

# PROPOSTA E AVALIAÇÃO DE UM MODELO DE REFERÊNCIA DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC) VOLTADO À INDÚSTRIA SIDERÚRGICA\*

Fábio André Brand<sup>1</sup>.

## Resumo

As empresas de classe mundial, para atingir a excelência, buscam inovações para maximizar a utilização dos seus ativos. Para estas empresas, os departamentos de manutenção assumem uma função estratégica e a utilização de metodologias como a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) tem contribuído muito para a obtenção de um desempenho positivo em seu sistema produtivo. Apesar das inúmeras vantagens da aplicação da MCC, identificou-se uma oportunidade de melhoria nesta metodologia, na etapa de aplicação do diagrama de decisão para escolha das tarefas de manutenção. Pois é dentro deste contexto que se insere o presente trabalho, que busca consolidar o processo de implementação da MCC, com a introdução de melhorias na etapa mencionada, voltadas principalmente para a sua utilização na indústria siderúrgica. Inicialmente, apresenta-se uma abordagem sobre os conceitos e métodos empregados na MCC tradicional. Em seguida, as melhorias propostas foram detalhadas junto com um estudo de caso, onde a MCC, já contendo os métodos elaborados neste trabalho, foi aplicada em uma empresa siderúrgica, sendo que os resultados obtidos demonstraram a adequação desta proposta às necessidades deste ramo industrial.

**Palavras-chave:** MCC; Confiabilidade; Manutenção.

## PROPOSAL AND EVALUATION OF A REFERENCE MODEL OF RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) FOR STEEL INDUSTRY APPLICATIONS

### Abstract

World-class companies, to achieve excellence, are looking for innovations to maximize the utilization of their assets. For these companies, maintenance departments play a strategic role and the use of methodologies such as Reliability Centered Maintenance (RCM) has contributed greatly to achieving a positive performance in their production system. In spite of the many advantages of the RCM application, one opportunity for improvement in this methodology was identified, in the step of application of the decision diagram to choose the maintenance tasks. Within this context that the present work is inserted, which seeks to consolidate the process of implementation of the RCM, with the introduction of improvements in the step mentioned, focused mainly on the steel industry. Initially, an approach is presented on the concepts and methods employed in traditional RCM. Next, the proposed improvements were detailed along with a case study, where RCM, already containing the method elaborated in this work, was applied in a steel company, and the results obtained demonstrated the adequacy of this proposal to the needs of this industrial branch.

**Keywords:** RCM; Reliability; Maintenance.

<sup>1</sup> Engenheiro Mecânico, Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial, Chefe de Engenharia de Manutenção, Gerdau, Charqueadas, Rio Grande do Sul, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

O cenário mundial atual é de aceleradas modificações no ambiente produtivo industrial, principalmente para o ramo siderúrgico, onde produzir com qualidade, baixo custo e maior capacidade de resposta são imperativos para a sobrevivência de qualquer empresa. A metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) passou então a ser muito utilizada, tornando-se uma ferramenta fundamental no processo de gerenciamento da manutenção.

Este trabalho possui como objetivo principal a proposição e avaliação de um modelo de referência para a MCC, com a introdução de um novo método para a etapa de aplicação do diagrama de decisão da MCC, buscando sua melhor adaptação à gestão da manutenção em empresas do ramo siderúrgico. O modelo proposto foi aplicado em uma empresa multinacional produtora de aço, através da elaboração de um estudo de caso para avaliação deste modelo quanto a sua adequação às particularidades deste ramo industrial.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Considerações iniciais sobre a Manutenção Centrada em Confiabilidade

A Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), do inglês Reliability Centered Maintenance (RCM), começou a ser desenvolvida na indústria aeronáutica no início da década de 1960. Conforme Moubray [1], o objetivo principal era estabelecer um processo racional e sistemático de análise que permitisse a definição de tarefas de manutenção de equipamentos para garantir a confiabilidade e segurança operacional ao menor custo possível. Segundo este mesmo autor, caso a MCC seja corretamente aplicada, pode-se esperar a obtenção dos seguintes resultados:

- Maior segurança humana e proteção ambiental;
- Melhor desempenho operacional (quantidade, qualidade do produto/serviço);
- Maior efetividade do custo da manutenção;
- Aumento da vida útil dos equipamentos críticos;
- Criação de um banco de dados completo sobre a manutenção;
- Maior motivação das equipes de manutenção e operação;

### 2.2 As etapas da MCC

O quadro 1 ilustra as sistemáticas de aplicação da MCC propostas por alguns autores, observando-se que existe pouca variação entre um procedimento e outro.

**Quadro 1.** Comparação das sistemáticas de aplicação da MCC

Etapas	Smith (1993)	Moubray (2000)	NASA (2000)	Campbell, Jardine e Mcglynn (2011)
1	Seleção do sistema e coleta de informações.	Definição das funções e padrões de desempenho.	Identificação do sistema e suas fronteiras	Selecionar o sistema para análise.
2	Definição das fronteiras do sistema	Definição dos modos de falha.	Identificação dos sub-sistemas e componentes.	Determinar as funções dos sistemas
3	Descrição do sistema	Descrição da causa da falha funcional.	Examinar as funções	Determinar as falhas funcionais dos itens.
4	Funções e falhas funcionais	Descrição das consequências das falhas.	Definir falhas e modos de falha.	Determinar os modos de falha de cada componente.
5	FMEA - Análise dos modos, efeitos e criticidade das falhas.	Definição da importância de cada falha.	Identificar as consequências da falha.	Identificar as consequências das falhas.
6	Análise da árvore lógica.	Seleção das tarefas preditivas e preventivas.	Análise do diagrama lógico de decisão.	Usar Diagrama de decisão para selecionar as tarefas de manutenção.
7	Seleção das tarefas preventivas	Seleção das tarefas alternativas.	Seleção das tarefas preventivas.	Documentar resultados e monitorar a aplicação.

Fonte: Adaptado de Smith (1993), Moubray (2000), NASA (2000) e Campbell, Jardine e Macglynn (2011)

## 2.3 Deficiências identificadas na MCC

Apesar das inúmeras vantagens da utilização da MCC apresentadas nas seções anteriores, alguns autores como Selvik e Aven [2] ressaltam que a MCC possui deficiências, dentre elas a mais citada é a tratativa dada às questões de segurança e meio ambiente, análise de risco, além do custo e o tempo de aplicação, sendo que estas deficiências ficam ainda mais evidentes na etapa 6 (Aplicação do diagrama de decisão para escolha das tarefas de manutenção), conforme quadro 1 (coluna da direita/marcada). Na sequência, estas deficiências serão detalhadas, além da proposta elaborada neste trabalho que busca melhorar esta etapa 6, através de um método simples e prático, mantendo como premissa a manutenção da qualidade dos resultados da MCC tradicional.

### 2.3.1 Deficiência na “Etapa 6” – Baixa assertividade e elevado tempo necessário para a escolha das estratégias de manutenção usando o diagrama de decisão tradicional da MCC

Após a conclusão do estudo FMEA, conforme Campbell, Jardine e Macglynn [3], inicia-se a Etapa 6: “Aplicação do diagrama de decisão da MCC”, onde são definidas as estratégias de manutenção para cada item e seus respectivos modos de falha definidos na análise FMEA. Analisando-se um diagrama de decisão típico da MCC (Figura 1), verifica-se que as decisões são tomadas com base em perguntas do tipo “Sim/Não”.

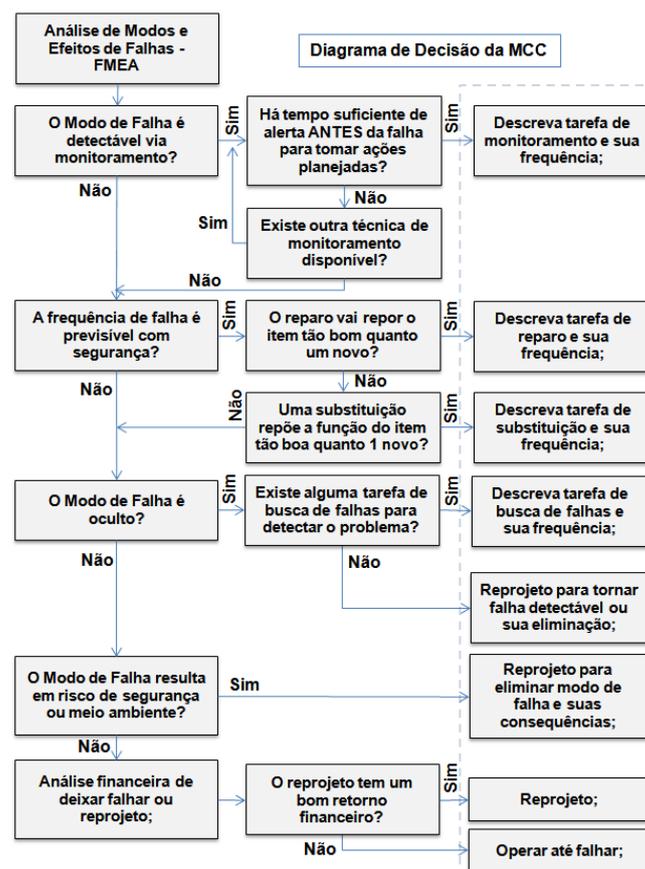


Figura 1. Diagrama de Decisão Tradicional da MCC

Fonte: Adaptado de Campbell, Jardine e McGlynn [3]

Conforme indicado por autores como Hauge e Johnston apud Raposo [4], existem áreas cinzentas entre os extremos “sim” e “não”. Além disso, cada analista da MCC pode responder esta questão diferentemente para a mesma situação, além de demandar um elevado tempo para definir-se qual a estratégia de manutenção a ser

utilizada. As principais desvantagens da utilização de questões dicotômicas do tipo “Sim/Não” são:

- Polarização de respostas e/ou possibilidade de forçar respostas em relação a um leque de opções;
- Dependendo de como a pergunta é feita, questões com respostas dicotômicas são fortemente passíveis de erros sistêmicos;
- Pode levar a erros de medição, se o tema que foi tratado de forma dicotômica quando na verdade apresenta várias alternativas, por exemplo, entre a concordância total e discordância total;

Portanto, estas deficiências da MCC na sua etapa 6, para o caso de empresas do ramo siderúrgico, são ainda mais críticas, devido aos elevados riscos inerentes às falhas potenciais nos inúmeros equipamentos utilizados neste tipo de indústria, onde decisões erradas sobre estratégias de manutenção a serem utilizadas podem levar a graves consequências para o processo e também para a segurança humana e ambiental.

#### 2.4 Descrição do Método Alternativo Proposto para a Etapa 6: Diagrama Criticidade x Estratégias de Manutenção

Basicamente neste novo método proposto, chamado de “Diagrama Criticidade x Estratégias de Manutenção”, as decisões serão tomadas conforme a criticidade ABC de cada ativo. Para efeitos deste estudo, adotaram-se as seguintes definições de criticidade dos ativos:

**Quadro 2.** Definições das criticidades ABC

Definições de Criticidade		
A	B	C
Ativos físicos cujas falhas podem causar acidentes que provoquem grandes prejuízos a pessoas, meio ambiente, econômicos e sociais, além de interrupções significativas no processo produtivo. O foco da manutenção para este tipo de ativo deve ser de Confiabilidade Máxima, ou seja, execução de manutenções programadas no menor tempo possível e inexistência de interrupções não programadas.	Ativos físicos cujas falhas podem causar acidentes que provoquem prejuízos intermediários a pessoas, meio ambiente, econômicos e sociais, além de interrupções importantes no processo produtivo. A manutenção, neste tipo de ativo, deve possuir uma abordagem do tipo Disponibilidade Máxima, significando inexistência de interrupções não programadas ou emergenciais.	Ativos físicos cujas falhas podem causar acidentes ou interrupções que provoquem prejuízos leves ou nenhum prejuízo a pessoas, meio ambiente, econômicos e sociais. A abordagem da manutenção, neste caso, deve ser do tipo mínimo aporte de recursos (pessoas, materiais e equipamentos), redirecionando os recursos para ativos de maior importância.

Fonte: Elaborado pelo Autor

Portanto, para utilização deste método, é premissa fundamental que os ativos sejam classificados nestas 3 categorias A, B ou C. Para esta classificação, recomenda-se a utilização de critérios como:

- SE - Segurança;
- MA - Meio Ambiente;
- IP - Impacto no Processo Produtivo;
- CO - Custo Operacional

Na sequência, segundo Campbell, Jardine e Mcglynn [3], deve-se elaborar um estudo FMEA neste ativo, conforme quadro 1. No entanto, a aplicação pura do FMEA conduz a um caráter meramente qualitativo, não escalonando de forma clara e quantificada cada um dos modos de falha definidos. Por isso, em detrimento ao FMEA puro, propõe-se neste estudo o uso da metodologia FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis), que contempla uma análise quantitativa da

severidade, probabilidade de falha e detectabilidade para cada componente/modo de falha listado, gerando um índice de risco RPN (Risk Priority Number) que também contribui para uma priorização das ações a serem tomadas pela empresa após a conclusão da análise. Baseando-se na norma SAE-J1739 [5], a metodologia FMECA será aplicada, nesta pesquisa, em 3 etapas, conforme segue.

#### ETAPA 1. Identificação e caracterização do ativo

Esta etapa 1 do FMECA, corresponde basicamente as etapas 2 a 5 da MCC tradicional apresentada no quadro 1 (coluna marcada), sendo implementada em 5 passos, conforme segue:

**Passo 1.1** Decomposição do ativo em componentes: neste passo, devem-se listar todos os componentes para cada ativo analisado. Componentes são definidos como as menores partes intercambiáveis de um mesmo sistema.

**Passo 1.2** Definição das funções principais de cada componente: consiste em fornecer uma descrição textual, contendo os objetivos ou finalidades dos componentes, na visão dos seus usuários. Conforme Moubray [1], deve-se responder a seguinte pergunta, para cada componente: “Quais as funções e níveis de desempenho esperados para cada componente no contexto operacional atual?”.

**Passo 1.3** Levantamento dos modos de falha: neste passo, devem-se descrever todos os modos de falha para cada componente sob análise, ou seja, descrever de que maneira as falhas podem ocorrer ou apresentar-se no componente, associando-o sempre ao evento ou fenômeno responsável pela mudança do estado normal do componente para seu estado anormal.

**Passo 1.4** Determinar os efeitos de cada modo de falha: devem-se identificar os efeitos através dos impactos nas funções dos componentes quando cada modo de falha se apresenta.

**Passo 1.5** Causas das falhas: busca-se neste passo descrever o porquê do componente apresentar cada modo de falha listado, identificando todas as possíveis causas para a ocorrência do mesmo, buscando sempre desdobrar em detalhes como o mecanismo de falha se apresenta ao longo da vida operacional do componente.

#### ETAPA 2. Determinação do RPN – Risk Priority Number (Número de Prioridade de Risco)

O quadro 3 apresenta os fatores e um comparativo entre o modo tradicional de cálculo do RPN (Norma SAE-J1739) e o método proposto neste trabalho.

**Quadro 3.** Comparativo das formas de cálculo do RPN

Método:	Cálculo Tradicional do RPN (SAE-J1739)	Método Proposto para Cálculo do RPN
Fórmula:	$RPN = S \times O \times D$	$RPN = PF \times DT$
Definições	S - Severidade do modo de falha;	
	O – Ocorrência ou probabilidade de ocorrência (frequência) do modo de falha.	PF – Probabilidade de ocorrência (Frequência) do modo de falha listado. Este fator será definido utilizando-se o <b>Quadro 4</b> .
	D – Detectabilidade, ou seja, representa o grau de facilidade de detecção do modo de falha analisado;	DT – Detectabilidade, representa o grau de facilidade de detecção do modo de falha analisado. Este fator será definido utilizando-se o <b>Quadro 5</b> .

Fonte: SAE-J1739 [5] e elaborado pelo Autor.

O fator S – Severidade foi suprimido na metodologia FMECA proposta neste trabalho, considerando-se que a severidade da falha de um componente é similar a severidade da falha de todo o ativo em questão, pois normalmente os componentes

fazem parte de um mesmo sistema interligado, sendo que a falha de um causará a falha de todo o conjunto/ativo sob análise. Conforme descrito por Cheng et al [6], nos novos tipos de sistemas, os diferentes componentes são interligados e em constata interação entre si. Por isso, o fator severidade não será analisado novamente na metodologia FMECA proposta, pois esta análise já foi realizada quando o ativo foi classificado nas categorias A, B ou C. O mesmo não é válido para os fatores PF (Probabilidade de Ocorrência) e DT (Detectabilidade), pois ambos serão analisados de forma individualizada para cada componente do ativo sob análise. Com isso, em vez de três, faz-se a análise somente de dois fatores, reduzindo assim o tempo de análise e de aplicação da metodologia FMECA. Os quadros 4 e 5 apresentam os valores a serem considerados para PF e DT.

**Quadro 4.** Detalhamento do fator PF – Probabilidade de Falha

MCC		Fator PF - Probabilidade de Falha	
Qual a probabilidade de ocorrência de falhas:		Valor	
Muito Frequente - 1 Falha ou mais por MÊS (MTBF <= 30 dias);		10	
Frequente - 1 Falha a cada 6 MESES (30 < MTBF <= 180 dias);		8	
Pouco Frequente - 1 Falha a cada 1 ANO (180 < MTBF <= 360 dias);		6	
Rara - 1 Falha a cada 2 ANOS (360 < MTBF <= 720 dias);		4	
Remota - Não esperado ocorrer durante a vida útil do sistema (MTBF >= 720 dias);		2	

Fonte: adaptado de Smith e Mobley [7].

**Quadro 5.** Detalhamento do fator DT – Detectabilidade.

MCC		Fator DT - Detectabilidade	
Qual a facilidade de detecção do modo de falha:		Valor	
Muito difícil detecção: requer testes específicos em oficina ou bancada de testes.		10	Não Detectável
Difícil detecção: requer inspeção detalhada do item ou testes em campo.		8	
Detectável pelo <u>manendedor</u> em sua rota de inspeção detalhada.		6	Detectável
Detectável pelo <u>operador</u> em uma rota de inspeção detalhada.		4	
Facilmente detectável pelo <u>operador</u> em sua rotina normal de operação.		2	

Fonte: adaptado de Ramli e Arffin [8].

ETAPA 3. Definição das estratégias de manutenção para cada componente – “Diagrama Criticidade x Estratégias de Manutenção”

Após o cálculo do RPN para cada componente listado, inicia-se a análise de cada modo de falha para determinar as ações de manutenção mais adequadas, buscando o aumento da confiabilidade do item considerado.

Conforme descrito na seção 2.3.1, a metodologia tradicional de MCC orienta que para determinarem-se as ações de manutenção deve-se seguir um diagrama de decisão do tipo “Sim/Não”. No entanto, nesta pesquisa, será utilizado um novo método proposto chamado de “Diagrama Criticidade x Estratégias de Manutenção”. Neste método, basicamente cada modo de falha será analisado de acordo com a classificação ABC do ativo previamente realizada na etapa 1 da MCC, e também quanto a probabilidade de falha e detectabilidade dos modos de falha descritos. Os

quadros 6, 7 e 8, elaborados neste trabalho, apresentam as estratégias/tarefas de manutenção a serem adotadas para cada ativo/componente, conforme sua criticidade ABC.

Com isso, para cada componente e modos de falha listados, inicialmente verifica-se qual é a Probabilidade de Falha PF na coluna da esquerda, sendo o passo seguinte verificar se a falha é detectável ou não (Valores de DT= 2, 4 e 6 definem falha Detectável e valores de DT= 8 e 10 definem falha Não Detectável), obtendo-se nas células centrais quais seriam as estratégias de manutenção mais adequadas para cada combinação de valores de PF e DT.

Desta forma, elimina-se a necessidade de seguir um diagrama de decisão do tipo “sim/não”, podendo-se assim obter a melhor estratégia/tarefa a ser adotada para cada situação de forma direta, simples e rápida, tornando a aplicação da MCC menos dispendiosa em termos de tempo e custo, além de reduzir o desgaste moral dos integrantes do time de aplicação.

**Quadro 6.** Estratégias de manutenção para ativos de Criticidade A

Quadro A: Determinação das Estratégias de Manutenção: Criticidade A - Ativo Crítico		
PF ↕ Probabilidade de Falha	<u>Características da Classe:</u> Necessidade de operar em plena capacidade, sempre que solicitado, por questões de segurança, meio ambiente ou produção.	
	<u>Abordagem:</u> Confiabilidade Máxima - execução de manutenções programadas com menor tempo possível e inexistência de interrupções não programadas.	
	<b>Detectável ( 2 / 4 / 6 )</b>	<b>Não Detectável ( 8 / 10 )</b>
10	1 / mês <u>Manutenção Baseada na Condição (MBC):</u> 1- Definir Inspeção Diária de Manutenção;	<u>Reprojeto:</u> 1- Reprojeto para tornar falha detectável; 2- Reprojeto para reduzir severidade das falhas; 3- Reprojeto para reduzir probabilidade de falhas;
8	1 / 6 Meses 2- Definir Manut. Preventivas para minizar falhas; 3- Definir Manut. Preventivas nos sistemas de proteção;	
6	1 / Ano <u>Manutenção Baseada na Condição (MBC):</u> 1- Definir Inspeção Preditiva;	<u>Manutenção Baseada no Tempo (MBT):</u> 1- Definir Manutenções Preventivas para minizar falhas; 2- Definir Manutenção Corretiva programada (substituição);
4	1 / 2 Anos 2- Definir Manut. Preventivas - minizar frequencia falhas;	<u>Manutenção Baseada na Condição (MBC):</u> 1- Definir procedimento de inspeção específico para detectar falhas;
2	1 / >2 anos <u>Manutenção Baseada no Tempo (MBT):</u> 1- Definir Manut. Corretiva programada (substituição); 2- Definir Manut. Preventivas - minizar frequencia falhas;	

Fonte: elaborado pelo Autor

**Quadro 7.** Estratégias de manutenção para ativos de Criticidade B

Quadro B: Determinação das Estratégias de Manutenção: Criticidade B - Ativo Importante		
PF ↕ Probabilidade de Falha	<u>Características da Classe:</u> A falta do ativo afeta diretamente o processo produtivo, podendo comprometer a qualidade ou quantidade produzida.	
	<u>Abordagem:</u> Disponibilidade Máxima - inexistência de interrupções não programadas ou emergenciais.	
	<b>Detectável ( 2 / 4 / 6 )</b>	<b>Não Detectável ( 8 / 10 )</b>
10	1 / mês <u>Manutenção Baseada na Condição (MBC):</u> 1- Definir Inspeção Diária do Operador;	<u>Reprojeto:</u> 1- Avaliar para reduzir severidade/probabilidade falhas <u>Manutenção Baseada no Tempo (MBT):</u> 1- Definir Manutenções Preventivas para minizar falhas; 2- Definir Procedimentos - Corretivas não-programadas;
8	1 / 6 Meses 2- Definir Manut. Preventivas para minizar falhas; 3- Definir Manut. Preventivas nos sistemas de proteção;	
6	1 / Ano <u>Manutenção Baseada na Condição (MBC):</u> 1- Definir Inspeção Preditiva;	<u>Manutenção Baseada no Tempo (MBT):</u> 1- Definir Manutenção Corretiva programada (substituição); 2- Definir Procedimentos - Corretivas não-programadas;
4	1 / 2 Anos 2- Definir Manut. Preventivas - minizar frequencia falhas;	
2	1 / >2 anos <u>Manutenção Baseada no Tempo (MBT):</u> 1- Definir Manut. Corretiva programada (substituição); 2- Definir Manut. Preventivas - minizar frequencia falhas;	<u>Manutenção Corretiva Programada (MCP):</u> 1- Incluir no Plano de Reforma Anual (Corretiva Programada - Substituição);

Fonte: elaborado pelo Autor

**Quadro 8. Estratégias de manutenção para ativos de Criticidade C**

PF		Probabilidade Falha		Quadro C: Determinação das Estratégias de Manutenção: Criticidade C - Ativo Auxiliar	
		<u>Características da Classe:</u> A falta do ativo não traz consequências muito relevantes.			
		<u>Abordagem:</u> Mínimo aporte de recursos da manutenção (pessoas, materiais e equipamentos), redirecionando os recursos para ativos de maior importância.			
		<b>Detectável ( 2 / 4 / 6 )</b>		<b>Não Detectável ( 8 / 10 )</b>	
10	1 / mês	<u>Manutenção Baseada no Tempo (MBT):</u> 1- Definir Manutenções Preventivas para minizar falhas;		<u>Manutenção Baseada no Tempo (MBT):</u> 1- Definir Manutenções Preventivas para minizar falhas; 2- Definir Procedimentos - Corretivas não-programadas;	
8	1 / 6 Meses				
6	1 / Ano	<u>Manutenção Baseada no Tempo (MBT):</u> 1- Definir Manutenções Preventivas para minizar falhas;		<u>Manutenção Corretiva Programada (MCP):</u> 1- Definir Manut. Corretiva programada (substituição); 2- Definir Procedimentos - Corretivas não-programadas;	
4	1 / 2 Anos				
2	1 / >2 anos	<u>Manutenção Corretiva Programada (MCP):</u> 1- Incluir no Plano de Reforma Anual (Corretiva Programada - Substituição);		<u>Manutenção Corretiva Programada (MCP):</u> 1- Incluir no Plano de Reforma Anual (Corretiva Programada - Substituição);	

Fonte: elaborado pelo Autor

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO: AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS PROPOSTOS – APLICAÇÃO EM EMPRESA DO RAMO SIDERÚRGICO

#### 3.1 Considerações iniciais

Para avaliação dos métodos propostos, aplicou-se a MCC descrita neste trabalho em uma empresa do ramo siderúrgico, localizada na região nordeste do Brasil. Trata-se de uma empresa multinacional, cujo principal produto é o vergalhão de aço (construção civil), com uma produção mensal aproximada de 30.000t. O processo de fabricação do vergalhão é ilustrado na figura 2.

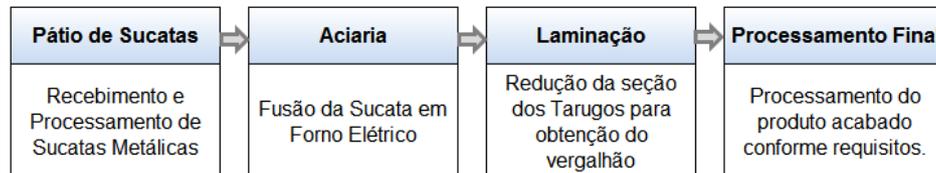


Figura 2. Fluxograma de produção do vergalhão.

#### 3.2 Preparação do Estudo

Inicialmente, definiu-se junto ao departamento de Engenharia de Manutenção desta empresa que o projeto piloto de aplicação desta metodologia de MCC seria executado na área do Pátio de Sucatas, devido principalmente à instalação de novos equipamentos nesta área que necessitavam a elaboração de um plano de manutenção adequado. Além disso, a área do Pátio de Sucatas, por apresentar um razoável número de itens físicos, constitui-se num ótimo piloto para o exercício e aprimoramento da aplicação da metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) proposta neste trabalho.

O próximo passo foi constituir uma equipe de profissionais da área de manutenção, com conhecimentos suficientes sobre o funcionamento e manutenção dos itens físicos, sistemas, subsistemas e componentes nos quais seria realizado o estudo. Também, em função da maior disponibilidade das equipes de especialistas mecânicos, definiu-se que somente os sistemas mecânicos de cada equipamento seriam analisados neste piloto.

#### 3.3 O pátio de sucatas

Nas siderúrgicas com forno a arco elétrico, dentre todos os insumos utilizados na fabricação do aço, a sucata é o que apresenta o maior impacto sobre os custos. Por

isso, o pátio de sucatas, onde toda a sucata metálica é recebida e processada, possui grande importância para a obtenção de um produto final de qualidade com custos otimizados. Os processamentos realizados na sucata envolvem limpeza, compactação, corte e transporte até o forno de fusão, sendo que na empresa em questão realiza-se um processamento médio mensal de 35.000t de sucata.

### 3.4 Aplicação do método proposto no Pátio de Sucatas

A implementação da MCC proposta neste trabalho foi executada seguindo-se todas as etapas descritas ao longo deste trabalho, sendo que os detalhes específicos da execução de cada etapa são apresentados a seguir.

#### 3.4.1 Definição do time de profissionais para aplicação do método

O time de profissionais definido para a condução deste projeto foi composto de: Chefe de Engenharia de Manutenção, Engenheiro Mecânico, Especialista em MCC (Contratação Externa), um responsável pela operação do equipamento e um mecânico, totalizando 5 (cinco) profissionais.

#### 3.4.2 Definição do nível da análise

A equipe iniciou os trabalhos com a estruturação funcional da área do pátio de sucatas em sistemas e subsistemas, de modo a permitir um melhor entendimento daquilo que será analisado. O quadro 9 apresenta os ativos (sistemas e subsistemas) listados para a área estudada.

#### 3.4.3 Classificação ABC dos ativos

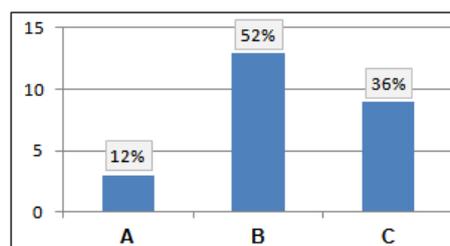
Inicialmente, definiram-se as funções principais de cada ativo listado, seguindo sempre a orientação de Moubray [1]. Na sequência das etapas, partiu-se para a avaliação da severidade para cada sistema/subsistema, sendo que cada um dos fatores (Segurança, Meio Ambiente, Impacto no Processo Produtivo e Custo Operacional) foi analisado individualmente, no grupo, com base nos detalhamentos qualitativos definidos para este estudo.

Com isso, os valores de cada fator foram preenchidos no quadro 9 proposto.

**Quadro 9.** Priorização via Multi-fatores dos ativos do Pátio de Sucatas

MCC Criticidade e Risco Relativo de Ativos Físicos - Priorização via Multi-fatores													Prioridade
Etapas de Avaliação →		Etapa 1 - Severidade							Etapa 2 - Probabilidade				
Descrição do Ativo	Função Principal	SE	MA	T1	IP	CO	T2	ST	Criticidade	PF	Risco Relativo		
Triturador de Sucatas/ Moinho Principal	Triturar sucatas metálicas: velocidade mínima 950rpm e Potência 900cv	40	10	50	8	10	18	68	A	10	680	1º	
Prensa Tesoura/ Sistema Hidráulico	Prover pressão hidráulica mínima de 150bar a todos os sist. mecânicos.	30	30	60	6	6	12	72	B	8	576	2º	
Triturador de Sucatas/ Unidade Hidráulica	Prover pressão hidráulica mínima de 180bar e máxima de 300bar;	30	20	50	6	6	12	62	B	8	496	3º	
Tesoura Móvel/ Tesoura Articulada	Efetivar cortes de sucatas com força mínima de 10.000kN e giro de 360°.	30	10	40	8	8	16	56	B	8	448	4º	
Triturador de Sucatas/ Tampa Superior Flipper	Compactar Sucata a força mínima de 50.000Kgf e tempo máximo de 1 seg;	30	10	40	8	8	16	56	B	8	448	5º	

Pode-se verificar no quadro 9 que cada sistema/subsistema foi classificado como A (Ativo Crítico), B (Ativo Importante) ou C (Ativo Auxiliar). O resultado completo obtido na classificação de todos os ativos é apresentado na figura 3.



**Figura 3.** Distribuição ABC obtida na classificação dos sistemas/subsistemas do Pátio de Sucatas.

No quadro 9 são apresentados apenas os 5 (cinco) ativos de maior risco, classificados de acordo com o Risco Relativo (RR) calculado. A coluna “Prioridade” apresenta a prioridade de cada ativo para a aplicação da MCC, sendo que o ativo “Triturador de Sucatas/Moinho Principal” é o primeiro da lista, com o maior Risco Relativo RR calculado, tornando-se o ativo prioritário para a aplicação da MCC.

#### **3.4.4 Aplicação do Método proposto para a “Etapa 6” – “Diagrama Criticidade x Estratégias de Manutenção”**

Após a definição do ativo de maior Risco Relativo (RR), inicia-se a aplicação do método proposto na seção 2.4 (Diagrama Criticidade x Estratégias de Manutenção) para a determinação das estratégias de manutenção para este ativo.

ETAPA 1. Identificação e caracterização do ativo: nesta etapa, aplica-se o método proposto na seção 2.4, que compreende basicamente a aplicação da metodologia FMECA, onde cada componente do Triturador de Sucatas/Moinho Principal é analisado seguindo os 5 passos descritos na seção mencionada:

Passo 1.1 Decomposição do ativo em componentes;

Passo 1.2 Definição das funções principais de cada componente;

Passo 1.3 Levantamento dos modos de falha;

Passo 1.4 Determinação dos efeitos de cada modo de falha;

Passo 1.5 Determinação das causas das falhas;

ETAPA 2. Determinação do RPN – Risk Priority Number (Número de Prioridade de Risco): Finalizando-se a etapa 1, inicia-se a determinação dos fatores de Probabilidade de Falha (PF), utilizando o quadro 4, e Detectabilidade (DT), utilizando o quadro 5 (seção 2.4), sendo que o RPN é calculado para cada componente através de uma multiplicação simples destes dois fatores.

ETAPA 3. Definição das estratégias de manutenção para cada componente: nesta etapa, aplica-se propriamente o método “Diagrama Criticidade x Estratégias de Manutenção” proposto nesta pesquisa. Para o ativo Triturador de Sucatas/Moinho Principal, utiliza-se o diagrama proposto no quadro 6, pois se trata de um ativo classificado como criticidade A.

Com a finalização destas três etapas e usando-se um formulário específico desenvolvido neste trabalho, obtém-se o plano de manutenção de todo o ativo analisado, sendo que parte do resultado obtido neste estudo é apresentado no Apêndice A deste trabalho.

Ao se avaliar o plano obtido, especialmente quanto aos resultados da etapa 3, onde se define o Plano de Manutenção propriamente dito, pode-se afirmar:

- Dos 36 modos de falha analisados, 15 tiveram uma ação de manutenção do tipo MBC (Manutenção Baseada na Condição), correspondendo a 41% do total. A frequência, o número de técnicos necessários e a duração destas ações de manutenção foram definidos baseando-se na experiência dos especialistas participantes do time de aplicação.

- Dos 36 modos de falha analisados, 13 tiveram uma ação de manutenção do tipo MBT (Manutenção Baseada no Tempo), correspondendo a 36% do total.

- Dos 36 modos de falha analisados, 8 tiveram uma ação de manutenção do tipo RP (Reprojeto), correspondendo a 22% do total.

Este plano de manutenção obtido para o Triturador de Sucatas/Moinho Principal, quando analisado por especialistas de manutenção consultados, foi considerado adequado, pois engloba ações de manutenção típicas para ativos deste tipo, usados em indústrias siderúrgicas. Além disso, este plano de manutenção foi comparado aos percentuais recomendados por Smith e Mobley [7], conforme ilustrado no quadro 10.

**Quadro 10.** Comparação do plano de manutenção obtido pelo método proposto com as recomendações de Smith e Mobley [7]

Estratégia de Manutenção	Smith e Mobley (2008)	Diagrama Criticidade x Estratégias de Manutenção
MBC - Manutenção Baseada na Condição	40 a 60%	41%
MBT - Manutenção Baseada no Tempo	20 a 30%	36%
RP - Reprojeto	2 a 10%	22%

Fonte: adaptado de Smith e Mobley [7]

O elevado percentual (22%) de ações do tipo RP (Reprojeto) é justificável pelo fato do ativo analisado ser recém-adquirido pela empresa e necessitar inúmeras melhorias e adequações, principalmente relacionadas à segurança.

#### 4 Conclusões

A conclusão deste trabalho será apresentada em termos de aspectos positivos e negativos identificados nas etapas de elaboração e aplicação deste projeto. Considerando os aspectos positivos, constatou-se na aplicação prática da MCC na referida empresa siderúrgica que esta metodologia contribuiu para uma melhora do desempenho operacional, da segurança e da proteção ao meio ambiente, pois se verificou, nas auditorias internas realizadas pelas equipes de segurança e meio ambiente, que os índices definidos para o ativo estudado melhoraram em média 30% após a implantação das melhorias identificadas na MCC. Além disso, constatou-se também uma melhora da motivação da equipe de manutenção e operação, pois houve um aumento do conhecimento técnico da equipe acerca do ativo analisado, além da criação de um banco de dados com informações importantes que podem conduzir a melhorias específicas no ativo alvo da implementação da MCC. Considerando-se o método proposto para a etapa 6, constatou-se que foi plenamente assimilado pela equipe de implantação e sua utilização foi considerada fácil por todos os participantes do estudo. O “Diagrama Criticidade x Estratégias de Manutenção” proposto para a etapa 6 mostrou-se adequado para a definição das estratégias de manutenção, pois todo o plano de manutenção para o moinho principal do triturador de sucatas foi definido utilizando-se este diagrama proposto, sendo que os resultados obtidos foram considerados de boa qualidade quando analisado por especialistas na área de manutenção da empresa em questão. Além disso, as estratégias de manutenção definidas pelo método proposto foram comparadas com as recomendações de Smith e Mobley [7], conforme apresentado anteriormente no quadro 10, verificando-se que se encontram dentro das faixas recomendadas, com exceção da estratégia RP (Reprojeto) que ficou acima do percentual recomendado devido às necessárias adequações do ativo às políticas de segurança da empresa.

No lado negativo, durante a aplicação da MCC, nesta mesma etapa 6, devido à falta de informações históricas sobre falhas no ativo analisado, o processo de definição das frequências das tarefas de manutenção foi realizado com bastante dificuldade, sendo executado puramente através da opinião dos especialistas da equipe participante, sem utilização de nenhum tipo de cálculo estatístico. Outra questão que prejudicou o desenvolvimento pleno deste trabalho foi o fato de que o ativo escolhido para aplicação da metodologia não possuía nenhum tipo de plano de manutenção previamente estabelecido, o que inviabilizou a realização de comparações entre um

plano pré-existente e o plano de manutenção obtido com a aplicação da MCC proposta. Além disso, é importante frisar também que projetos de implementação da MCC devem ser sempre voltados para a obtenção de resultados de longo prazo. Portanto, considerando o acima exposto e o desenvolvimento do trabalho apresentado nos capítulos anteriores, pode-se afirmar que o objetivo geral proposto foi atingido: Propor a avaliar um modelo de referência para a MCC com a introdução de um novo método para a etapa de aplicação do diagrama de decisão, buscando sua melhor adaptação à gestão da manutenção em empresas do ramo siderúrgico.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MOUBRAY, John. RCM II – Reliability-Centered Maintenance. New York: Industrial Press Inc, 1997, 426p.
- [2] SELVIK, J.T.; AVEN, T. A framework for Reliability and Risk Centered Maintenance. Journal of Reliability Engineering & System Safety. London: Elsevier, Vol. 96, n. 2, 2011, p.324-331.
- [3] CAMPBELL, John; JARDINE, Andrew; McGLYNN, Joel. Asset Management Excellence – Optimizing Equipment Life-Cycle Decisions. Boca Raton: CRC Press, 2011, 474p.
- [4] RAPOSO, José L. O. Manutenção Centrada em Confiabilidade aplicada a Sistemas Elétricos: Uma proposta para uso de Análise de Risco no Diagrama de Decisão. Salvador: UFBA, 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. UFBA, 2004.
- [5] SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. SAE-J1739: Potential Failure Code and Effects Analysis in Design (Design FMEA) and Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes.
- [6] CHENG, Z.T., et al. A framework for Intelligent Reliability Centered Maintenance Analysis. Journal of Reliability Engineering & System Safety. London: Elsevier, ISSN 0951-8320, Vol. 93, n. 6, 2008, p.806-815.
- [7] SMITH, R.; MOBLEY, R. K. Rules of Thumb for Maintenance and Reliability Engineers. Burlington, Elsevier Editora, 2008, 320p.
- [8] RAMLI, R.; ARFFIN, M.N. A Reliability Centered Maintenance in Schedule Improvement of Automotive Assembly Industry. American Journal of Applied Sciences. London: Science Publications, ISSN1546-9239, 2012, p.1232-1236.

## Apêndice A

Amostra da aplicação da metodologia FMECA e do método proposto para a etapa 6 (“Diagrama Criticidade x Estratégias de Manutenção”) para o ativo de Criticidade A: Triturador de Sucatas/Moinho Principal

FMECA - Failure Mode, Effect and Criticality Analysis - Análise Crítica dos Modos de Falhas e seus Efeitos													
Ativo: Triturador de Sucatas		Sistema: Moinho Principal - Componentes Mecânicos		Função Principal: Triturar sucatas metálicas: vel. mínima 950rpm e potência 900cv			Período: MM/AA - MM/AA						
Responsável: FAB		Equipe Responsável: DN, AO, EM, VN											
Etapa 1				Etapa 2			Etapa 3						
Componente	Função Principal	Modo de Falha	Efeito da Falha	Causas Potenciais da Falha			Ação Escolhida		Freq.	Técnico Resp.	Nr Tec	Dur (h)	
Cilindro Empurrador de Sucata	Empurrar a sucata até o moinho, com velocidade indicada pelo ciclo selecionado e força min de 2.000 kN	Passagem Interna de óleo	Cilindro perde força ou não movimentado. Substituição <u>não-planejada</u> = 24h de <u>interrupção</u> de produção.	Elevado nível de sujidades no óleo hidráulico			MBT	Coleta de amostras do óleo hidráulico para avaliação do NAS	3m	Preditiva	1	0,5	
		Vazamento de óleo pela haste do cilindro	Cilindro perde força ou não movimentado. Impacto ambiental. Substituição <u>planejada</u> = 12h / <u>sem</u> interrupção de produção.	Desgaste excessivo das vedações da haste.	Desalinhamento da haste do cilindro.	MBT	Substituição programada do filtro do óleo hidráulico.	1m	Mecânico	1	1		
						MBT	Substituição programada das vedações da haste do cilindro.	1a	Mecânico	2	4		
		MBC	Inspeção visual do desgaste das vedações da haste e alinhamento.	1m	Mecânico	1	1						
Quebra do Haste/Olhal	Sucata não é empurrada para trituração. Subst. <u>Não-Planej</u> = 24h	Desgaste excessivo do olhal inferior do cilindro.	6	2	12	MBC	Inspeção visual do olhal inferior do cilindro empurrador.	1m	Mecânico	1	0,5		
Rotor Principal do Moinho	Girar conforme velocidade provida pelo motor, mantendo os martelos em posição de corte em velocidades acima de 300rpm.	Desgaste excessivo de forma desuniforme	Vibração excessiva em regime normal de trabalho.	Falha na execução de procedimento para preenchimento com solda.			RP	Reprojeto: adquirir equipamento para efetivar enchimento de solda de forma uniforme garantindo o balanceamento.	NA	Dep. Engenharia	NA	NA	
		Quebra do Rotor	Parada completa da trituração de sucata.	Propagação de trincas de fadiga.			MBC	Inspeção visual para detecção de trincas no rotor.	1s	Mecânico	1	1	

\* Contribuição técnica ao 72º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 17º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, parte integrante da ABM Week, realizada de 02 a 06 de outubro de 2017, São Paulo, SP, Brasil.