUJOS COM CASCÃO		INSPEÇÃO VISUAL	INSPECAO VISUAL	
CORVERSOR LD/CARRO DE TRANFERENCIA DE METAL LIQUIDO	QUEBRA DO TRILHO	INUTILIZAÇÃO/PARADA DO EQUIPAMENTO		AO REALIZAR LIMPEZA A MAQUINA COLIDE COM O TRILHO		ACOMPANHAMENTO DO OPERADOR AO RELIZAR LIMPEZAS	INSPECAO VISUAL	
CONVERSOR LD/SISTEMA OG /LAVAGEM DE GÁS	ROMPIMENTO DE AGULHA DO VENTURI	VAZAMENTO DE AGUA/PARADA DO PROCESSO		AGARRAMENTO		LIMPEZA NOS DUTOS DE LAVAGEM		

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Quadro 15 – Mapa de risco

Para a realização do mapa de risco, foi selecionado as principais causas de falhas e paradas do equipamento, após a realização do FMEA e classificação do risco das falhas, foi realizado a etapa visual para classificação das falhas. O mapa de risco, é utilizado pelo equipamento de gestão para analisar as principais falhas do equipamento e projetar qual caminho crítico a ser seguido. Na tabela apresentada pelos alunos, as cores vermelho e marrom, classificam em maior potencial de criticidade, já as verdes e azuis, determinam as falhas com menor probabilidade de causar perda de função do equipamento.

Esta etapa responde as questões sobre o que cada falha funcional causa e o que acontece quando ocorre cada falha, respectivamente as perguntas 3 e 4 propostas pelo MCC.

### 5.3 Identificação das Consequências das Falhas

Realizado o FMEA, a etapa 5.1, tem por objetivo responder a quinta pergunta: “Qual a importância de cada falha?”. Esta é muito importante para responder a próxima etapa, já que se as consequências das falhas identificadas forem muito graves, os esforços para preveni-las, solucionar ou eliminar, devem ser muito maiores.

Para a realização desta etapa, foi usado o diagrama de decisão da manutenção de confiabilidade centrada, as respostas obtidas no diagrama foram anotadas na árvore de decisão, Quadro 16.

Árvore de Decisão								
Funções	Falhas	Modos de falha	Item	Modo de falha	Visível e Evidente	Segurança Ambiental	Econômico Operacional	Categoria
1	9	14	CONVERSOR LD/SISTEMA OG/REFRIGERAÇÃO	VAZAMENTO DE AGUA NO SISTEMA OG	Sim	Não	Sim	EEO
1	10	14	CONVERSOR LD/SISTEMA OG/LAVAGEM DE GÁS	BAIXA EFICIÊNCIA DE LAVAGEM DE GÁS	Não	Sim	Sim	OEO/OSA
1	10	14	CONVERSOR LD/SISTEMA OG/EXAUSTÃO DE GÁS	DESBALANCEAMENTO NO ROTOR DE EXAUSTAO	Não	Sim	Sim	OEO/OSA
1	8	20	CONVERSOR LD/MAQUINA RETENTORA DE ESCÓRIA	AGARRAMENTO DENTRO COM CONVERSOR	Sim	Não	Sim	EEO
1	15	23	CONVERSOR LD/CARROS DAS LANÇAS DE OXIGÊNIO	DESCENTRALIZAÇÃO	Sim	Não	Sim	EEO
2	15	19	CONVERSOR LD/SUB-LANÇA	DESCENTRALIZAÇÃO/LANÇA FURADA	Sim	Sim	Sim	EEO/ESA
2	7	13	CORVERSOR LD/CARRO DE TRANFERENCIA DE METAL LIQUIDO	QUEBRA NO ACIONAMENTO	Não	Não	Sim	OEO
2	7	13	CORVERSOR LD/CARRO DE TRANFERENCIA DE METAL LIQUIDO	QUEBRA DO TRILHO	Sim	Não	Sim	EEO
1	10	14	CONVERSOR LD/SISTEMA OG /LAVAGEM DE GÁS	ROMPIMENTO DE AGULHA DO VENTURI	Sim	Sim	Sim	EEO/ESA

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Quadro 16 - Árvore de decisão

Onde, ESA: segurança/ambiental Evidente; OSA: segurança/ambiental oculta; EEO: operacional/econômico evidente; OEO: operacional/econômico oculta.

Nesta etapa, para cada modo de falha foi questionado sobre como ele poderia ocorrer se a tarefa não for executada, isso nos garantiu não só rever os critérios que são aplicados atualmente, mas também, e surgir novos modos de falhas, mas o principal é que através deste conseguimos eliminar atividades desnecessárias.

Na identificação das consequências através da árvore de decisão, percebemos a importância do sistema analisado. As falhas impactam não economicamente no processo, mas também na segurança do meio ambiente do operador. No conversor, a maior parte dos efeitos estão relacionados com econômico e operacional.

#### **5.4 Definição da Periodicidade das Tarefas**

A definição da periodicidade consiste em realizar um plano de manutenção com as tarefas novas propostas através do desenvolvimento da MCC e as tarefas já correntes no equipamento. Através das informações das seleções de tarefas aplicáveis, elaborou-se um plano de manutenção apresentado no Quadro 17, de modo a suprir da melhor maneira possível as necessidades do equipamento.

Um plano de manutenção é um documento que registra todas as atividades de manutenção bem como a periodicidade, localização do equipamento, materiais e peças que deverão ser utilizados e quais são os profissionais responsáveis pela execução das atividades. Desse modo, o plano de manutenção deve ser elaborado em forma de roteiro, o que servirá de apoio para todos os profissionais envolvidos. Este plano é considerado como sendo uma das peças mais importantes dentro da gestão industrial, sendo o principal responsável pelo índice de disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos.

Por conta da falta do histórico de manutenção ocorridas no equipamento em estudo, não foi possível realizar estatisticamente a periodicidade das tarefas de manutenção. Sendo assim, realizamos de forma empírica através de opinião de especialistas em manutenção, a periodicidade e o método de manutenção aplicado.

Com a finalização da sexta etapa, respondemos a última questão proposta pela MCC, isto é, a definição da frequência das tarefas a serem executadas.

Nº	EQUIPAMENTOS	COMPONENTES	FORMAS DE INSPEÇÃO	MANUTENÇÃO APLICADA	PERIODICIDADE EM SEMANAS					
					1	2	3	4	5	6
1	Sistema OG	Painéis Refrigerados	Vida Útil / Termografia	Preditiva/Preventiva						
		Exaustores	Visual / Análise de Vibração							
		Saia Móvel	Vida Útil / Termografia							
		Cofa Fixa	Vida Útil / Termografia							
		Sistema Hidráulico	Análise Química / Vida Útil							
		Rodas / Rolete	Visual							
2	Carro da Lança	Mangotes	Vida Útil / Visual	Preditiva/Preventiva						
		Viga Fixa	Visual							
		Viga Móvel	Visual							
		Viga Móvel	Visual							
	Sub-Lança	Viga Móvel	Visual	Preditiva/Preventiva						
		Holder	Visual							
		Lança	Visual							
		Acionamento	Visual / Ruído							
4	Máquina Retentora de Escória	Gincho	Visual / Ruído	Preditiva/Preventiva						
		Porta	Visual / Termografia							
		Estrutura	Visual							
		Rodeiros	Visual							
		Acionamento	Visual / Ruído							
5	Carro Transporte Metal Líquido	Redutor	Visual / Ruído	Preditiva/Preventiva						
		Trilhos	Visual / Ultra-som							

Fonte: Elaborado pelos Autores

Quadro 17– Plano de manutenção elaborado.

## 5.5 Comparação entre o plano existente com o proposto através do MCC

Nesta etapa, percebemos que o plano de manutenção existente está direcionado ao estado do equipamento, com foco em mantê-lo em funcionamento. Através do planejamento feito com o MCC, Quadro 18, o foco na manutenção volta-se a preservação das funções do equipamento com o objetivo de preservá-las, visando ao final de todo o processo a redução em cerca de 20% nas paradas corretivas do processo.

Quadro 18 – Comparação entre os planos de manutenção

Sistemática atual de manutenção da empresa	MCC
Ênfase no item físico.	Ênfases nas funções do sistemas e nos subsistemas funcionais.
Enfoque em tarefas de manutenção preventivas.	Enfoque em tarefas de manutenção preventiva, preditiva, de melhorias e opção de operar até a falha.
Planejamento de toda a manutenção, definido a partir da inspeção dos equipamentos.	Somentes tarefas de manutenção baseadas nas condições definidas a partir das inspeções dos equipamentos.
Periodicidade das tarefas definidas a partir de experiência própria.	Periodicidades das tarefas definidas a partir da opinião de especialistas e uso de fórmulas matemáticas específicas.
Itens físicos reunidos por setores.	Itens físicos reunidos em unidades funcionais.
Definição das tarefas de manutenção, envolvendo apenas consequências operacionais.	Definição das tarefas de manutenção, envolvendo as consequências operacionais, segurança humana, integridade ambiental e econômica.
Ênfase na visão reativa da manutenção.	Ênfase na visão pró-ativa da manutenção.

Fonte: Elaborado pelos Autores.

## 6 CONCLUSÃO

O aumento da competitividade empresarial nos dias atuais culminou na necessidade de um diferencial dentro das empresas, desse modo, a gestão de manutenção aliada a produção promete aumentar a disponibilidade dos equipamentos. Por esse motivo, o presente trabalho objetivou apresentar o conceito de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), bem como mostrar os principais elementos dessa metodologia e etapas para sua implantação.

A Manutenção Centrada em Confiabilidade é focada principalmente na preservação da função do equipamento, mas também pode ser estendida para análise de tópicos e problemas de suporte logístico. No caso aplicado em uma aciaria, foram identificados os principais sistemas, funções, falhas funcionais, componentes, modo de falha e efeito. Foram definidas também estratégias de acordo com a periodicidade, mitigando as paradas por quebra que prejudicam o funcionamento do equipamento. Com esse plano de manutenção, estimamos reduzir cerca de 20% do tempo de paradas por manutenções corretivas.

Vale ressaltar que toda metodologia que vise melhorar os processos, aumentando a produtividade dentro de uma companhia, necessita ser monitorada. Indicadores como, MTBF – Mean Time Between Failures (Tempo médio entre falhas), MTTR – Mean Time To Repair (Tempo médio de reparo), confiabilidade horizontal e gráficos/relatórios, apresentam os diagnósticos dos equipamentos e aumentam a confiabilidade dos processos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, L. A. **Manual de Siderurgia**. Vol I. São Paulo: Produção, Editora Arte & Ciências, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Norma Brasileira **Regulamentadora 5464/1981**. Eletrotécnica e eletrônica - Interferências eletromagnéticas

FOGLIATTO, F. S. RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro. Elsevier. 2009.

GUIA PMBOK – Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos 5ª ed. 2013.

KARDEC, A.; NASCIF J. **Manutenção: função estratégica**. 3ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2010. 384 p.

MACHADO, M. L. P. **Processos Pneumáticos de Fabricação do aço**. CEFET-ES, Vitória-ES: 2003.

MOURÃO, M. B. **Siderurgia para não siderurgistas**. ABM, São Paulo-SP: 2007

MOURÃO, M. B.; YOKOJI, A.; MALYNOWSKY, A. **Introdução a Siderurgia**. São Paulo: Abm - Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2007. 428 p.

SIQUEIRA, I. P de. **Manutenção Centrada na Confiabilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda, 2012. 373 p.

SOEIRO, M. V. A.; OLIVIO, A.; LUCATO, A. V. R. **Gestão da manutenção**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2017.

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