

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Felipe Pagotti Martins Botelho

**A IMPORTÂNCIA DA CONFIABILIDADE DOS
EQUIPAMENTOS PARA TOMADAS DE DECISÕES
EM UM AMBIENTE FABRIL**

Taubaté – SP
2017

Felipe Pagotti Martins Botelho

**A IMPORTÂNCIA DA CONFIABILIDADE DOS
EQUIPAMENTOS PARA TOMADAS DE DECISÕES EM UM
AMBIENTE FABRIL**

Trabalho de Graduação apresentado para
obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Mecânica do Departamento de
Engenharia Mecânica da Universidade de
Taubaté.

Orientador: Prof. Me. Ivair Alves dos Santos

Taubaté – SP

2017

**Ficha Catalográfica elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado
de Bibliotecas / UNITAU - Biblioteca das Engenharias**

B748i Botelho, Felipe Pagotti Martins
A importância da confiabilidade dos equipamentos para
tomadas de decisões em um ambiente fabril 35. / Felipe
Pagotti Martins Botelho. - 2017.
35f. : il; 30 cm.
Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) –
Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia
Mecânica e Elétrica, 2017
Orientador: Prof. Me Ivair Alves dos Santos,
Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica.
1. Confiabilidade de máquinas. 2. Indicador de ativos. I.
Título.

Felipe Pagotti Martins Botelho

A IMPORTÂNCIA DA CONFIABILIDADE DOS EQUIPAMENTOS PARA TOMADAS DE DECISÕES EM UM AMBIENTE FABRIL

Trabalho de Graduação apresentado para
obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Mecânica do Departamento de
Engenharia Mecânica da Universidade de
Taubaté.

Orientador: Prof. Me. Ivair Alves dos Santos

Data: 23/10/17

Resultado: APROVADO

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Ivair Alves dos Santos

Universidade de Taubaté - UNITAU

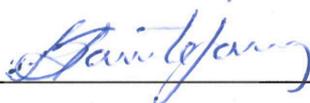
Assinatura: _____



Prof. Me. Fábio Henrique Santejani

Universidade de Taubaté - UNITAU

Assinatura: _____



Dedicatória.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Jesus e Elisabete, à minha irmã Jéssica e minha noiva Cynthia, pelo incentivo contínuo.

Ao Professor Me. Ivair Alves dos Santos , pelo integral suporte, excelente didática, abordagem amistosa, oferecimento de materiais de apoio e incentivo aos atingimentos dos desafios durante os anos de preparação para a graduação.

À Autoliv, empresa sempre presente na minha formação técnica, que proveu, acompanhou e reconheceu a evolução nos diferentes trabalhos realizados desde o início.

À Universidade de Taubaté (UNITAU), que forneceu os recursos necessários, com um excelentes professores e materiais, para a minha formação e desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

Em um ambiente econômico cada vez mais rigoroso, em busca de processos eficientes, não há margens para as perdas de produtividades, responsáveis por reduzir a competitividade da empresa. Essa necessidade advém da maior exigência dos consumidores, exigindo produtos com qualidade e rapidez na entrega, com preços achatados. Os investidores, por sua vez, limitam o capital investido de acordo com o risco do negócio, exigindo rápidos retornos de capital. Por fim, a sociedade exige valores e visão da empresa que consideram o respeito pelo meio ambiente e a responsabilidade social. É neste contexto que devemos centralizar os esforços em confiabilidade operacional, para garantir as exigências dos diversos envolvidos no sistema empresarial. O gerenciamento dos indicadores de equipamentos pode ser executado por diversas metodologias. Iremos adotar a metodologia RCM (*Reliability Centered Maintenance*) ou MMC (Manutenção Centrada em Confiabilidade), pois é um método de gerenciamento cujo admite tomadas de decisões focadas nos desempenhos dos equipamentos, com grandes benefícios estratégicos. A confiabilidade é considerada, além de fundamental em projetos correntes, também um requisito para novos projetos, onde é necessário manter o nível mínimo para aprovação e validação da rentabilidade financeira esperada. A implementação da metodologia RCM é a oportunidade de melhorar os níveis estimados nos novos projetos e maximizar os resultados nos projetos correntes. Para uma boa implementação, é necessário implementar também indicadores para mensurar as performances dos ativos e evolução da metodologia.

Palavras-chave: confiabilidade de máquinas, RCM, Indicador de ativos, Estratégia.

ABSTRACT

Currently, the economic environment get rigorous more and more. Looking for efficient processes, there are no margins for productivity losses, responsible for reducing the company's competitiveness. This need comes from the increased demand of consumers, demanding products with quality and speed in delivery, with flat prices. Investors turns, limit invested capital according to business risk, requiring rapid capital returns. Finally, people and customers demand values and vision of the company that consider respect for the environment and social responsibility. In this way, we must centralize the efforts in operational reliability, to guarantee the requirements of the diverse involved in the enterprise system. The management of equipment indicators can be managed by several methodologies. We will adopt the Reliability Centered Maintenance (RCM) methodology, since it is a management method that allows decision making focused on the equipment performance, with great strategic benefits. Reliability is considered, besides fundamental in current projects, also a requirement for new projects, where it is necessary to maintain the minimum level for approval and validation of the expected financial profitability. The implementation of the RCM methodology is the opportunity to improve the estimated levels in the new projects and to maximize the results in the current projects. For a good implementation, it is also necessary to implement indicators to measure the performances of the assets and evolution of the methodology.

Keywords: Machine Reliability, RCM, Assets management, Strategy

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|----------|--|----|
| FIGURA 1 | UM ITEM PASSÍVEL DE MANUTENÇÃO..... | 6 |
| FIGURA 2 | UM SITUAÇÃO NÃO PASSÍVEL DE MANUTENÇÃO..... | 8 |
| FIGURA 3 | DEFINIÇÃO DA FALHA FUNCIONAL..... | 11 |
| FIGURA 4 | ATIVO COM DETERIORAÇÃO QUE ESTÁ FUNCIONANDO..... | 11 |
| FIGURA 5 | LIMITES SUPERIOR E INFERIOR..... | 12 |
| FIGURA 6 | EXEMPLO DE VISÕES DIFERENTES SOBRE A FALHA..... | 13 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|----------|--|---|
| TABELA 1 | EXEMPLO DAS ETAPAS DE IMPLEMENTAÇÃO SEGUNDO ALGUNS AUTORES..... | 1 |
|----------|--|---|

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

| | |
|-------|--|
| RCM | <i>Reliability Centered Maintenance</i> |
| SAE | <i>Society of Automotive Engineers</i> |
| MMC | <i>Manutenção Centrada em Confiabilidade</i> |
| FMEA | <i>Failure Modes and Effects Analysis</i> |
| FMECA | <i>Failure Modes, Effects and Criticality Analysis</i> |
| OA | <i>Overall Availability</i> |
| MAR | <i>Machine Availability Rate</i> |
| MTTR | <i>Mean Time to Repair</i> |
| MBTF | <i>Mean Time Between Failures</i> |
| PMO | <i>Planned Maintenance Optimization</i> |

SUMÁRIO

| | | |
|---------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1 | OBJETIVOS..... | 13 |
| 1.1.1 | OBJETIVO GERAL..... | 13 |
| 1.1.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 13 |
| 1.2 | DELIMITAÇÃO DO ESTUDO..... | 14 |
| 1.3 | JUSTIFICATIVA | 14 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 15 |
| 2.1 | DEFINIÇÃO | 15 |
| 2.2 | HISTÓRICOS E REGULAMENTAÇÃO | 17 |
| 2.3 | CONCEITOS DE IMPLEMENTAÇÃO..... | 18 |
| 2.4 | ETAPAS DE IMPLEMENTAÇÃO..... | 20 |
| 2.4.1 | ETAPA 1 – PREPARAÇÃO..... | 21 |
| 2.4.2 | ETAPA 2 – DEFINIÇÃO DAS EXPECTATIVAS..... | 22 |
| 2.4.3 | ETAPA 3 – DEFINIÇÃO E ANÁLISE DAS FALHAS..... | 22 |
| 2.4.3.1 | FALHAS TOTAIS E PARCIAIS..... | 23 |
| 2.4.3.2 | FALHAS LIMITES SUPERIORES E INFERIORES..... | 24 |
| 2.4.3.3 | FALHAS DE CONTEXTOS OPERACIONAIS..... | 24 |
| 2.4.4 | ETAPA 4 – MODOS DE FALHAS E CONSEQUÊNCIAS..... | 25 |
| 2.4.5 | ETAPA 5 – AÇÕES PREVENTIVAS..... | 25 |
| 2.4.6 | ETAPA 6 – FREQUÊNCIA DE INTERVENÇÕES PREVENTIVAS..... | 26 |
| 2.4.7 | ETAPA 7 – MELHORIA CONTÍNUA E ACOMPANHAMENTO..... | 26 |
| 3 | METODOLOGIA..... | 27 |
| 3.1 | MÉTODOS DE PESQUISAS..... | 27 |
| 3.1.1 | PESQUISAS DE ACORDO COM A ABORDAGEM..... | 27 |
| 3.1.2 | PESQUISAS DE ACORDO COM OS OBJETIVOS..... | 28 |
| 3.1.3 | PESQUISAS DE ACORDO COM OS PROCEDIMENTOS TÉCNICOS...28 | |
| 3.2 | APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE PESQUISAS..... | 29 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 30 |
| 4.1 | RESULTADOS..... | 30 |
| 4.2 | ARGUMENTOS CONTRA O RCM..... | 30 |
| 5 | CONCLUSÃO..... | 32 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 33 |

1 INTRODUÇÃO

Com a globalização e a crescente concorrência, os processos fabris atuais estão cada vez mais enxutos, programados para atingir a produção de peças exatamente no tempo planejado.

Quando os indicadores de produtividade dos ativos (máquinas e equipamentos) estão deteriorados e instáveis, a Manufatura torna-se incapaz de produzir materiais acabados com tempos de ciclo previamente conhecidos, tornando-se a administração dos recursos pessoais e insumos um grande desafio.

A instabilidade de produção do ativo é diretamente relacionada com os resultados financeiros da empresa, cuja qual vê-se na necessidade de cumprir o planejamento de vendas para atingir a rentabilidade necessária para a sobrevivência no mercado.

Com a produção imprevista, é necessário reavaliar o quadro de mão-de-obra, pois frequentemente é necessário adotar o regime de hora-extra para o mesmo resultado que teria caso não houvesse deterioração no indicador de confiabilidade. Outro fator importante é a logística, que em casos de não entrega no horário de contrato do cliente, há multas financeiras e impactos na avaliação de fornecedores, comum em empresas que adotam o sistema de trabalho *Just in Time*. Em um cenário mais crítico, pode haver a interrupção da linha de produção do cliente, gerando multas integrais do custo de parada.

No cenário de qualidade, as frequentes paradas de máquinas, aumentam a probabilidade do envio e produção de peças defeituosas, podendo haver frentes de trabalho para a revisão do estoque desde a produção do material fornecido até o cliente final, custeados integralmente pelo fornecedor.

Portanto, o controle da confiabilidade dos equipamentos é essencial para que haja boa cadência de produção, harmonizando todo o sistema de produção. Para esse resultado, é necessário cuidados especiais e investimentos nos ativos da empresa.

A metodologia RCM (*Reliability Centered Maintenance*) ou MMC (Manutenção Centrada em Confiabilidade) é uma metodologia utilizada para garantir o comportamento dos equipamentos em linha com o planejado.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo de demonstrar os benefícios e a importância do gerenciamento específico dos indicadores de confiabilidade dos equipamentos, propondo a aplicação da metodologia RCM nos processos produtivos onde a entrega, produtividade e qualidade são fundamentais para o atingimento dos resultados.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Este trabalho expõe os benefícios da aplicação do método RCM no ambiente fabril, propondo a aplicação da metodologia para os ativos da empresa. Com a implementação da metodologia, é possível identificar as deficiências dos equipamentos, corrigi-los e evitar perdas sem valor agregado.

Considerando os diferentes graus de importância dos ativos no processo fabril, é preciso haver critérios para as tomadas de decisões nas correções dos problemas e/ou manutenção do bom desempenho, focando nas avaliações das naturezas abaixo:

- Contexto do equipamento;
- Característica da falha;
- Consequência da falha;
- Importância da falha;
- Forma de detecção da falha;
- Prevenção;
- Contenção.

1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Este trabalho delimita-se ao estudo e aplicação da metodologia RCM unicamente em máquinas e equipamentos produtivos, com a aplicação de indicadores para o gerenciamento e ferramentas sugeridas pelo método RCM, não havendo comparações de ordem técnica com outras metodologias para gerenciamento de ativos.

1.3 JUSTIFICATIVA

Este trabalho justifica-se pela necessidade das empresas atingirem os resultados de eficiência produtiva (volume produzido sem defeito) de acordo com o planejamento realizado, nos diferentes modelos e *mix* de produção solicitados pelos diferentes clientes.

O atingimento desses resultados é essencial para haver o retorno esperado pelos acionistas, responsáveis por realizar modernizações e investimentos nos parques industriais.

A ineficiência na produção dos volumes esperados, tem como maiores consequências à curto prazo as multas financeiras para as não entregas, aumento no custo operacional, com exigência de regimes de hora-extra. A médio prazo pode afetar a reavaliação do quadro de fornecedores, impactando diretamente na cotação de novos projetos. Todas as características anteriores são vitais para determinar o sucesso da competitividade da empresa no mercado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo irá abordar o processo RCM de forma genérica, desde os conceitos até os resultados esperados, comprovando os valores e eficiências da metodologia.

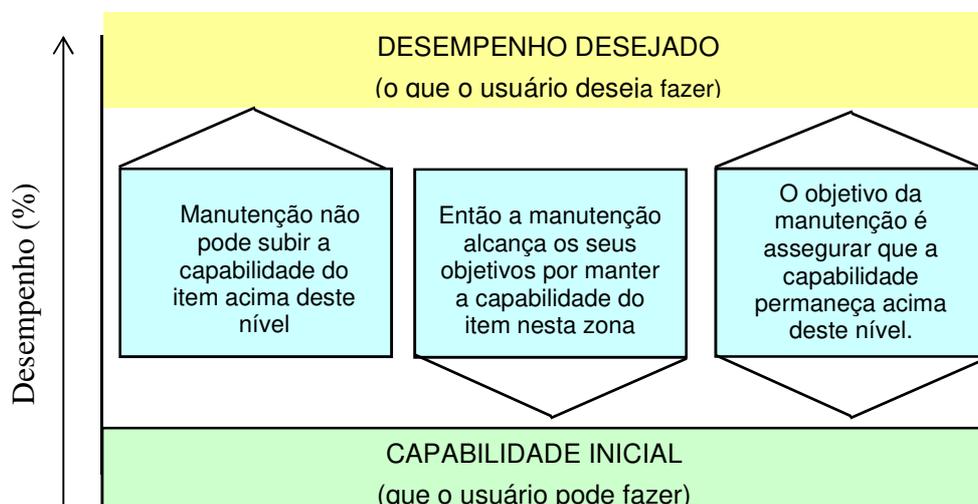
A metodologia RCM, com uma ampla variedade de aplicações através de uma abordagem metódica, melhora a gestão do departamento responsável pelos ativos, considerados nesse trabalho como o departamento de Manutenção (MOUBRAY, 2001).

Com a aplicação efetiva da metodologia, é possível trabalhar com menor quadro de funcionários, redução de estoque (estagnação), prolongamento da vida útil do equipamento, sensibilização da segurança e integridade ambiental (KARDEC, 2009).

2.1 DEFINIÇÃO

Segundo Kardec (2009), RCM é, sobretudo, um processo utilizado para determinar as prioridades dos ativos físico e controlar as consequências das falhas, definindo o melhor planejamento para a Manutenção, disponibilizando equipamentos confiáveis para a Manufatura, como podemos verificar na Figura 1.

Figura 1 – Um item passível de manutenção



Fonte: Moubray (2000)

Como sugere Branco Filho (2008), a metodologia direciona à importância do sucesso da execução das Manutenções Programadas (Manutenções Preventivas e Manutenções Preditivas), com um plano robusto, minimizando as falhas já previstas em análises preliminares. Um exemplo para essa importância é a roda de um carro quando começa a gerar ruído (indicação de alguma falha). A simples troca da roda irá solucionar o problema, porém não irá minimizar a falha, e sim irá impedir as consequências da falha. Há inúmeros modos de falha nos componentes e no sistema, com diferentes potenciais e efeitos, que podem gerar o ruído na roda. Caso a consequência ou o efeito destes modos de falha sejam negativos nos aspectos de segurança, operações (produtividade), meio ambiente e/ou custo, será necessário a criação e acompanhamento da execução de Planos de Manutenção Programada para os modos de falhas dos componentes e sistema da roda.

Para Sullivan (2004), as consequências das falhas irão diferenciar-se dependendo do contexto de operações do ativo. Como exemplo para este caso, um automóvel agrícola percorre diariamente um percurso pequeno, e caso haja alguma falha, a consequência não será grande. No entanto, caso o mesmo veículo seja utilizado para percorrer um percurso grande, a consequência da falha neste contexto é mais significativa comparado ao cenário anterior. A análise mais prudente é que seja feito investimentos financeiros e tempos de inatividade programados para a execução de Manutenções Programadas, assegurando o bom funcionamento do veículo.

Há condições em que a realização da Manutenção Programada é considerada prejudicial se for segmentada de forma genérica, cuja intervenção pode causar comportamentos instáveis nos equipamentos. Pode-se considerar um exemplo para esse caso, um conjunto de rolamentos que suportam um eixo de transmissão. Um planejamento equivocado pode solicitar a troca do rolamento em um intervalo regular de tempo. Como os rolamentos seguem um padrão de falha completamente aleatórios, a substituição baseada no tempo deste rolamento sem o acompanhamento de indicadores (individualizados por rolamento) sugerem a substituição do rolamento em bom estado, descompensando os demais rolamentos, levando à antecipação da falha nos demais rolamentos do conjunto (SULLIVAN, 2004).

Para uma boa implementação, é necessário a mudança de paradigma, admitindo a condição do equipamento não trabalhar em sua plenitude, mas atingindo integralmente a necessidade planejada pelo processo, garantindo a produção de peças com qualidade. Essa condição é necessária caso o investimento para o reparo

é alto e não se comprova através de cálculos o aumento da capacidade, rebaixando a sensibilidade do indicador de confiabilidade para determinados equipamentos, havendo intervenções para atingir o nível satisfatório (SULLIVAN, 2004).

Desde a origem do RCM, na indústria aeronáutica norte-americana, a metodologia multiplicou-se rapidamente para todos os segmentos fabris, especialmente para as refinarias de petróleo e usinas nucleares (RAUSAND, 1998).

2.2 HISTÓRICO E REGULAMENTAÇÃO

O RCM foi desenvolvido ao longo de um período de trinta anos, mas foi definido pela primeira vez em 1978 por Stan Nowlan e Howard Heap em um relatório intitulado *Reliability Centered Maintenance* (Manutenção Centrada na Confiabilidade, em português), encomendado pelo Departamento de Defesa dos EUA (NOWLAN e HEAP, 1978).

Desde então, e mais notavelmente na década de 1990, a metodologia RCM atraiu atenção considerável, tanto de usuários potenciais quanto de empresas de consultoria ansiosas para transformar esses usuários em clientes. Um resultado foi uma abundância confusa de processos oferecidos por consultores sob o nome "RCM". Conseqüentemente, inúmeras organizações tentaram trazer ordem para esta situação através da publicação de padrões para RCM (SIQUEIRA, 2005).

A primeira indústria a tentar uma análise detalhada dos efeitos da falha no equipamento foi a indústria da aviação. A Associação do Transporte Aéreo dos EUA desafiou as crenças amplamente difundidas sobre manutenção e desenvolveu uma nova estrutura para orientar o desenvolvimento de programas de manutenção programada para novos aviões, com o objetivo de garantir que todos os ativos continuassem a funcionar, de acordo com o desejo dos usuários (SIQUEIRA, 2005).

O relatório Nowlan e Heap (1978) revelou o sucesso que a aviação comercial desfrutou com sua abordagem revolucionária para a manutenção programada e o Departamento de Defesa dos EUA esperava beneficiar desse novo processo. Em meados da década de 1980, os serviços publicaram Normas e especificações militares para orientar os contratados no uso da RCM para desenvolver programas de manutenção de novos equipamentos militares.

Em junho de 1995, o Secretário de Defesa dos EUA estabeleceu uma nova política, a Instrução do Departamento de Defesa 4151.18, para confiar em padrões comerciais em vez dos padrões militares tradicionais para os principais programas de aquisição (SAE STANDARD JA1012, 2012).

Em outubro de 1999, a *Society of Automotive Engineers* (SAE) publicou o primeiro padrão comercial de toda a indústria para RCM, denominado SAE JA1011, cujo qual estabeleceu os critérios mínimos que um processo deve incluir para ser chamado de processo "RCM". A presidente da comissão da SAE, Dana Netherton, assegurou que o padrão não tentou definir um processo de RCM específico, mas sim forneceu uma base para os interessados em verificar se as empresas estavam realmente fornecendo verdadeiros serviços de RCM. Este é um ponto chave porque existem muitas organizações que afirmam fornecer serviços RCM, mas tomaram a liberdade para remover partes chave na tentativa de encurtar o processo para obter um lucro mais rápido. Alguns desses processos podem ter alcançado os mesmos objetivos, mas alguns foram imprudentes e até mesmo perigosos (SAE STANDARD JA1012, 2012).

2.3 CONCEITOS DE IMPLEMENTAÇÃO

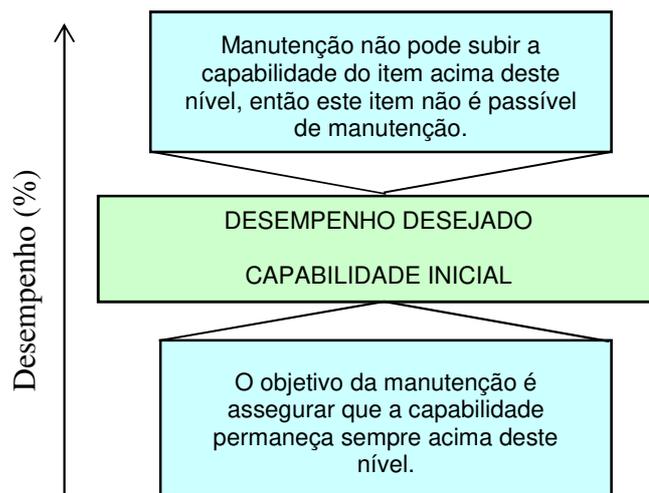
Como mencionado no item 2.2 (Histórico e Regulamentação), a Instituição SAE regulamentou os padrões mínimos para um processo ser considerado RCM, através da norma SAE JA1011.

Segundo Moubray (2000), para um processo ser considerado RCM, deverá mapear o processo nos 7 (sete) atributos abaixo:

- 1- Definir o contexto do ativo no processo;
- 2- Definir a causa de cada falha funcional
- 3- Definir a consequência de cada falha;
- 4- Definir a importância de cada falha;
- 6- Definir a prevenção de cada falha;
- 7- Definir a contenção de cada falha, caso não haja prevenção eficaz.

Segundo Siqueira (2005), Antes mesmo de ser possível aplicar RCM em um processo, para identificar e determinar o que deverá ser feito para atingir níveis satisfatórios de confiabilidade, é necessário identificar a capacidade e importância do equipamento, por esse motivo o primeiro atributo a ser definido é o contexto do ativo, como verificamos na Figura 2.

Figura 2 – Uma situação não passível de manutenção



Fonte: Moubray (2000)

RCM é considerado um processo onde exige os usuários a descreverem detalhadamente os processos de cada equipamento, ao invés de descrever genericamente, como acontece em processos que não são RCM. Essa didática é um grande benefício técnico, pois força os usuários a entenderem exatamente o funcionamento do equipamento, das deficiências crônicas, dos motivos técnicos das falhas e da real capacidade (SIQUEIRA, 2005).

Para Moubray (2000), uma vez identificada a falha, o próximo passo é mapear os modos de falha, caso a consequência avaliada seja grave, o RCM deve considerar os modos de falhas improváveis, mas possíveis. A maioria das falhas são causadas por desgastes naturais, deterioração, erro humano e falha de design, por isso é de suma importância a presença de uma equipe multifuncional, e também a atualização dos Planos de Manutenções Programadas.

Para Kroner (1999), os desejos dos usuários dos equipamentos são divididos em funções primárias (velocidade de *output*, capacidade, estabilidade e qualidade) e funções secundárias (segurança, ergonomia, controle e aparência).

Para Kroner (1999), a implementação deve ocorrer inicialmente nos processos onde as consequências são mais severas e a confiabilidade baixa, gerando um rápido e significativo resultado, sendo imprescindível o levantamento de todos os processos fabris, com equipes de implementação e revisão.

Para Siqueira (2005), A implementação de indicadores de confiabilidade como OA (*Overall Availability*), MAR (*Machine Availability Rate*), MTTR (*Mean Time to Repair*) e MBTF (*Mean Time Between Failures*) é outro fator essencial para o sucesso da metodologia RCM conjunto.

2.4 ETAPAS DE IMPLEMENTAÇÃO

Há muitas referências e autores disseminadores de procedimentos da metodologia RCM, com diferenças sensíveis entre os passos de implementação. Embora aparentemente seja uma ferramenta de implementação simples, é necessário uma equipe multifuncional com treinamento específico da metodologia.

Devido à similaridade das etapas dos diversos autores, iremos abordar de forma genérica, com interação entre alguns autores, mencionando-os nos parágrafos referentes à citação, como podemos visualizar na Tabela 1.

Tabela 1 – Exemplo das etapas de implementação segundo alguns autores

| Etapa # | Smith (1993) | Rausand (1998) | Kroner (1999) | Moubray (2000) |
|---------|---|---|---|--|
| 1 | Seleção do sistema e coleta de informações | Seleção do sistema | Seleção do processo adequado para implementação | Definição das funções e padrões de desempenho |
| 2 | Definição das fronteiras do sistema | Análise das Funções e Falhas Funcionais | Definição das funções e padrões de desempenho | Definição da forma como o item falha ao cumprir suas funções |
| 3 | Descrição do sistema | Seleção dos itens críticos | Descrição das Falhas Funcionais | Descrição da causa de cada falha funcional |
| 4 | Funções e falhas funcionais | Coleta e análise de informações | Definição do Modo de Falha, efeitos e consequências | Descrição das consequências de cada falha |
| 5 | Análise dos modos, efeitos e criticidade das falhas | Análise dos modos, efeitos e criticidade das falhas | Seleção do tipo de Manutenção | Definição da importância de cada falha |
| 6 | Análise da árvore lógica | Seleção das tarefas de manutenção | Formulação e implementação do Plano de Manutenção | Seleção de tarefas preditivas e preventivas para cada falha |
| 7 | Seleção das tarefas preventivas | Definição das novas frequências de intervenção | Melhoria Contínua | Seleção de tarefas alternativas |

Fonte: Smith (1993), Rausand (1998), Kroner (1999) e Moubray (2000)

2.4.1 ETAPA 1 – PREPARAÇÃO

Segundo Kroner (1999), na primeira etapa deve-se identificar os processos e ativos que serão implementados a metodologia RCM. A organização dos materiais é essencial para o planejamento e priorização da implementação.

Pra Moubray (2000), devemos identificar os processos mais suscetíveis à falhas e a expectativa do comportamento futuro, assim como o contexto do ativo no ambiente fabril. Em seguida da identificação dos processos mais críticos, é necessário estimar os recursos necessários para os processos selecionados.

Para Moubray (2000), na primeira etapa é necessário realizar as instruções de auditoria e formulários. Para os casos, onde justificam a alta confiabilidade do equipamento, é necessário mapear detalhadamente as ações e os responsáveis.

2.4.2 ETAPA 2 – DEFINIÇÃO DAS EXPECTATIVAS

Segundo Kroner (1999), na segunda etapa é necessário definir as expectativas dos usuários e necessidades fabris, assim como a identificação do real capacidade do equipamento.

Para Kroner (1999), nessa etapa devemos definir as funções primárias (velocidade de *output*, capacidade, estabilidade e qualidade) e funções secundárias (segurança, ergonomia, controle e aparência).

Como Moubray (2000) menciona, muitos ativos são devidamente planejados, atingindo funções primárias e secundárias em bons níveis. A equipe deverá elaborar um plano exclusivamente para Manutenção, havendo poucas oportunidades de melhorias da capacidade operacional.

2.4.3 ETAPA 3 – DEFINIÇÃO E ANÁLISE DAS FALHAS

Segundo Moubray (2000), a definição de uma falha é perda de função, tendo como necessidade haver um verbo, um objeto e um padrão de desempenho. A falha funcional é definida como o impedimento do ativo realizar sua função projetada e/ou aceitável pelo usuário, desejando um desempenho maior que a capacidade do equipamento. Os padrões de aceitação de desempenho devem ser definidos pela equipe multifuncional. As falhas funcionais devem ser consideradas como falhas totais ou parciais, falhas limites inferiores ou superiores e falhas de contexto operacional, como verificados na Figura 3.

Figura 3 - Definição da falha funcional

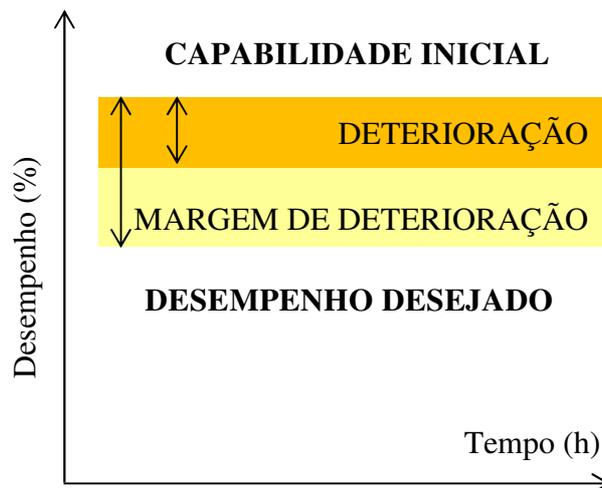


Fonte: Moubray (2000)

2.4.3.1 FALHAS PARCIAIS E TOTAIS

Para Moubray (2000), a falha funcional total é definida como a perda integral da sua função, mesmo que ainda em funcionamento, o ativo não atinge os critérios mínimos de operação definidos. Já a falha parcial, o ativo possui uma falha mas opera nos limites aceitáveis, ilustrado na Figura 4.

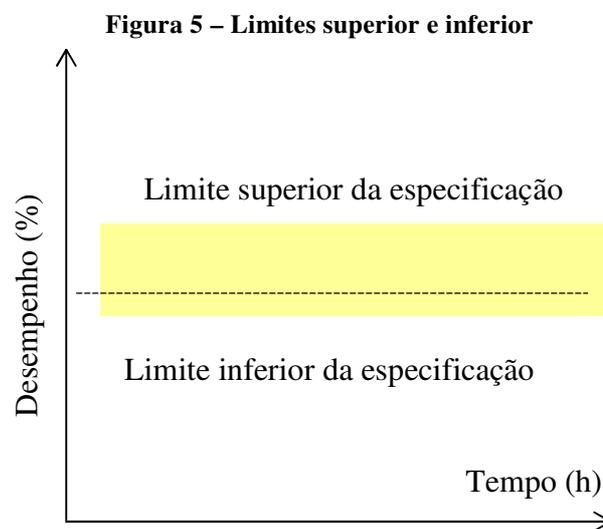
Figura 4 – Ativo com deterioração que ainda está funcionando



Fonte: Moubray (2000)

2.4.3.2 FALHAS LIMITES INFERIORES E SUPERIORES

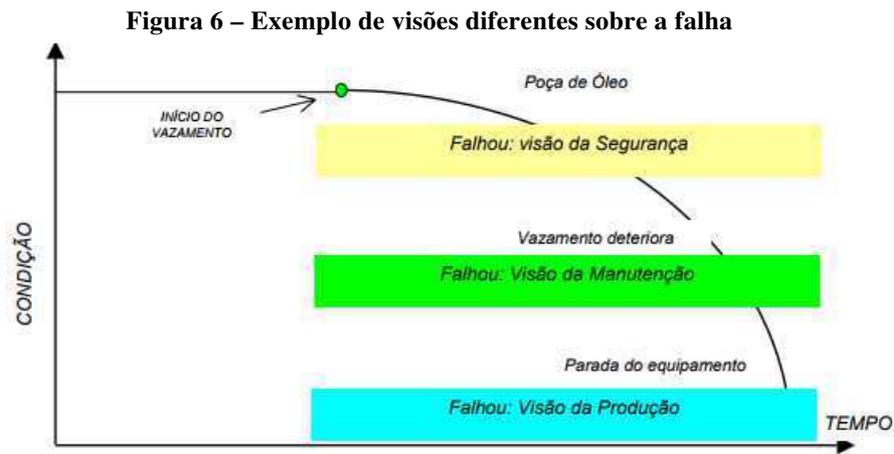
Segundo Moubray (2000), as falhas funcionais de limites são relacionadas à uma faixa de desempenho de alguma função. Quando um equipamento opera fora dos limites de operação, é considerado uma falha de limite, podendo ser inferior ou superior, como podemos verificar na Figura 5. As falhas superiores e inferiores deverão ser analisadas individualmente, pois possuem modos de falha e comportamentos distintos.



Fonte: Moubray (2000)

2.4.3.3 FALHAS DE CONTEXTOS OPERACIONAIS

Segundo Moubray (2000), pode haver diferentes entendimentos e visões das falhas de contextos operacionais. Na visão da Segurança do Trabalho, a falha é entendida como um potencial risco de acidente, já na visão da Manufatura, a falha é considerada caso haja impacto na produção do equipamento e na visão da Manutenção, o consumo excessivo de materiais sobressalentes pode ser considerado uma falha. A equipe multifuncional deve discutir e definir quais falhas são relevantes, na Figura 6 podemos verificar as diferentes visões de uma falha.



Fonte: Lafraia (2001)

2.4.4 ETAPA 4 – MODOS DE FALHAS E CONSEQUÊNCIAS

Para Siqueira (2005), o Modo de Falha indica o comportamento das falhas funcionais, permitindo intervir com antecipação. A boa análise do modo de falha, permite minimizar os efeitos provocados pela falha.

Para Lafraia (2001), os modos de falha podem ser analisados pela ferramenta FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*), considerando vários potenciais listados em um formulário, determinando ações para minimizar ou mitigar as falhas. Para Rigoni (2009), os modos de falha podem ser analisados por ferramentas, como a variação do FMEA, o FMECA (*Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*), cujo tem função a priorização das intervenções da Manutenção, atribuídos pela criticidade.

2.4.5 ETAPA 5 – AÇÕES PREVENTIVAS

Após a análise dos Modos de Falha, é necessário determinar a ações preventivas para atenuar os efeitos e consequências das falhas. Segundo a definição de Lafraia (2001), ações manutenção preventiva são tarefas regulares,

embasadas em critérios previamente determinados e planejados, destinados a minimizar a falha ou deterioração de um componente ou sistema.

Para Lafraia (2001), há diferentes segmentos de Manutenções Programadas, como a Manutenção Preventiva, baseada na regularidade de tempo para as intervenções, Manutenção Preditiva, realizada por instrumentos, para detectar a condição do equipamento ou componentes e também a Manutenção Detectiva, realizada através de testes práticos no equipamento, verificando o seu comportamento.

2.4.6 ETAPA 6 – FREQUÊNCIAS DE INTERVENÇÕES PREVENTIVAS

Para Kroner (1999), é altamente recomendável comparar o Plano de Manutenção Programada existente e assim identificar novas oportunidades, podendo aumentar a frequência de intervenção. A alta frequência de intervenção eleva o custo fabril, por esse motivo deve-se ser rigoroso ao aumentar a frequência das ações

2.4.7 ETAPA 7 – MELHORIA CONTÍNUA E ACOMPANHAMENTO

Segundo Moubray (2000) A implementação da metodologia RCM em uma única frente de trabalho não garante bons resultados por um longo período, é necessário acompanhar os resultados com indicadores e revisões regulares dos formulários preenchidos, atualizando-os conforme a evolução tecnológica e o contexto fabril. Muitos componentes e sistemas são evoluídos diariamente, portanto há a necessidade da melhoria continua podendo eliminar alguns modos de falha e/ou ações preventivas antes existentes.

3 METODOLOGIA

3.1 MÉTODOS DE PESQUISAS

O trabalho científico iniciou-se pela necessidade das empresas em atingirem os resultados de performance dos ativos. A eleição para a ferramenta adotada foi baseada em pesquisas, casos de sucesso, experiência profissional, estudos dos resultados propostos, aplicações práticas e recomendações, que segundo Creswell (1994), satisfazem as condições para a definição da metodologia.

3.1.1 PESQUISAS DE ACORDO COM A ABORDAGEM

Para Mazzotti (2001), há dois tipos de pesquisas de acordo com a abordagem: as pesquisas qualitativas e as pesquisas quantitativas.

Para Marconi (2008), as pesquisas quantitativas é a mais sugerida para analisar dados conscientes, ou seja, dados exatos e indicados em formas de respostas objetivas. Por coletar dados de pesquisas com respostas delimitadas, evitando os erros de interpretação, é facilmente mensurável, admitindo as hipóteses do pesquisador de forma direta, através de indicadores e amostras numéricas.

Para Mazzotti (2001), as pesquisas qualitativas é de difícil mensuração, estimulando os entrevistados a pensarem livremente sobre as melhorias da implementação da metodologia. A mensuração torna-se imprecisa devido às motivações pessoais não explícitas e espontâneas. O maior objetivo dessa pesquisa é a busca de percepções e entendimentos individuais do tema, obrigando o pesquisador a organizar os dados coletados e interpretar os entendimentos para desenvolver a importância e o sucesso da aplicação do estudo.

3.1.2 PESQUISAS DE ACORDO COM OS OBJETIVOS

Para Silva (2001), há 3 tipos de pesquisas de acordo com os objetivos: pesquisas exploratórias, pesquisas explicativas e pesquisas descritivas.

As pesquisas exploratórias são sugeridas para a familiarização do problema, evidenciando-os através de pesquisas bibliográficas, entrevistas pessoais com um público definido, geralmente com experiência no assunto estudado.

As pesquisas explicativas têm como característica a origem dos fenômenos estudados, explicando os motivos dos eventos e consequências dos problemas.

As pesquisas descritivas têm como principal característica descrever os detalhes dos eventos, tendo como aplicação padronizada para as coletas de dados como observações sistemáticas e também questionários aplicados para um público alvo.

3.1.3 PESQUISAS DE ACORDO COM OS PROCEDIMENTOS TÉCNICOS

Para Silva (2001), há 6 tipos de pesquisas de acordo com os procedimentos técnicos: pesquisa bibliográfica, caracterizada pela base dos dados já existir em artigos publicados; pesquisa experimental, caracterizado especialmente pela existência de um objeto de estudo, observando os controles e variações dos dados; pesquisa documental, assemelha-se à pesquisa bibliográfica, tendo como diferencial o embasamento de artigos que ainda não foram analisados tecnicamente; pesquisa de levantamento, com a principal característica o interrogatório direto com os entrevistados, responsáveis pelo fornecimento dos dados; estudo de caso, um estudo detalhado de um tema com aplicação prática; pesquisa *expost-facto*, com o mesmo objetivo da pesquisa experimental, mas baseado nas novas variáveis ocasionadas pelas variáveis já mapeadas no processo inicial.

3.2 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE PESQUISAS

Para o estudo científico em questão, fez necessário a comprovação dos bons resultados da aplicação da metodologia RCM, como uma ferramenta essencial para o gerenciamento das performances dos ativos, direcionando os recursos para os processos mais críticos.

Em um primeiro momento, o estudo foi determinado através de pesquisas exploratórias, familiarizando com as lacunas e necessidades da falta de gerenciamento dos ativos pelas companhias.

Após a pesquisa exploratória, foi necessário a pesquisa bibliográfica, evidenciando os benefícios teóricos da implementação da ferramenta através de artigos já publicados por especialistas.

Para a consolidação do estudo, foi eleito uma pesquisa qualitativa, para verificar as melhorias não mensuráveis, mas de benefícios incontestáveis pelos profissionais que já aplicaram a metodologia. Também foi realizado uma pesquisa quantitativa, para comprovar os resultados da metodologia em valores para análise dos investimentos necessários e retorno previsto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 RESULTADOS

Os resultados, alguns já expostos neste estudo, são vários. Os bons resultados finais são os resultados das qualidades de entradas e processamento de informações coletadas durante a implementação. Melhorias de desempenhos operacionais, maior eficiência da Manutenção, redução dos custos de Manutenção, e maior vida útil dos ativos são considerados resultados mensuráveis com a implementação da metodologia RCM.

A implementação do RCM também oferece melhorias organizacionais, como a criação de um banco de dados com o histórico dos equipamentos, trabalho em equipe, motivação e evolução técnica dos participantes, integridade ambiental e maior segurança.

Segundo Kardec (1999), a implementação da metodologia RCM pode reduzir entre 40% e 70% da quantidade de trabalho de rotina e entre 10% e 30% do total de trabalhos da Manutenção. Segundo o relatório anual do International Journal of Science and Research (2013), a redução a perda de materiais entre 35% e 50% e também a o quadro operacional da Manutenção entre 35% e 60%.

4.2 ARGUMENTOS CONTRA O RCM

Com a crescente oferta de serviços e consultorias prestados por profissionais, afirmando fornecer processos e metodologias melhores, mais rápidas e menos custosas e burocráticas, comparadas à metodologia RCM criada por Nowlan e Heap, há sempre a contestação do sucesso descrito nas literaturas profissionais.

Segundo o artigo de Moubray (2000), intitulado “The case against Streamlined RCM”, realmente o RCM nem sempre é bem sucedido, ele foi falho em um terço das organizações onde foi implementado, tendo o colapso atingido antes dos resultados da metodologia. Porém o sucesso nos dois terços das organizações

foi absoluto, com resultados surpreendentes. Sem exceção, a frustração da porção que a metodologia falhou, foi por questões organizacionais e não por razões técnicas.

A principal razão para a falha, é o incentivador (“champion”) do projeto ter alterado de posição ou companhia. A segunda maior razão, é o consultor RCM não ter sinergia e entusiasmo suficientes para contaminar os envolvidos. As duas razões evidenciam que a falha foi organizacional, e não técnica.

Se a consultoria para implementação e a formação da equipe multifuncional for bem preparada, os resultados iniciais são verificados entre duas semanas e dois anos, dependendo do segmento da companhia.

Defensores de outras metodologias, como a PMO (*Planned Maintenance Optimization*), argumentam que o RCM atinge os resultados em 6 (seis) anos, enquanto a PMO atinge em 1 (um) ano, porém não há comprovação acadêmica desses atingimentos com qualidade e segurança do processo.

Há outro argumento, de que o RCM é aplicável apenas para companhias de alto risco, como petroquímicas e gás, indicando que o RCM não é eficaz em companhias com o parque industrial mais leve. Esse argumento também não é válido, tendo o RCM vários casos de sucesso aplicados nessas pequenas companhias.

A falta de dados precisos que as companhias apresentam, pode levar às companhias acreditarem que o RCM não pode ser aplicado, mas os registros indicam que a maioria das empresas que tiveram sucesso, não apresentavam registros históricos precisos dos equipamentos. A metodologia RCM é apta a absorver a falta de registros, realizando análises pelas experiências dos operadores e manutentores, pois o RCM reconhece que as informações necessárias para tomada de decisões nem sempre estão disponíveis, e, mais uma vez, é um sucesso absoluto na maioria das empresas que adotaram essa metodologia. Afinal, o risco da metodologia RCM falhar, é o mesmo risco das outras metodologias falharem, pois depende do comprometimento organizacional.

5 CONCLUSÃO

A implementação do sistema de RCM na empresa, é uma componente para torna-la de classe mundial, trabalhando com ferramentas organizacionais capazes de competir globalmente.

Segundo Mirshawka (1993), o departamento responsável pela manutenção dos ativos da empresa é determinante para eleger as melhores práticas, frequências e ações de manutenção para reduzir à uma quantidade mínima os custos operacionais da não eficácia, fomentando a competitividade e qualidade dos produtos fabricados.

Além das melhoras nos aspectos diretamente relacionados com os clientes, a correta implementação do RCM reflete no aumento da precisão da manufatura, em instalações e operações confiáveis, em entregas regulares para os clientes e respeito ao meio ambiente e segurança dos colaboradores.

Neste trabalho foram abordados os recursos necessários e os resultados esperados com a aplicação da metodologia RCM. Também houve uma abordagem das implementações precipitadas e malsucedidas, não reagindo de forma esperada. Se o RCM for implementado corretamente, direciona a empresa para os atingimentos dos principais indicadores de ativos, solucionando problemas latentes e crônicos da não eficiência da produção.

A confiabilidade de máquina é tida como um requisito de projeto, e o setor responsável pela manutenção dos ativos tem como missão e dever de manter o índice proposto no projeto, determinando o retorno financeiro do equipamento, uma característica fundamental em um mercado cada vez mais global e competitivo, exigente por retornos rápidos e sem espaços para perdas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRANCO FILHO, G. **A Organização, o Planejamento e o Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda.: 2008.

CRESWELL, J. W. **Research Design: Qualitative and Quantitative Approaches**. Thousand Oaks: 1994

KARDEC, A., XAVIER, J. A. N. **Manutenção: Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark: 2009.

KRONER, W. **Produtividade e Qualidade na Manutenção**, Apostila apresentada no curso para Gerenciamento da Manutenção – Weiland Kroner, São Paulo: 1999.

LAFRAIA, J. R. B. **Manual de Confiabilidade, Mantenabilidade e Disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobras: 2001.

International Journal of Science and Research. **Availability of Centrifugal Pump on the basis os Weibull Analisys**. Disponível em

< <http://www.ijsr.net/archive/v4i7/SUB156295.pdf>>. Acesso em 2017, 01 ago.

MARCONI M.A., L. EM. **Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisa, elaboração, análise e interpretação de dados**. 7th ed. São Paulo: Atlas; 2008

MAZZOTTI, A. J., GEWANDSZNAJDER, Fernando. **O método nas ciências naturais e sociais: pesquisa quantitativa e qualitativa**. 2. ed. São Paulo: Pioneira, 2001.

MIRSHAWKA, V., OLMEDO, N.L. **Manutenção – Combate aos Custos da Não Eficácia** – A vez do Brasil. Ed. Makron Books, São Paulo: 1993

MOUBRAY, J. **Manutenção Centrada em Confiabilidade**, 2ed. Lutterworth, Inglaterra: Aladon Ltd.: 2000.

NOWLAN, F.S. e HEAP, H.F. **Reliability-Centered Maintenance**. Artigo publicado pela United Airlines para o escritório de Defesa de Washington: 1978

RAUSAND, M. **Reliability Centered Maintenance, Paper of Department of Production and Quality Engineering**, Norwegian University of Science and Technology, n-7034 Trondheim, Norway: 1998

SAE Standard JA1012, **A Guide to the ReliabilityCentered Maintenance (RCM) Standard**: 2011.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. 3. ed. rev. atual. Florianópolis**: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.121p.

SIQUEIRA, I. P. **Manutenção Centrada na Confiabilidade – Manual de Implementação**, 1 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark: 2005.

SULLIVAN, G. P., R. MELENDEZ, A. P. e HUNT, W. D. **Operations & Maintenance Best Practices A Guide to Achieving Operational Efficiency**. Pacific Northwest National Laboratory for the Federal Energy Management Program: 2004