



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO EM ENGENHARIA MECÂNICA

RAFAELY FERREIRA DE SOUZA

Comparação entre os métodos da manutenção centrada em confiabilidade e a inspeção baseada em risco como ferramentas de gestão para tomadas de decisões em engenharia

Recife

2018

RAFAELY FERREIRA DE SOUZA

Comparação entre os métodos da manutenção centrada em confiabilidade e a inspeção baseada em risco como ferramentas de gestão para tomadas de decisões em engenharia

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal de
Pernambuco, na disciplina de Trabalho de
Conclusão de Curso 2.

**Orientador: Prof. M.Sc. Luiz Adeildo da
Silva Junior.**

Recife

2018

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

- S729c Souza, Rafaely Ferreira de.
Comparação entre os métodos da manutenção centrada em confiabilidade e a inspeção baseada em risco como ferramentas de gestão para tomadas de decisões em engenharia / Rafaely Ferreira de Souza - 2018.
73 folhas, il., tabs., sigl.
- Orientador: Prof. Dr. Luiz Adeildo da Silva Junior.
- TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Graduação em Engenharia Mecânica, 2018.
Inclui Referências.
1. Engenharia Mecânica. 2. Manutenção centrada em confiabilidade. 3. Inspeção baseada em risco. 4. API – 581. 5. Comparação. 6. Manutenção Preventiva. 7. Métodos de Gerenciamento. I. Silva Junior, Luiz Adeildo da (Orientador). II. Título.

UFPE

621 CDD (22. ed.)

BCTG/2018-498



**Universidade Federal de Pernambuco Departamento
de Engenharia Mecânica
Centro de Tecnologia e Geociências- CTG/EEP**



**ATA DE SESSÃO DE DEFESA DE
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC2**

Aos 13 dias do mês de dezembro do ano de dois mil e dezoito, às 17:00h, no bloco de salas de aula do Centro de Tecnologia e Geociências da UFPE, reuniu-se a banca examinadora para a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, intitulado: **Comparação entre os Métodos de Manutenção Centrada em Confiabilidade e a Inspeção Baseada em Risco como Ferramentas de Gestão para Tomadas de Decisões em Engenharia**, elaborado pelo aluno **Rafaely Ferreira de Souza**, matrícula 1.021.1392.464, composta pelos membros **Luiz Adeildo da Silva Júnior**, **Dayse Cavalcanti de Lemos Duarte** e **Marcus Costa de Araújo**. Após a exposição oral, o candidato foi argüido pelos componentes da banca que em seguida reuniram-se reservadamente, e deliberaram pela APROVAÇÃO (aprovação/reprovação) do candidato no Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica da UFPE, atribuindo-lhe à monografia a média 8,5 (OITO, CINCO). Para constar, redigi a presente Ata, aprovada por todos os presentes, que vai assinada por mim e pelos demais membros da banca.

Prof. Orientador: Prof. Msc. **Luiz Adeildo da Silva Júnior**

Nota:

Assinatura

Examinador 1 : Prof. Dra. **Dayse Cavalcanti de Lemos Duarte**

Nota:

Assinatura

Examinador 2 : Prof. Dr. **Marcus Costa de Araújo**

Nota:

Assinatura

Recife, 13 de dezembro de 2018

José Maria A. Barbosa
Coordenador de Trabalho de Conclusão de Curso – TCC2
Curso de Graduação em Engenharia Mecânica – CTG/EEP-UFPE

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, aos meus pais, Raquel Ferreira da Silva Souza e Adilson Maximiano de Souza, e a minha irmã, Amanda Ferreira de Souza, por sempre estarem presentes na minha vida e serem conselheiros nas minhas decisões.

A Universidade Federal de Pernambuco, por me oferecer suporte técnico, através de livros, professores e aulas que auxiliaram no meu Trabalho de Conclusão de Curso.

Ao meu professor orientador, Luiz Adeildo da Silva Junior, por me auxiliar na escolha do tema, nas revisões e conselhos necessários para Conclusão deste Trabalho.

E a todos os meus amigos que me ajudaram diretamente ou indiretamente.

RESUMO

A Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) e a Inspeção Baseada em Risco (IBR) são técnicas de gerenciamento de atividades que visam diminuir as atividades de manutenção corretiva em prol de atividades de manutenção preventiva baseadas na priorização das funções ou componentes do processo. O trabalho em questão analisa estudos de caso, destacando as semelhanças e as diferenças referentes ao período histórico, a definição, a priorização, a metodologia e suas etapas e as empresas que mais os utilizam tendo como objetivo esclarecer o porquê de os métodos não serem empregados ao mesmo tempo. O método de pesquisa apresenta caráter exploratório e uma abordagem qualitativa baseando-se em análises bibliográficas e de estudos de casos aplicados em empresas diversificadas. A MCC e a IBR por terem surgidos em momentos históricos similares apresentam semelhanças nas fases iniciais de obtenção de dados e na priorização de itens do processo, porém diferem nos quesitos de tomadas de decisão. Por exemplo, a MCC e a IBR utilizam métodos como FMEA e FMECA e softwares para facilitar a aplicação das técnicas e construção de matrizes de riscos dos componentes, diferenciando-se nos procedimentos posteriores e na obtenção dos dados futuros da manutenção. Uma análise sobre os ramos das empresas é apresentada no final dos resultados a fim de solidificar a expansão dos métodos de gerenciamento. Por fim é observado que apesar da propagação dos métodos na manutenção erros humanos, como a verificação dos dados e não limitação do sistema, interferem diretamente nos resultados obtidos e comprometem a aplicação.

PALAVRAS – CHAVE: Manutenção Centrada em Confiabilidade. Inspeção Baseada em Risco. API – 581. Comparação. Manutenção Preventiva. Métodos de Gerenciamento.

ABSTRACT

Reliability Centered Maintenance (MCC) and Risk Based Inspection (IBR) are activities management techniques that aim to reduce corrective maintenance activities in favor of preventive maintenance activities based on the prioritization of the functions or components of the process. The work in question analyzes case studies, highlighting the similarities and differences related to the historical period, the definition, the prioritization, the methodology and its stages, and the companies that use them the most, aiming to clarify why the methods are not employed at the same time. The research method presents an exploratory character and a qualitative approach based on bibliographical analyzes and case studies applied in diversified companies. MCC and IBR because they appeared at similar historical moments have similarities in the initial phases of data collection and in the prioritization of process items, but they differ in the decision-making aspects. For example, MCC and IBR use methods such as FMEA and FMECA and software to facilitate the application of techniques and construction of component risk matrices, differentiating themselves in the subsequent procedures and obtaining future maintenance data. An analysis of the business lines is presented at the end of the results in order to solidify the expansion of the management methods. Finally, it is observed that despite the propagation of the methods in the maintenance of human errors, such as verification of data and not limitation of the system, interfere directly in the obtained results and compromise the application.

KEYWORDS: Reliability Centered Maintenance. Risk Based Inspection. API – 581. Comparison. Preventive Maintenance. Management Methods.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Os seis padrões de falhas	20
Figura 2 - Software Integrado da MCC	27
Figura 3 - Software IRCMS	28
Figura 4 - Desastre Chernobyl.....	31
Figura 5 - Matriz de Risco.....	34
Figura 6 - Software ReliaSoft RBI	35
Figura 7 - Gráfico de Probabilidade Weibull	46
Figura 8 - Gráfico de Confiabilidade.....	46
Figura 9 - Gráfico de Probabilidade Lognormal	47
Figura 10 - Gráfico de Probabilidade de Reparo versus tempo.....	47
Figura 11 - Matriz de risco dos equipamentos em 10/2001	56
Figura 12 - Matriz de Risco em 10/2005: (a) sem inspeção; e (b) após inspeção	56
Figura 13 - Matriz de Risco em 10/2009: (a) sem inspeção; e (b) após inspeção	57
Figura 14 - Matriz de Risco em 10/2013: (a) sem inspeção; e (b) após inspeção	57
Figura 15 - Distribuição do risco antes da implantação da IBR.....	59
Figura 16 - Distribuição do risco depois da implantação da IBR.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação da Manutenção Tradicional com a MCC	16
Tabela 2- Níveis de Severidade	22
Tabela 3 - Níveis de Frequência	23
Tabela 4 - Softwares Comerciais de MCC	27
Tabela 5 - Valores numéricos associados com a categoria de probabilidade e consequência em API	33
Tabela 6 - Relação Componente x Função	39
Tabela 7 - Análise de modos e efeitos de falhas e causa de falhas.....	40
Tabela 8 - Resultados do diagrama de decisão.....	42
Tabela 9 - Principais componentes e ocorrências de falhas	44
Tabela 10 - Principais componentes e somatório dos tempos de reparo	44
Tabela 11 - Amostra parcial dos dados históricos de manutenção referente à Placa Mecânica	45
Tabela 12 - F(t) e g(t) obtidas para o equipamento em estudo	46
Tabela 13 - Resultados de execução da manutenção preventiva/corretiva	50
Tabela 14 - Falha dos componentes da empresa de madeira.....	52
Tabela 15 - Detalhes das falhas da máquina de casca de madeira	52
Tabela 16 - Custo da manutenção.....	53
Tabela 17 - Detalhes das falhas da máquina de mistura de cola	53
Tabela 18 - Custos da manutenção	54
Tabela 19 - Número e tipo de equipamentos avaliados.....	55
Tabela 20 - Abrangência da IBR na Planta de Olefinas 2	59
Tabela 21 - Comparação da Manutenção Tradicional com a MCC e a IBR	68

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
API	American Petroleum Institute
ASME	American Society of Mechanical Engineers
CNC	Comando Numérico Computadorizado
CoF	Consequência de Falha
EPRI	Electric Power Research Institute
FMEA	Análise de Modos de Falhas e Efeitos
FMECA	Análise de Modos de Falhas, Efeitos e Criticidade
IBR	Inspecção Baseada em Risco
IEC	International Electrotechnical Commission
IRCMS	Integrated Reliability-Centered Maintenance System
ISO	International Organization for Standardization
MCC	Manutenção Centrada na Confiabilidade
M.Sc.	Master of Science
NBR	Norma Brasileira
PETROBRAS	Petróleo Brasileiro S.A.
PoF	Probabilidade de Falha
RBI	Risk Based Inspection
RCM	Reliability Centered Maintenance
REPLAN	Refinaria de Paulínia
SAE	Sociedade de Engenheiros de Mobilidade
SKIFS	Statens kærnkraftinspektions forfattningsamling

US United States

WOG Westinghouse Owners Group

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	JUSTIFICATIVA.....	14
3	OBJETIVOS.....	15
3.1	OBJETIVO GERAL	15
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
4.1	MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE OU MCC	16
4.1.1	Definição do MCC	16
4.1.2	Histórico do MCC.....	17
4.1.3	Implementação do MCC	18
4.1.4	Softwares de Automação MCC	26
4.2	INSPEÇÃO BASEADA EM RISCO OU IBR	30
4.2.1	Definição do IBR.....	30
4.2.2	Histórico do IBR.....	30
4.2.3	Implementação do IBR- Segundo a API 581	31
4.2.4	Softwares de Automação IBR.....	35
5	METODOLOGIA	36
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
6.1	ESTUDOS DE CASOS.....	38
6.2	ANÁLISES DOS ESTUDOS DE CASOS	64
6.2.1	Quanto à Definição	64
6.2.2	Quanto ao Histórico	64
6.2.3	Quanto ao Método	65
6.2.4	Quanto à Aplicabilidade das Ferramentas	66

6.2.5 Quanto às Dificuldades na Implantação.....	67
6.2.6 Quanto ao Ramo de Empresas que as Utilizam.....	67
6.3 COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS	68
7 CONCLUSÕES	69
8 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	71
REFERÊNCIAS	72

1 INTRODUÇÃO

Numa época onde o conhecimento de uma empresa é considerado um dos seus bens mais importantes, é necessário que ela esteja sempre preparada e em busca de novas técnicas que podem facilitar a compreensão acerca dos problemas e dificuldades enfrentados. Por isso, desde a metade do século passado, métodos alternativos de gerenciamento na engenharia vêm sendo utilizados na área de manutenção para diminuir as paradas não programadas que interferem na produtividade, aumentando a disponibilidade e a vida útil dos ativos, a confiabilidade e a segurança no local de trabalho.

Entre os métodos destacam-se a Manutenção Centrada em Confiabilidade - MCC e a Inspeção Baseada em Risco - IBR. A escolha dos métodos em questão fora pensada por causa da importância deles na área de manutenção atualmente, que vem implementando como prioridade a confiabilidade e análise do risco de forma qualitativa e quantitativa. O comparativo desses dois métodos visa esclarecer e examinar o porquê que, apesar dos dois métodos serem muito empregados no ramo industrial, eles em muitos casos não são empregados ao mesmo tempo.

O comparativo será realizado através de dados bibliográficos e análise de estudos de casos utilizando de uma metodologia qualitativa para averiguação dos resultados. O método proposto para análise pretende através de relatos formar um estudo que permite compreender e explorar a natureza de cada método reunindo informações teóricas importantes ao implementar as técnicas ao dia a dia.

Muitas aplicações dos métodos isolados são encontradas em produções acadêmicas, onde obtemos informações sobre a metodologia aplicada e os resultados obtidos após a aplicação. Porém, quando os dois métodos são relatados em forma comparativa ficam restritos aos dados bibliográficos entre os métodos. A fim de aumentar os dados analisados e diferenciar das produções já realizadas com o tema propomos a adição da análise de diferentes estudos de casos, além dos comparativos em distintos aspectos.

2 JUSTIFICATIVA

Momentos históricos como a expansão aeronáutica americana na década de 60 e 70 e o acidente estruturais na década de 80, como o de Chernobyl em 1986, onde riscos humanos estão diretamente envolvidos, contribuíram para a criação dos métodos estudados e sua posterior difusão no meio industrial. O avanço de métodos de gerenciamento, como a MCC e a IBR, pode ser observado no ambiente industrial, justamente por serem ferramentas criadas com o intuito de promover a melhoria da manutenção através de dados confiáveis e calculados, focados não apenas em aspectos econômicos.

A realização de comparações com o objetivo de compreender cada método e como aplicar é importante para examinar os métodos de diferentes aspectos e porque a aplicação dos métodos pode não ser satisfatória em alguns casos. Devido ao aumento de empresas utilizando esses métodos, a documentação de produções acadêmicas é significativa para quem deseja adquirir conhecimentos a respeito de temas específicos. Podendo posteriormente ser aproveitados para fins acadêmicos e práticos facilitando a aplicação da metodologia ou para que futuros autores possam aperfeiçoar o que foi observado até então.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desse trabalho corresponde a um estudo detalhado de ambos os métodos, evidenciando as semelhanças e as diferenças entre os dois, uma vez que eles são muito empregados, mas nem sempre ao mesmo tempo e examinar porque isso ocorre. Além de comparar a aplicabilidade das duas ferramentas, quais empresas mais utilizam esses métodos e quais dificuldades são encontradas na implantação deles.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Com o intuito de atingir os objetivos gerais citados são delimitados objetivos mais detalhados, são eles:

- Escolha de estudos de caso que possam ser utilizados para a análise da ferramenta;
- Análise dos estudos de caso;
- Análise da aplicabilidade da ferramenta com o intuito exploratório a fim de responder alguns dos objetivos gerais;
- Análise bibliográfica de quais as principais diferenças e semelhanças entre os métodos, além da fornecida pela análise do estudo de caso;
- Pesquisa referente às principais empresas que utilizam os métodos.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE OU MCC

4.1.1 Definição do MCC

De acordo com a Norma NBR-5462 (ABNT, 1994) a manutenção é definida como a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em estado no qual possa desempenhar uma função requerida, podendo até modificar o estado original. O emprego da confiabilidade na manutenção permitiu elevar a qualidade de produtos com o aumento da utilização da ISO-9000, a análise de risco e segurança que utilizam técnicas de confiabilidade e a otimização da manutenção promovendo melhorias na disponibilidade e segurança dos equipamentos. (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2011).

Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), advém do inglês *Reliability Centered Maintenance* (RCM), que segundo Fogliatto e Ribeiro (2011) pode ser definida como um programa que reúne várias técnicas de engenharia para assegurar que os equipamentos de uma planta fabril continuarão realizando as funções especificadas. Moubray (1997) afirma que a definição formal da MCC corresponde a um processo usado para determinar o que deve ser feito para assegurar que qualquer ativo físico continue a fazer o que os seus usuários querem que ele faça no seu contexto operacional presente.

Ambos Moubray e Fogliatto e Ribeiro definem a MCC como um conjunto de técnicas que permitem prolongar o tempo de vida do objeto, mantendo suas funções específicas através de paradas de manutenção planejadas de acordo com técnicas estatísticas.

A MCC surge introduzindo novos conceitos, características e expectativas à manutenção tradicional como observado através da tabela 1 por Siqueira (2014).

Tabela 1 - Comparação da Manutenção Tradicional com a MCC

Características	Manutenção Tradicional	MCC
Foco	Equipamento	Função
Objetivo	Manter o Equipamento	Preservar a função
Atuação	Componente	Sistema
Atividades	O que pode ser feito	O que deve ser feito

Dados	Pouca ênfase	Muita ênfase
Documentação	Reduzida	Obrigatória e Sistemática
Metodologia	Empírica	Estruturada
Combate	Falhas	Consequências das Falhas
Normalização	Não	Sim
Priorização	Inexistente	Por função

Fonte: Siqueira (2014, p.17)

4.1.2 Histórico do MCC

Partindo do objetivo de se estimar a confiabilidade dos equipamentos e sistemas, a manutenção centrada em confiabilidade surgiu em meados da década de 60 e 70 com o intuito de se aperfeiçoar a manutenção do sistema aéreo americano.

Segundo Moubray (1997), a manutenção dos equipamentos é dividida em três períodos distintos que servem como base para a compreensão da MCC, sendo eles:

Primeira Geração: A primeira geração abrange o período até a 2ª Guerra Mundial. Neste período como a indústria não era altamente mecanizada, as paralizações que os equipamentos eram submetidos à espera de recuperação de falhas não eram muito importantes. Consequentemente, não era necessária uma manutenção sistemática de qualquer tipo além de simples limpeza, assistência e lubrificação. A necessidade de habilidades era também menor que é hoje. (MOUBRAY, 1997)

Segunda Geração: Após a 2ª Guerra Mundial o aumento da demanda por bens de todos os tipos, levou ao aumento da mecanização industrial. Por volta da década de 50, devido ao aumento de máquinas de todos os tipos e mais complexas, o meio industrial começou a ficar mais dependente das manutenções, não só as corretivas como na primeira geração. O tempo de paralização delas entrou em um foco estreito, levando ao conceito de que as falhas dos equipamentos podem e devem ser evitadas surgindo então a manutenção preventiva que consistia em revisões gerais dos equipamentos feitas em intervalos fixos. (MOUBRAY, 1997)

Terceira Geração: No final dos anos 50 e início dos anos 60, o interesse dos norte-americanos esteve centrado no desenvolvimento de mísseis intercontinentais e na pesquisa espacial, eventos motivados pela Guerra Fria, que impulsionou os avanços na área de confiabilidade, tendo em

vista os riscos humanos envolvidos. A partir da década de 70 os preceitos da confiabilidade foram sendo adotados em outros setores, inicialmente na construção e operação de usinas nucleares, consolidando-se posteriormente em diversas outras áreas. A terceira geração veio com alterações anteriormente vigentes em relação as perspectivas, pesquisas e técnicas de implementação. (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2011; MOUBRAY, 1997).

A manutenção centrada em confiabilidade surgiu na terceira geração, devido a necessidade de aumentar a confiabilidade dos sistemas e diminuir as paradas por falhas do sistema, aumentando assim a vida útil do maquinário e utilizando os preceitos da engenharia de confiabilidade para a estimativa de dados.

A respeito da normatização da MCC, Siqueira (2014) observou que é realizada pelas normas IEC 60300-3-11, com recomendações para aplicação de um MCC baseado no padrão MSG-3 da ATA e pela norma SAE JA1012 que define os requisitos mínimos que um processo seja classificado como MCC.

4.1.3 Implementação do MCC

Sobre o processo de implementação da MCC, existem diferentes versões, variando o número de etapas, a ordem que devem ser implementadas e as ferramentas utilizadas, pois estes fatores de certa forma estão atrelados à experiência do autor. Porém, apesar disso, é necessário que a abordagem e os objetivos respeitem o conceito principal da MCC.

Moubray (1997) expõe sete questões que devem ser baseadas na metodologia MCC:

1. Quais são as funções e os padrões de desempenho de um ativo no seu contexto presente de operação?
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. De que forma cada falha importa?
6. O que pode ser feito para predizer ou prevenir cada falha?
7. O que deve ser feito se não for encontrado uma tarefa proativa apropriada?

Siqueira (2014) propõe além dos sete, uma questão adicional envolvendo a otimização das frequências das atividades:

8. Qual a frequência ideal das tarefas?

Essas questões são reorganizadas em etapas que facilitam a implementação delas através de uma metodologia criteriosa.

- Etapa 1: Identificação das Funções do Sistema;
- Etapa 2: Análise dos Modos de Falha e Efeitos;
- Etapa 3: Seleção das Funções Significativas;
- Etapa 4: Seleção das Atividades Aplicáveis;
- Etapa 5: Avaliação da Efetividade das Atividades;
- Etapa 6: Seleção das Atividades Aplicáveis e Efetivas;
- Etapa 7: Definição da Periodicidade das Atividades.

ETAPA 1- Identificação das Funções do Sistema

Considerando como um dos aspectos mais importantes da MCC, corresponde a obtenção e compreensão das funções de cada ativo, juntamente com os padrões de desempenho que devem ser mantidos durante sua vida útil. As ações presentes nesta etapa são relacionadas a definição do nível de análise, seleção dos sistemas, coleta de informações e identificação dos sistemas e identificação das funções do sistema. (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2011; MOUBRAY, 1997).

A definição da função é descrever as ações ou exigências que o sistema ou equipamento deve realizar, devendo ser de forma cautelosa, pois geralmente um equipamento apresenta mais de uma função, incluindo funções passivas, não tão óbvias quanto às principais que podem apresentar impactos significativos.

Sobre a identificação das funções dos sistemas, Moubray (1997) recomenda dividi-las em duas categorias:

Funções primárias ou principais: correspondem as razões da existência do componente, são bastante fáceis de serem encontradas e a dificuldade reside mais nas avaliações de desempenho esperado do modelo.

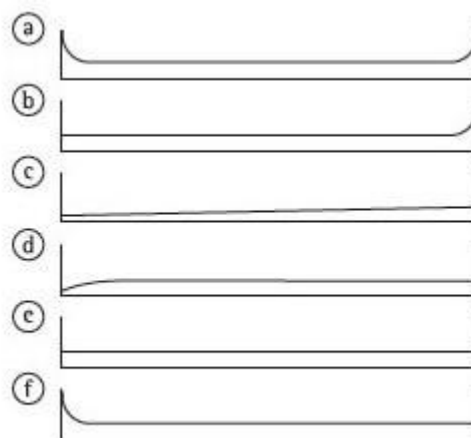
Funções secundárias ou auxiliares: são as funções extras realizadas pelos componentes, normalmente relacionados com as áreas de contenção, conforto, aparência, segurança, economia e eficiência e outras funções supérfluas ou não.

ETAPA 2- Análise dos Modos de Falha e Efeitos

Falhas, ou falhas funcionais, estão relacionadas com a incapacidade do componente de realizar a função pré-estabelecida de forma segura. A prevenção é considerada como um dos principais objetivos da manutenção e está comumente diferenciada em três aspectos: Falhas evidentes, ocultas e múltiplas. (MOUBRAY, 1997; SIQUEIRA, 2014)

As falhas evidentes são as que são detectadas durante o trabalho normal da equipe. As falhas ocultas são as falhas que não são detectadas durante o trabalho e as múltiplas são quando a combinação de duas falhas ocultas a tornarem evidentes. Através de estudos, no início da década de 70 foram identificados 6 tipos de padrões de falhas de equipamentos ao longo de sua vida útil:

Figura 1 - Os seis padrões de falhas



Fonte: Moubray (1997, p. 12)

Cada padrão de falha representa como se dá o comportamento de determinado componente ao longo de sua vida útil. O padrão “a”, também conhecido como curva da banheira, apresenta como características a mortalidade infantil, situação onde falhas podem se apresentar logo ao início da operação do equipamento, a taxa de falhas constantes durante boa parte da vida útil e uma zona de desgaste ao final do processo. O padrão “b” apresenta uma taxa de falha constante e uma zona de desgaste ao final do processo. O padrão “c” apresenta um

aumento gradual da probabilidade de falha. No padrão “d” o sistema não apresenta grandes probabilidades de falhas no início do processo e durante o restante do tempo essa probabilidade se apresenta constante. No padrão “e” durante toda a vida útil a probabilidade de falha é constante. O padrão “f” começa com alta mortalidade infantil e depois se apresenta constante. (MOUBRAY, 1997; SIQUEIRA, 2014).

A identificação dos modos e as causas das falhas são extremamente importantes, pois possibilita prever diversos cenários plausíveis de acontecer o que facilitará na identificação e correção deles. Siqueira (2014) defende a importância de se diferenciar muito bem esses dois aspectos, pois modos de falha correspondem ao que está errado na função e as causas das falhas ao motivo de ocorrerem essas falhas. Para a documentação e análise das falhas são comumente empregadas as ferramentas: Análise dos Modos de Falha e Efeitos (*FMEA – Failure Mode and Effects Analysis*) e Análise Crítica dos Modos de Falhas e Efeitos (*FMECA – Failure Mode Effects and Criticality Analysis*).

FMEA

Segundo a norma NBR 5462(1994) a Análise dos Modos de Falhas e Efeitos, ou FMEA, é definida como uma ferramenta que fornece dados qualitativos através da análise de confiabilidade que envolve o estudo dos modos de falha que podem existir para cada item, e a determinação dos efeitos de falha sobre os outros itens e sobre a função específica do conjunto.

Constitui de uma sequência de passos lógicos, através da identificação dos modos de falhas de menor nível e os mecanismos de falha, montando então o efeito de cada falha nos vários níveis do sistema. A análise pode ser realizada em dois níveis: FMEA de Projeto ou Produto e FMEA de Processo. (MOBLEY, 1999).

FMECA

A FMECA corresponde a junção da análise FMEA com a Análise de criticidade (C), porém é mais indicada em casos que envolvem grandes números de falhas potenciais ao sistema. A análise de criticidade relaciona a severidade ou gravidade da falha no sistema com a probabilidade de ocorrência.

$$FMECA = FMEA + C, \quad (4.1)$$

Onde,

$$C = \text{Criticidade} = (\text{Ocorrência}) \times (\text{Severidade}), \quad (4.2)$$

Muitos autores apresentam como parâmetro de aplicação um fluxo das atividades que são baseadas na norma IEC 60518.

A última parte da análise diz respeito à identificação dos efeitos das falhas causadas quando o modo de falha se apresenta. A identificação dos efeitos das falhas serve como parâmetro para análise das consequências das falhas. Os efeitos de falhas podem estar presentes em três níveis: Nível local quando está presente somente no limite da análise, nível de subsistema quando ultrapassa para um nível superior ao limite analisado e nível de sistema quando o efeito ultrapassa os limites interferindo na função principal do processo (MOUBRAY, 1997; NAVSEA, 2007).

Em relação à classificação dos efeitos, deve-se estabelecer logo ao final da FMEA ou FMECA, o nível de gravidade que representará uma avaliação qualitativa do efeito da falha no sistema, levando em consideração o fato de que cada modo de falha apresenta vários efeitos e cada efeito pode ter impactos diferentes no sistema.

Além da classificação dos efeitos são realizadas operações para avaliar a severidade, a frequência, a análise de criticidade e a aceitabilidade do risco. A severidade leva em consideração todas as áreas do processo, como segurança, meio ambiente, qualidade e produção. Siqueira (2014) classifica a severidade em cinco categorias de acordo com níveis.

Tabela 2- Níveis de Severidade

Categoria	Severidade	Valor	Dano		
			Ambiental	Pessoal	Econômico
I	Catastrófica	5	Grande	Mortal	Total
II	Crítica	4	Significante	Grave	Parcial
III	Marginal	3	Leve	Leve	Leve
IV	Mínimo	2	Aceitável	Insignificante	Aceitável
V	Insignificante	1	Inexistente	Inexistente	Inexistente

Fonte: Siqueira (2014, p. 101)

As categorias apresentadas por Siqueira (2014), são baseadas na obra de Moubray (1997), que detalha cada categoria em questão de acordo com os danos causados. O efeito catastrófico está relacionado às grandes perdas que podem ocorrer num sistema, como: Morte de funcionários, perda dos equipamentos mais importantes na planta e danos severos ao meio

ambiente. O crítico se apresenta como um nível abaixo do catastrófico e está relacionado a ferimentos graves e danos significativos ao sistema e assim por diante.

A frequência corresponde à probabilidade de ocorrência de cada modo de falha. A tabela 3 apresenta um exemplo do nível de frequência relacionado com a taxa de ocorrência da falha.

Tabela 3 - Níveis de Frequência

Nível	Frequência da Falha	Taxa de Falhas	Descrição
6	Muito alta	$\geq 1/10$	Taxa de falha muito alta
		1/20	Falha ocorre continuamente
5	Alta	1/50	Taxa de falha elevada
		1/100	Falha ocorre com frequência
4	Moderada	1/200	Taxa de falha moderada
		1/500	Falha ocorre ocasionalmente
3	Ocasional	1/1000	Taxa de falha ocasional
		1/2000	Falha razoavelmente esperada
2	Baixa	1/5000	Baixa taxa de falha
			Falha ocorrerá excepcionalmente
1	Remota	1/10000	Remota probabilidade de ocorrer Sugerido esperar que não ocorra

Fonte: Baran (2011, p. 48)

ETAPA 3- Seleção das Funções Significativas

A seleção das funções significativas pode ser realizada através de um fluxo de decisão, onde os critérios utilizados para avaliar o seu impacto apresentam a ordem: segurança e meio ambiente, operação do sistema e aspectos econômicos. Nessa fase a lógica de decisão avalia o efeito do modo de falha durante a execução normal da atividade. A partir do efeito são avaliadas as consequências e quais danos oferecerá ao sistema, casos em que afeta diretamente a segurança e o meio ambiente, sejam eles evidentes ou ocultos, devem ser analisadas as tarefas a fim de se encontrar as causas. Como a análise de decisão auxiliará no cálculo de necessidade e periodicidade da manutenção, a documentação das atividades é importante para futuras auditorias. (NAVSEA, 2007 e SIQUEIRA, 2014).

ETAPA 4- Seleção das Atividades Aplicáveis

Segundo Baran (2011) na etapa de seleção das atividades a metodologia é bastante parecida nas diferentes versões da MCC, onde são estabelecidos dados técnicos e práticos que auxiliam nas ações posteriores referentes à manutenção aplicada. Algumas classificações são apresentadas por Moubray (1997) em relação a atividade de manutenção e adaptadas por Siqueira (2014) são elas: Substituição preventiva, restauração preventiva, inspeção preditiva, inspeção funcional, serviço operacional, manutenção corretiva e reparo funcional.

A substituição e a restauração preventiva estão direcionadas por tempo, onde consiste da reposição e correção, respectivamente, de um item em determinada data limite; A inspeção preditiva e a manutenção corretiva são direcionadas pela condição do equipamento de falhar. A inspeção consiste na verificação e a manutenção na reposição ou restauração visando que não ocorra a falha. A inspeção funcional e o reparo funcional seguem a mesma ideia da inspeção preditiva e da manutenção corretiva, porém o funcional está relacionado às falhas funcionais já ocorridas e o serviço operacional consiste no ressuprimento de materiais utilizados numa operação normal. (SIQUEIRA, 2014)

ETAPA 5- Avaliação da efetividade das atividades

A efetividade de uma atividade está relacionada à eficácia de seu resultado e quão viável seria sua aplicação no sistema estudado considerando os recursos financeiros em questão. Kobbacy e Murtthy (2008) apresentam os seguintes critérios utilizados para validar esta etapa:

- Aplicabilidade técnica e viabilidade da tarefa;
- O uso e custos dos recursos físicos necessários;
- Indisponibilidade da operação durante aplicação da tarefa;
- Eficácia do resultado;
- Intervalo de execução.

ETAPA 6- Seleção das atividades aplicáveis e efetivas

A ordem de prioridade das atividades leva em consideração os aspectos avaliados na etapa 5, referentes à eficácia e viabilidade. Os dados da etapa 4, referentes à seleção das atividades de manutenção são inspeção preditiva, restauração preventiva, substituição preventiva, detecção de falha e atividade default. (MOUBRAY, 1997)

Cada atividade que deve ser aplicada no sistema deve apresentar uma função preestabelecida e sua efetividade está relacionada ao quanto seguro ela é. A sua função

operacional, suas vantagens econômicas e o uso de fluxogramas para a lógica de decisão são bastante eficazes.

ETAPA 7- Definição da periodicidade das atividades

Por ser um dos aspectos mais complexos da análise MCC, normas como IEC (2006), NAVAIR (2005) e NAVSEA (2007) sugerem a utilização de métodos estatísticos para a definição do período da atividade, porém vai da avaliação aceita pelo projetista.

Backlund (2003) afirma que a mesma periodicidade deve ser avaliada como uma combinação de dados da empresa, experiência do projetista e métodos matemáticos.

Segundo Siqueira (2014), para atividades preventivas pode-se calcular o valor esperado dos retornos (ganhos e perdas) em um ciclo de manutenção através da expressão:

$$E [C] = K_p \int_{t_p}^{\infty} f(t) dt + K_r \int_0^{t_p} f(t) dt = K_p R(t_p) + K_r F(t_p) \quad (4.3)$$

Onde: $E[C]$ = retorno esperado no ciclo de manutenção;

K_p = retorno estimado de uma manutenção preventiva;

K_r = retorno estimado de um reparo após a falha;

t_p = intervalo entre manutenções preventivas;

$f(t)$ = função densidade de probabilidade de falha;

$R(t_p)$ = função de confiabilidade ou sobrevivência;

$F(t_p)$ = função de probabilidade acumulada de falha.

Para o cálculo do valor esperado dos retornos é necessário conhecer a função densidade da probabilidade, a função de confiabilidade ou sobrevivência e a função de probabilidade acumulada de falha apresentadas abaixo:

- Função densidade de falha:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (4.4)$$

- Função de probabilidade acumulada de falha:

$$F(t) = \int_{-\infty}^t f(t) \cdot dt \quad (4.5)$$

Donde

$$F(t_2) - F(t_1) = \int_{t_1}^{t_2} f(t) \cdot dt \quad (4.6)$$

- Função de confiabilidade ou sobrevivência:

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t) \cdot dt = 1 - \int_{-\infty}^t f(t) \cdot dt = 1 - F(t) \quad (4.7)$$

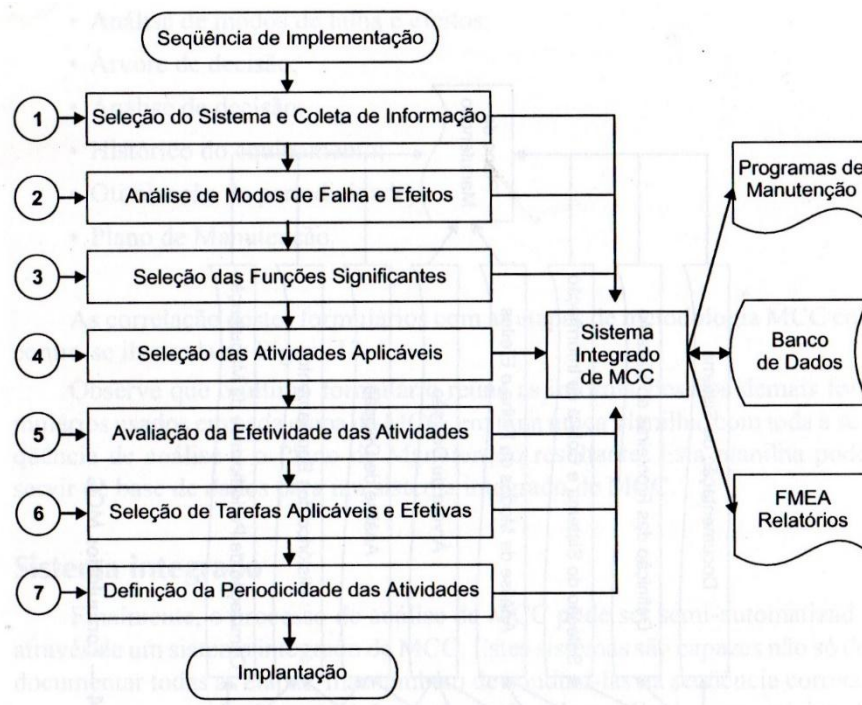
O ciclo de manutenção pode ser calculado desta forma:

$$E[t_p] = \int_0^{t_p} t f(t) dt + t_p \int_{t_p}^{\infty} f(t) dt = \int_0^{t_p} R(t) dt \quad (4.8)$$

E o instante ótimo será obtido pela razão das duas expressões.

4.1.4 Softwares de Automação MCC

Segundo Siqueira (2014), softwares de automação vem se mostrando na prática bastante benéficos para acelerar e documentar o processo de análise da MCC. Em sistemas semi-automatizados podem se apresentar na forma mais simples que utiliza ferramentas de desenho técnico, processadores de texto, gerenciadores de banco de dados e planilhas eletrônicas ou através de um sistema integrado, especializado em MCC, que oferece padronização do processo de armazenamento e suporte ao processo de análise. Uma análise sistemática da interferência do sistema integrado nas etapas de aplicação da MCC é mostrada na figura 2 abaixo.

Figura 2 - Software Integrado da MCC

Fonte: Siqueira (2014, p.282)

A tabela 4 apresenta uma relação de softwares disponíveis no mercado e alguns podem ser adquiridos gratuitamente na Internet.

Tabela 4 - Softwares Comerciais de MCC

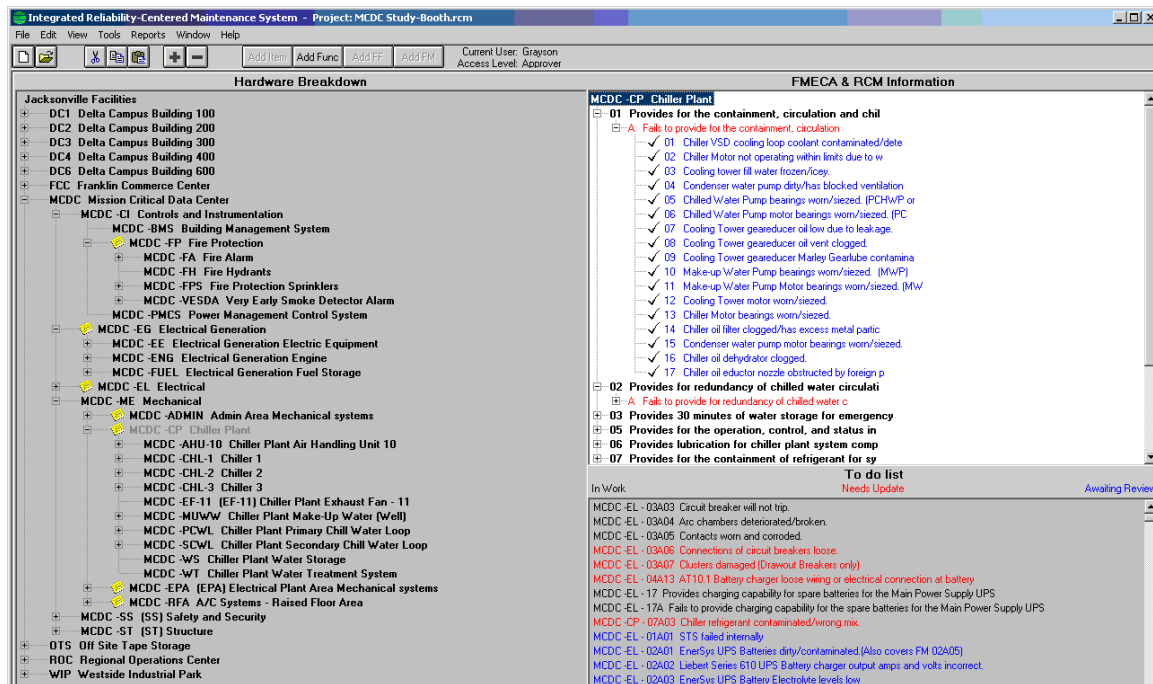
Software	Companhia	Restrições
WinMBF	Corim Solutions	CDdemo
Reliability Workbench	Item Software	CDdemo
RCMcost	Item Software	CDdemo
CARE	BQR Reliability Engineering	Demo (teste gratuito – 30 dias)
Gtrack	United Dynamics AT Corporation	Demo (teste gratuito)
ON KEY Analyser	Pragma	Demo (teste gratuito)
Relex FMEA/FMECA	Relex Software Corporation	Demo (teste gratuito)
TDBU	Maintenance Management	Demo (teste gratuito)
RCM Turbo	Stategic	

Software in Reliability	Fractal Solutions	Demo (teste gratuito)
FMEA Tools	The Haviland Consulting	Demo (teste gratuito)
Reliability Improvement Software	Lincoln Technologies	
Ivara.EXP	Ivara Corporation	
IRCMS	US Navy	Freeware
RCM Workstation	EPRI	Freeware

Fonte: Adaptado Siqueira (2014, p.283)

O software IRCMS (*Integrated Reliability-Centered Maintenance System*), fornecido e utilizado pela US Navy, é disponibilizado para público para download. Possuindo diversas versões atualizadas, o software auxilia à documentação e fornece assistência à decisão e normalmente é utilizado com outras ferramentas analíticas mais detalhadas. Alguns dos recursos disponíveis são: Definição da hierarquia de ativos, entrada FMECA completa, gravação de opções de gerenciamento de falhas e informações de tarefas associadas, capacidade de editar grandes partes da análise dentro de projetos, capacidade para vários usuários/rede, acompanhamento de status do projeto e outras características. Uma figura da janela principal do software é apresentada abaixo. (BLOG RCM, 2018)

Figura 3 - Software IRCMS



Fonte: BLOG RCM ¹

¹ Disponível em: <<http://webrcm.org/rcm-software/>>. Acessado em: 25 nov. 2018

O conhecimento do profissional em MCC são de suma importância ao sucesso da aplicação, sendo os softwares de automação apenas uma ferramenta de suporte e normalização.

4.2 INSPEÇÃO BASEADA EM RISCO OU IBR

4.2.1 Definição do IBR

Inspeção Baseada em Risco, ou IBR, vem do inglês *Risk Based Inspection (RBI)* e é definido pela API-581 (2008) como sendo “*A risk assessment and management process that is focused on the loss of containment of pressurized equipment in processing facilities, due to material deterioration. These risks are managed primarily through equipment inspection.*” Ou seja, um processo de avaliação e gerenciamento de riscos que se concentra na perda de contenção de equipamentos pressurizados em instalações de processamento, devido à deterioração do material. Esses riscos são gerenciados principalmente através da inspeção de equipamentos.

Outras literaturas definem também como sendo a inspeção baseada em risco (IBR) uma metodologia e processo de análise que, ao contrário da inspeção baseada em condições, requer avaliação qualitativa ou quantitativa da probabilidade de falha (PoF) e consequência da falha (CoF) associada a cada item do equipamento, circuitos de tubulação incluídos, em uma unidade de processo particular. Um programa RBI corretamente implementado categoriza equipamentos individuais por seus riscos e prioriza os esforços de inspeção com base nesta categorização. (ALVARADO, 2017)

Ambas as definições rementem a priorização das inspeções dos equipamentos individualmente a partir dos bancos de dados de anos anteriores, priorizando os riscos envolvidos.

4.2.2 Histórico do IBR

A inspeção surgiu num período onde a manutenção era baseada em sucessos ou falhas do equipamento, com a implementação de inspeções programadas conhecidas como manutenção preventiva foi possível prolongar o tempo de vida útil deles. O histórico da inspeção baseada em risco vai além disso, surgiu a partir do desenvolvimento do *Risk Analysis Task Force*, criado pela *American Society of Mechanical Engineers - ASME* em 1985, em decorrência das várias falhas estruturais da época, como por exemplo o acidente na Central Nuclear de Chernobyl em 1986 que foi causado por um projeto do reator defeituoso, operado com pessoal inadequadamente treinado e não cumprindo os regulamentos de segurança. O grupo em questão tinha como objetivo a criação de políticas, códigos e normas baseadas no

risco, estabelecendo diretrizes e requisitos para os programas de inspeção, principalmente de equipamentos pressurizados e que apresentam risco de falhas estruturais. (DE SOUSA, 2004)

Figura 4 - Desastre Chernobyl



Fonte: Site Wikipédia ²

Apenas em maio de 2002 a primeira edição da API-581 foi lançada pelo *American Petroleum Institute*, que descreve e explica todos os elementos básicos necessários para o desenvolvimento, a implementação e a manutenção de um programa confiável de inspeção baseada em risco (IBR). Em 12 de abril de 2016 foi lançado a mais recente edição da norma. (ALVARADO, 2017)

4.2.3 Implementação do IBR- Segundo a API 581

A implementação do IBR pode ser baseada em diversas normas são elas a API 581 (*American Petroleum Institute*), a WOG- ASME (*Westinghouse Owners Group*), a EPRI (*Electric Power Research Institute*) e a SKIFS (*Statens karnkraftinspektions forfattningssamling* (*Statute – book of the SKI*)).

² Disponível em: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/1/1b/Chernobyl_Disaster.jpg>. Acessado em: 20 nov. 2018

As metodologias citadas apresentam princípios similares quanto a definição de segmentos, avaliação das consequências e da probabilidade das falhas, avaliação do risco e inspeção, porém diferem no que diz respeito aos meios para realizar os passos da seleção do objetivo de análise a etapa de hierarquização para tomada de decisão, e a principal distinção está na utilização de métodos quantitativos e qualitativos. (DE SOUZA, 2004).

A API 581 tem como objetivo fornecer dados qualitativos e quantitativos a respeito da planta ou sistema, qualitativamente mostrando áreas onde há maior probabilidade de risco e quantitativamente catalogando os equipamentos quanto ao risco associado à falha, sendo calculado através do produto da probabilidade de falha pela consequência. Algumas etapas são apresentadas pela API, que roteirizam o procedimento, são elas:

Etapa 1- Determinação da Probabilidade de Falha dos Equipamentos

Etapa 2- Análise da Consequência das Falhas

Etapa 3- Determinação do Risco

Etapa 4 – Planejamento da Inspeção Baseada na Análise de Risco

Não sendo o objetivo do trabalho discutir toda a metodologia envolvendo a IBR, será então apresentado de forma resumida como cada etapa é desenvolvida e quais resultados obtidos.

Etapa 1- Determinação da probabilidade de falha dos equipamentos

Dados referentes ao sistema devem ser levantados nessa etapa do processo, como quais equipamentos serão analisados e árvores dos eventos plausíveis de acontecer. O cálculo da probabilidade de falha é adquirido através de dados preestabelecidos pela API que determinam a taxa de falha do evento ocorrer por ano para diferentes equipamentos numa indústria em geral, no caso da API ela considera como parâmetro Refinaria e a Indústria Petroquímica. Segundo a API - 581 (2008), a probabilidade de falha é considerada o produto entre a frequência de falhas genéricas gff, o fator de gerenciamento do sistema relativos a integridade mecânica do equipamento F_{MS} e os fatores de dano relevantes aos materiais de construção e o serviço de processo $D_f(t)$.

$$P_f(t) = gff \cdot D_f(t) \cdot F_{MS} \quad (4.9)$$

Etapa 2- Análise da consequência das falhas

O estudo das falhas dos equipamentos permite obter dados qualitativos e quantitativos referentes a consequência devido as condições de operação, propriedades dos fluidos, vazamentos e presença de sistemas de segurança. É importante que essa etapa seja bastante meticulosa, a fim de proporcionar maior confiabilidade na avaliação do risco e quais perigos estão atrelados ao modo de falha. As consequências, no caso de petroquímicas, são então determinadas a partir do cálculo do volume referente ao vazamento do fluido contido no equipamento, avaliando-se os danos: materiais; às pessoas (morte, lesão por explosão, incêndio ou intoxicação); financeiro (perda de produção); e ao meio ambiente (poluição).

Etapa 3- Determinação do risco

Como citado anteriormente o risco é definido como sendo o produto da probabilidade de falha durante o ano e a consequência. A API estabelece que como a consequência é invariante com o tempo a equação pode ser reescrita como dependente da área de impacto ou de termos financeiros e irá depender de como o risco será expresso.

$$R(t) = P(t) \cdot C(t) \quad (4.10)$$

Com o auxílio dos dados referentes a área afetada, o subfator Módulo do Técnico e as tabelas presentes na API pode-se definir as categorias de consequência e probabilidade como mostrado numa das tabelas fornecidas pela mesma e mostrada abaixo, essa categorização serve para a construção da matriz de risco proposta pela API 581.

Tabela 5 - Valores numéricos associados com a categoria de probabilidade e consequência em API

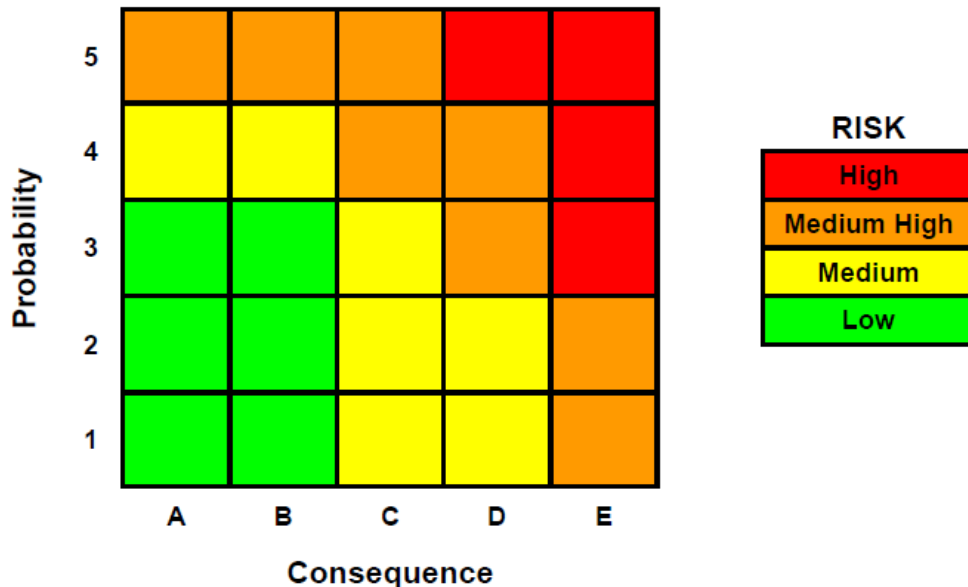
Probability Category (1)		Consequence Category (2)	
Category	Range	Category	Range (ft ²)
1	$D_{f-total} \leq 2$	A	$CA \leq 100$
2	$2 < D_{f-total} \leq 20$	B	$100 < CA \leq 1000$
3	$20 < D_{f-total} \leq 100$	C	$1000 < CA \leq 3000$
4	$100 < D_{f-total} \leq 1000$	D	$3000 < CA \leq 10000$
5	$D_{f-total} > 1000$	E	$CA > 10000$

Fonte: API- 581 (2008, p. 19)

A categoria da probabilidade será definida de acordo com a frequência de modos de falha durante o ano e a consequência irá depender da área afetada pelo incidente. A matriz de

risco representada pela figura 5 é então construída através da probabilidade e da consequência padronizadas com auxílio da figura 4.

Figura 5 - Matriz de Risco



Fonte: API 581 (2008, p. 22)

Etapa 4 – Planejamento da Inspeção Baseada na Análise de Risco

Os dados referentes a matriz de risco devem ser levando em consideração no momento de planejamento das atividades, que devem combinar métodos visuais, ultrassônicos e radiográficos, inspeções frequentes e o local referente as inspeções. Devido a variabilidade atrelada ao programa de inspeção é necessário que ele seja sempre reavaliado a fim de melhorar sua efetividade.

Dados como a falta de cobertura da área sujeita à deterioração, limitações inerentes de alguns métodos de inspeção, a seleção do método que melhor se adequa a inspeção, habilidade do inspetor e aplicabilidade do procedimento comprometem a efetividade e devem ser introduzidas no cálculo de falhas.

Segundo a API – 581 (2008) é importante avaliar os benefícios das inspeções frequentes e inspeções mais recentes podem refletir o estado atual com melhor segurança. Caso ocorra alguma mudança nas condições de operação, dados anteriores podem apresentar certa

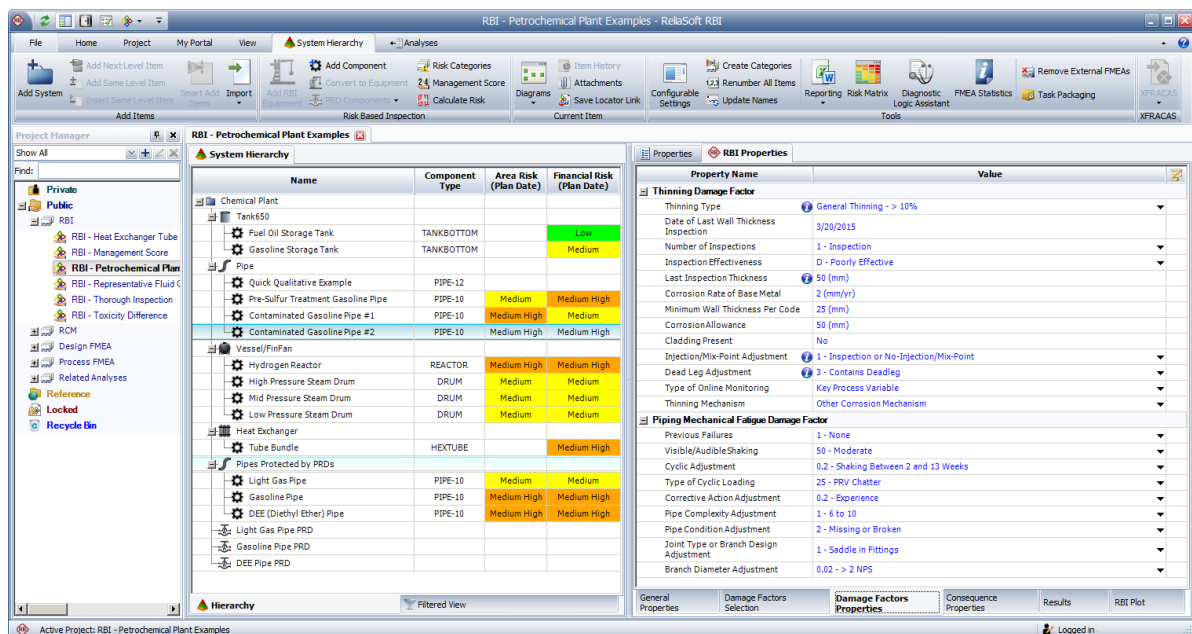
irrelevância e devem ser reanalisados. Por isso, datas são escolhidas geralmente a tempo de se incluir uma ou várias versões de manutenções.

4.2.4 Softwares de Automação IBR

A automação da implementação IBR, assim como na MCC, pode se apresentar na forma mais simples que utiliza ferramentas de desenho técnico, processadores de texto, gerenciadores de banco de dados e planilhas eletrônicas ou através de um sistema integrado mais complexo, como o apresentado pela API – 581 Software, que oferece modelagem de matrizes de risco e cálculo de dados futuros.

Motivado pelos extensos procedimentos de cálculo a API desenvolveu um software que permitisse o auxílio na metodologia IBR, baseada na norma API RP 571 (*Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment In the Refining Industry*) e que apresenta uma arquitetura mais voltada para cálculo da probabilidade de ocorrência de falhas e consequência dessas falhas, utilizando como fonte a norma e os dados recentes atualizados pelo usuário. A ReliaSoft disponibiliza o ReliaSoft RBI que pode ser utilizado para análise de sistemas que envolvem óleo e gás e também é baseada na norma.

Figura 6 - Software ReliaSoft RBI



Fonte: Site ReliaSoft³

³ Disponível em: < <https://www.reliasoft.com/products/reliability-management/rbi> >. Acessado em: 25 nov.2018

5 METODOLOGIA

O método de pesquisa utilizado apresenta caráter exploratório e uma abordagem qualitativa, apoiando-se em técnicas como análise de documentos e estudos de caso, que podem ser qualitativos e quantitativos. Pesquisas qualitativas não buscam enumerar ou medir eventos, elas servem para obter dados descritivos que servem de guia para a análise dos métodos ou fenômenos. O estudo será desenvolvido a partir de:

- 1- Pesquisa bibliográfica: Os conceitos analisados foram: “Manutenção Centrada em Confiabilidade”, “Inspeção Baseada de Risco” e “Métodos de Gerenciamento na Engenharia”. Os principais autores que contribuíram com o trabalho foram: Moubray (1997), API-581 (2008), Flogliatto e Ribeiro (2009) e Siqueira (2014);
- 2- E Estudos de Casos – divulgados em encontros ou congressos e que forneçam informações sobre os procedimentos utilizados.

Quanto aos estudos de caso e a pesquisa bibliográfica, deseja-se seguir esse roteiro afim de obter informações a respeito do projeto:

- Escolha de estudos de caso que possam ser utilizados para a análise da ferramenta;
- Análise dos estudos de caso;
- Análise da aplicabilidade da ferramenta, com o intuito exploratório afim de responder alguns dos objetivos gerais;
- Análise bibliográfica de quais as principais diferenças e semelhanças entre os métodos, além da fornecida pela análise do estudo de caso;
- Pesquisa referente as principais empresas que utilizam os métodos.

Que reorganizados formam os sub-tópicos de análise da pesquisa:

- Quanto à definição – onde será descrito as principais definições que regem cada método;
- Quanto ao histórico – explanação e discussão sobre o período histórico que compreende o surgimento deles, citado na fundamentação teórica;
- Quanto à metodologia – exposição das similaridades dos métodos apresentados na fundamentação teórica;
- Quanto à aplicabilidade das ferramentas – exposição das particularidades referentes à aplicação das ferramentas encontradas nos estudos de caso;

- Quanto à dificuldade na implementação – exposição das dificuldades relatadas nas conclusões dos estudos de casos;
- Quanto ao ramo das empresas que as utilizam – catalogação das empresas apresentadas nos estudos de caso.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados foram obtidos através de pesquisas bibliográficas e análise de estudos de casos apresentados em congressos e/ou trabalhos acadêmicos. Os estudos de casos irão nos fornecer, quanto ao procedimento utilizado: as principais características de cada método de gerenciamento, as etapas de aplicação e como a priorização de itens funciona em cada método, em alguns casos, por exemplo, são calculadas projeções quanto à periodicidade de manutenções através de softwares.

6.1 ESTUDOS DE CASOS

Os estudos de casos são métodos que servem para auxiliar e compreender os fenômenos individuais, os processos organizacionais e políticos da sociedade, aprofundando o assunto através de coletas e análises de dados, a fim de responder questionamentos. A conclusão deste trabalho, onde serão apontadas as semelhanças e diferenças de cada método, será interpretada através da análise destes casos:

Estudo de Manutenção Centrada em Confiabilidade Aplicada a um Sistema de Refrigeração.

Área de atuação: O estudo de caso foi realizado em um sistema de refrigeração à base de água de um Shopping Center, localizado no Agreste de Pernambuco. Foram analisados componentes como: torre de resfriamento, tubulações, válvulas de retenção, motor/bomba, chave de fluxo mecânico, chave de fluxo eletrônico, trocador de calor, fluido e gás.

Objetivo: O objetivo do trabalho é realizar uma aplicação da metodologia MCC em um sistema de refrigeração com o intuito de evitar paralizações inesperadas no sistema que poderiam resultar em desconfortos e prejuízos às lojas.

Metodologia: A metodologia aplicada ao estudo de caso é baseada na proposta de Moubray (1997) e Siqueira (2014). Sendo esta dividida em sete etapas:

- 1- Seleção do sistema e coleta de informações – Foram coletadas informações sobre os componentes do sistema e o funcionamento. Apresentados pela tabela .

Tabela 6 - Relação Componente x Função

Componente	Função
Fan-coil	Tratar o ar (resfriar/desumidificar e filtrar)
Válvula de controle/Atuador/Temostato	Controle da temperatura através do ajuste da vazão de água
Tubulação de água	Distribuir água para cada fan-coil
Isolamento térmico da tubulação hidráulica	Reduzir as perdas de calor e evitar a condensação das tubulações
Bomba hidráulica	Proporcionar a circulação de água
Chiller	Retirar o calor da água, baixando sua temperatura
Torre de resfriamento	Resfriar a água para reaproveita-la
Fluido	Atuar no controle da temperatura do ambiente.
Reservatório	Reversa fluido que será utilizado no horário de pico do funcionamento do shopping
Válvula de retenção	Fazer com que a água circule em um único sentido

Fonte: Bandeira et al. (2016, p. 6)

- 2- Análise de modos de falhas e efeitos – Para um estudo mais detalhado são limitados subsistemas para definição dos modos e efeitos de falhas. Como apresentado na tabela 7 o autor preferiu analisar a torre de resfriamento, por acreditar ser um componente crítico ao sistema de refrigeração juntamente com outros subsistemas.

Tabela 7 - Análise de modos e efeitos de falhas e causa de falhas

Componente	Modo de Falha	Causa da Falha
Torre de resfriamento	Hélice da torre quebrada	Vibração
	Motor da torre com mau funcionamento	Rolamento danificado/problema elétrico
	Entupimento dos injetores	Impurezas
	Transbordamento de água/entrada de ar no sistema	Falha na boia
	Falha no termostato	Curto-circuito
Tubulações	Trincar a solda	Falha na soldagem
	Corrosão	Falta de tratamento do fluido
Válvulas de retenção	Água circular no sentido contrário	Desgaste na junta (borracha)
Motor/Bomba	Enrolamento elétrico	Quebra no isolamento
	Rolamento desgastado	Vibração / Desgaste natural
	Desgaste do acoplador	Desalinhamento
	Vazamento no mancal	Falha de lubrificação
	Vazamento de água	Falha no selo mecânico
Chave de fluxo mecânica	Falha no mecanismo da chave	Encrustamento na chave
	Curto nos contatos	Sujeira nos contatos
Chave de fluxo eletrônica	Falha eletrônica da chave	Curto-circuito
Trocador de calor (condensação)	Encrustamento no tubo	Excesso de sais na água
	Falha transdutor de pressão	Curto-circuito
	Fissura nos tubos	Corrosão/excesso de limpeza/desgaste/problemas de fabricação
Fluido (água)	Excesso de sais na água	Falta de tratamento
	Temperatura alta	Problema na torre
Gás	Excesso de gás	Falha humana (manutenção)
	Falta de gás	Vazamento

Fonte: Bandeira et al. (2016, p. 8)

- 3- Seleção das funções significativas – A seleção das funções significativas segue um diagrama lógico utilizando dos pilares da MCC, segurança, meio ambiente, operações e economia do processo, apresentados por Moubray (1997). Classificando os modos de falhas em quatro diferentes grupos: 1) ESA: Segurança/Ambiental Evidente; 2) OSA:

Segurança/ Ambiental Oculta; 3) EEO: Operacional/ Econômica Evidente; 4) OEO: Operacional/ Econômica Oculta.

- 4- Seleção das atividades aplicáveis – A seleção das atividades no trabalho estudado visa, de alguma forma, prevenir ou corrigir falhas. Onde as atividades são identificadas de acordo com a proposta desenvolvida por Siqueira (2014), representadas pelas siglas: SP – Substituição Preventiva, RP – Restauração Preventiva, IP – Inspeção Preditiva, IF – Inspeção Funcional, SO – Serviço Operacional, MC – Manutenção Corretiva e RF – Reparo Funcional.
- 5- Avaliação da efetividade das atividades – A determinação da efetividade foi realizada em todas as atividades em termos de diminuição da probabilidade de ocorrência de falha, essa etapa irá depender do objetivo inicial.
- 6- Seleção das atividades aplicáveis e efetivas – Foi realizado o esboço de forma simplificada das atividades de manutenção de acordo com o identificado nas etapas anteriores.

Tabela 8 - Resultados do diagrama de decisão

Componente	Modo de Falha	Tipo de manutenção
Torre de resfriamento	Hélice da torre quebrada	Reparo Funcional
	Motor da torre com mau funcionamento	Restauração Preventiva
	Entupimento dos injetores	Restauração Preventiva
	Transbordamento de água/entrada de ar no sistema	Reparo Funcional
	Falha no termostato	Reparo Funcional
Tubulações	Trincar a solda	Reparo Funcional
	Corrosão	Reparo Funcional
Válvula de Retenção	Água circular no sentido contrário	Reparo Funcional
Motor/Bomba	Enrolamento elétrico	Reparo Funcional
	Rolamento desgastado	Substituição Preventiva
	Desgaste do acoplador	Reparo Funcional
	Vazamento de óleo no mancal	Reparo Funcional
	Vazamento de água	Reparo Funcional
Chave de Fluxo Mecânica	Falha no mecanismo da chave	Reparo Funcional
	Curto nos contatos	Reparo Funcional
Chave de Fluxo Eletrônica	Falha eletrônica da chave	Substituição Preventiva
Trocador de calor (condensação)	Encrustamento no tubo	Reparo Funcional
	Falha transdutor de pressão	Substituição preventiva
	Fissura nos tubos	Substituição Preventiva
Fluido (água)	Excesso de sais na água	Inspeção Preditiva
	Temperatura alta	Reparo Funcional
Gás	Excesso de gás	Reparo Funcional
	Falta de gás	Reparo Funcional

Fonte: Bandeira et al. (2016, p.14)

- 7- Definição da periodicidade das atividades – Não foi definida a periodicidade das atividades, porque várias outras informações, que não foram concedidas, seriam necessárias para a realização deste processo.

Aplicabilidade do Método ao Sistema: O método da manutenção centrada em confiabilidade foi aplicado ao sistema devido ao foco na priorização das funções, característica essencial para sistemas de refrigeração comerciais. Não foi utilizados softwares nem ferramentas de identificação e análise de modos de falhas.

Dificuldade de Aplicação: A presença de multicomponentes que desempenham atividades importantes para o funcionamento do sistema faz com o que o mesmo seja considerado complexo, sendo assim necessária a limitação dos componentes analisados. Além disso, informações que não foram concedidas, dificultam a implementação completa do método.

Resultados Obtidos: Entre os resultados observados pelo autor destaca-se a identificação de potenciais modos de falha que ainda não haviam sido observados nos planos de manutenção, resultando no melhor conhecimento do funcionamento do sistema e dos modos e efeitos de falhas pela equipe que opera.

Comentários:

Estudo de Caso: Análise Quantitativa de Confiabilidade e Disponibilidade de um Torno CNC, Baseado na metodologia RCM (Reliability Centered Maintenance), aplicado a Área de Manutenção Industrial.

Área de atuação: O estudo de caso foi realizado em um Torno CNC (MORI SEIKI – SL80) localizado em uma planta siderúrgica. Sendo analisados componentes como: placa, sensor da placa, esteira transportadora de cavaco, castelo, sensor/limite, proteção do barramento e outros.

Objetivo: O objetivo do trabalho em questão é realizar uma análise quantitativa (confiabilidade e manutenibilidade), realizada a partir de um histórico de dados reais de falhas, identificando assim, a condição atual do equipamento.

Metodologia: O método aplicado ao estudo de caso é baseado na metodologia MCC (Manutenção Centrada em Confiabilidade).

- 1- Seleção do sistema e coleta de informações – Nesta etapa foram adquiridas informações sobre os dados históricos referentes às falhas do equipamento nos últimos dois anos, entre janeiro de 2009 e março de 2011.

Tabela 9 - Principais componentes e ocorrências de falhas

Componentes	Nº falhas
PLACA - MECÂNICA	62
SENSOR DA PLACA - ELÉTRICA	30
ESTEIRA TRANSPORTADORA DE CAVACO - MECÂNICA	26
CASTELO - ELÉTRICA	20
SENSOR / LIMITE - ELÉTRICA	13
ESTEIRA TRANSPORTADORA DE CAVACO - ELÉTRICA	13
PROTEÇÃO DO BARRAMENTO - MECÂNICA	13
NÍVEL MÍNIMO DE ÓLEO - MECÂNICA	9
CASTELO - MECÂNICA	8
CURTO-CIRCUITO - ELÉTRICA	8
EIXO X - MECÂNICA	7

Fonte: Fagundes et al. (2011, p. 8)

E dados referentes ao tempo de reparo TR.

Tabela 10 - Principais componentes e somatório dos tempos de reparo

Componentes	Tempo Para Reparo (TR)
PLACA - MECÂNICA	8057
PROTEÇÃO DO BARRAMENTO - MECÂNICA	2891
ESTEIRA TRANSPORTADORA DE CAVACO - MECÂNICA	2315
SENSOR DA PLACA - ELÉTRICA	1678
CASTELO - ELÉTRICA	1629
FOLGA EIXO Z - MECÂNICA	1546
EIXO X - MECÂNICA	1116
CASTELO - MECÂNICA	755
ACIONAMENTO PRINCIPAL - ELÉTRICA	606
NÍVEL MÍNIMO DE ÓLEO - MECÂNICA	416
SENSOR / LIMITE - ELÉTRICA	399
COMANDO CNC - ELÉTRICA	368

Fonte: Fagundes et al. (2011, p. 8)

Esses dados obtidos têm como finalidade definir qual será o componente priorizado nos cálculos, considerando o maior impacto provocado no sistema de estudo.

- 2- Análise de modos de falhas e efeitos – Não foram analisados os modos e efeitos de falhas. Sendo o objetivo do estudo apenas analisar quantitativamente a partir do histórico de falha.

- 3- Seleção das funções significativas – Não foi selecionado funções para planos de manutenção. Sendo o objetivo do estudo apenas analisar quantitativamente a partir do histórico de falha.
- 4- Seleção das atividades aplicáveis – Não foi selecionada as atividades aplicáveis de acordo com o proposto por Moubray (1997). Sendo o objetivo do estudo apenas analisar quantitativamente a partir do histórico de falha.
- 5- Avaliação da efetividade das atividades – Não foi avaliada a efetividade das atividades. Sendo o objetivo do estudo apenas analisar quantitativamente a partir do histórico de falha.
- 6- Seleção das atividades aplicáveis e efetivas – Não foram selecionadas as atividades aplicáveis. Sendo o objetivo do estudo apenas analisar quantitativamente a partir do histórico de falha.
- 7- Definição da periodicidade das atividades – Nesta etapa foi organizada o banco de dados para possibilitar o cálculo das variáveis tempo entre falhas (TEF) e tempo de reparo (TR).

Tabela 11 - Amostra parcial dos dados históricos de manutenção referente à Placa Mecânica

Data Inicio	Hora Inicio	Data Fim	Hora Fim	TBF (Minutos)	TR (Minutos)
5/1/2009	1:45	5/1/2009	4:39	-	173
14/1/2009	12:37	14/1/2009	12:38	13437	1
14/1/2009	21:56	14/1/2009	22:22	557	25
15/1/2009	1:07	15/1/2009	1:14	165	6
15/1/2009	19:56	15/1/2009	20:04	1122	7
16/1/2009	0:20	16/1/2009	2:04	256	104
16/1/2009	2:07	16/1/2009	2:15	3	7
16/1/2009	2:36	16/1/2009	5:13	21	157
16/1/2009	9:14	16/1/2009	11:05	240	111
20/1/2009	17:47	20/1/2009	19:38	6161	111
20/1/2009	20:40	21/1/2009	0:05	61	205

Fonte: Fagundes et al. (2011, p. 9)

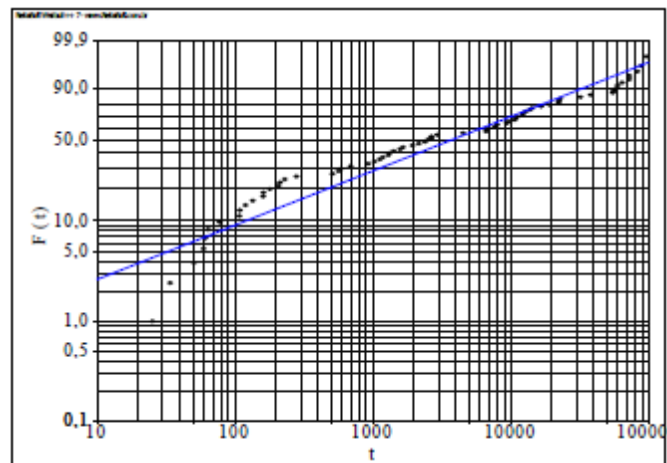
Após a obtenção desses valores, foi utilizado o software Weibull++7® (RELIASOFT CORPORATION, 2011) para a modelagem de confiabilidade e manutenibilidade, utilizando os conceitos da análise de dados de vida.

Tabela 12 - $f(t)$ e $g(t)$ obtidas para o equipamento em estudo

Modelo	Função Densidade de Probabilidade	Parâmetros		
Confiabilidade $f(t)$	Weibull	$\beta = 0,5489$	$\eta = 7298,2798$	$\gamma = 0$
Mantenabilidade $g(t)$	lognormal	$\mu = 3,9010$	$\sigma = 1,5225$	

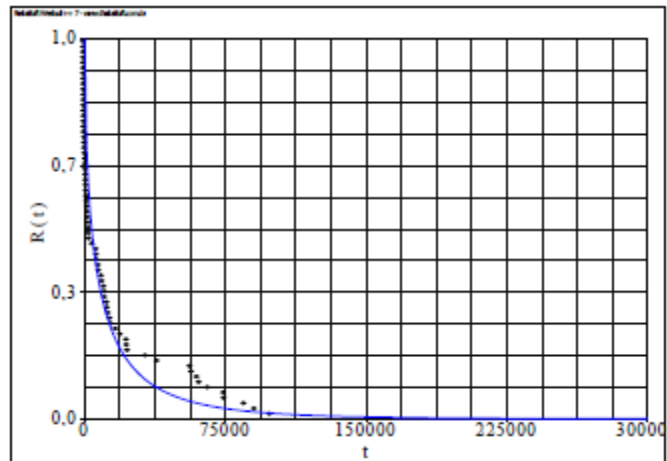
Fonte: Fagundes et al. (2011, p. 9)

Figura 7 - Gráfico de Probabilidade Weibull

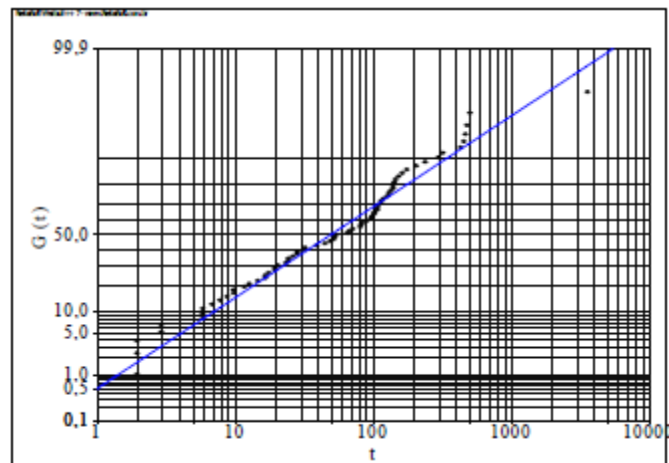


Fonte: Fagundes et al. (2011, p. 9)

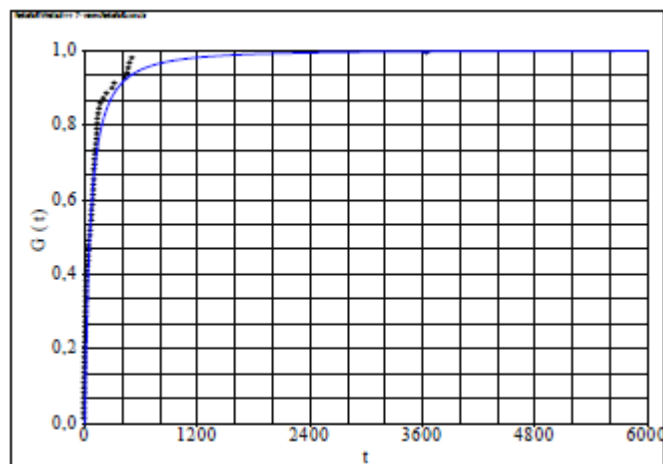
Figura 8 - Gráfico de Confiabilidade



Fonte: Fagundes et al. (2011, p. 10)

Figura 9 - Gráfico de Probabilidade Lognormal

Fonte: Fagundes et al. (2011, p. 10)

Figura 10 - Gráfico de Probabilidade de Reparo versus tempo

Fonte: Fagundes et al. (2011, p. 10)

Após a modelagem de confiabilidade e manutenibilidade foi realizado o cálculo do *MTTR* e *MTBF* através do software Weibull++⁷® (RELIASOFT CORPORATION, 2011) para um intervalo de confiança bilateral de 90%. Foram encontrados os valores de 12463 minutos para o *MTBF* e 157 minutos para o *MTTR*. A partir destes dados foi calculada a disponibilidade:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{12463}{12463 + 157} = 0,9876$$

Aplicabilidade do Método ao Sistema: O método da manutenção centrada em confiabilidade foi aplicado ao sistema devido à possibilidade de cálculo de referentes à confiabilidade e à manutenibilidade, dados importantes para o cálculo da definição da periodicidade das atividades ou reparos. O estudo desta periodicidade visa identificar a manutenção mais adequada ao componente. Durante o processo foi utilizado o software Weibull++7® (RELIASOFT CORPORATION, 2011) para realização da modelagem da confiabilidade e da manutenibilidade. Não foram utilizadas ferramentas de identificação e análise de modos de falhas.

Dificuldade de Aplicação: Foi observado ao final do estudo que os dados históricos não forneciam informações confiáveis devido aos erros humanos atrelados ao processo.

Resultados Obtidos: Entre os resultados observados pelo autor destaca-se a identificação da condição atual do componente, inicialmente mortalidade infantil, porém o equipamento possui mais de 18 anos de utilização, o que certamente não condiz com a realidade. Novas averiguações confirmaram erros humanos na etapa inicial de armazenagem de dados o que não forneceu resultados satisfatórios.

Comentários: Apesar dos dados incongruentes o estudo foi bastante relevante para a empresa pois existem 15 equipamentos similares na planta e os resultados encontrados podem servir para estudos futuros.

Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC): estudo aplicado ao processo de manutenção de locomotivas visando redução de custos.

Área de atuação: O estudo de caso foi realizado em um processo de manutenção de locomotivas localizado no pátio Araraquara – SP. Sendo analisadas as locomotivas do tipo: AC44, Dash9, SD70 e C30.

Objetivo: Este estudo tem como objetivo ressaltar a importância da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) e demonstrar oportunidades de otimização de sistemas produtivos envolvendo redução de custos e de investimentos em equipamentos novos.

Metodologia: A metodologia aplicada é baseada na Manutenção Centrada em Confiabilidade.

- 1- Seleção do sistema e coleta de informações – Foram coletadas informações sobre os componentes do sistema e o funcionamento. Segundo Magrini (2017) o monitoramento é realizado por meio de cadastro unificado e dos medidores agregados a cada componente, pelos parâmetros estabelecidos por análises e pesquisas realizadas do setor de engenharia de manutenção.
- 2- Análise de modos de falhas e efeitos – A análise de falhas é utilizada como parâmetro de desempenho onde são revelados os resultados no mês de indisponibilidade devido a manutenção preventiva e corretiva nos ativos.

Tabela 13 - Resultados de execução da manutenção preventiva/corretiva

Frota Operacional: Modelo AC44 - 179 und
Manutenção Preventiva
Média de 2,21 locomotivas por dia igual a 1,2% da frota
Média de 13,68 por semana igual 7,6% da frota
Total de 68,38/mês ou 38,2% da frota
Manutenção Corretiva
Média de 1,4 locos por dia igual a 0,8% da frota
Média de 8,66 por semana igual a 4,8% da frota
Total de 43,32/mês ou 24,2% da frota
Frota Operacional: Modelo C30 - 137 und
Manutenção Preventiva
Média de 2,1 locos por dia igual a 1,5% da frota
Média de 13,16 por semana igual a 9,6% da frota
Total de 65,80 igual a 48% da frota
Manutenção Corretiva
Média de 2,61 por dia igual a 2% da frota
Média de 13 por semana igual a 9,5% da frota
Total de 81/mês ou 62% da frota
Frota Operacional: Modelo Dash9 - 19 und
Manutenção Preventiva
Média de 0,3 locos por dia igual a 1,5% da frota
Média de 2,25 por semana igual a 12% da frota
Total de 9,1 locos no mês igual a 48%
Manutenção Corretiva
Média de 0,88 por dia igual 4,6% da frota
Média de 6,83 por semana igual a 35,9%
Total de 27,34 no mês igual a 143,9%
Frota Operacional: Modelo SD70 - 6 und
Manutenção Preventiva
Média de 0,14 por dia igual a 2,3% da frota
Média de 1,07 por semana igual a 17,8% da frota
Total de 4,26 no mês igual a 71% da frota
Manutenção Corretiva
Média de 0,06 igual a 1% da frota
Média de 0,44 por semana igual a 7,3% da frota
Total de 1,75 no mês igual a 29,2% da frota

Fonte: Magrini (2017, p. 7)

- 3- Seleção das funções significativas – Não foi selecionado funções para planos de manutenção. Sendo o objetivo do estudo apenas analisar qualitativamente a partir do histórico de falha.
- 4- Seleção das atividades aplicáveis – Não foi selecionada as atividades aplicáveis de acordo com o proposto por Moubray (1997). Sendo o objetivo do estudo apenas analisar qualitativamente a partir do histórico de falha.

- 5- Avaliação da efetividade das atividades – Não foi avaliada a efetividade das atividades. Sendo o objetivo do estudo apenas analisar qualitativamente a partir do histórico de falha.
- 6- Seleção das atividades aplicáveis e efetivas – Não foram selecionadas as atividades aplicáveis. Sendo o objetivo do estudo apenas analisar qualitativamente a partir do histórico de falha.
- 7- Definição da periodicidade das atividades – Não foi definida a periodicidade das atividades.

Aplicabilidade do Método ao Sistema: O método da manutenção centrada em confiabilidade foi aplicado ao sistema devido ao foco na priorização das funções, característica almejada as locomotivas que devem ser paralisadas regularmente para manutenção. Não foram utilizados softwares nem ferramentas de identificação e análise de modos de falhas.

Dificuldade de Aplicação: Não foi relatado dificuldades na implementação do método.

Resultados Obtidos: Entre os resultados observados pelo autor destaca-se a necessidade de mais locais de inspeção em pontos estratégicos, tais como nos locais de carga e descarga, forte investimento em novas tecnologias de automação e um cadastro de informação integrado e unificado em que as informações sejam confiáveis para a tomada de decisões.

Comentários:

Reliability Centered Maintenance of a Ply Industry: A Case Study.

Área de atuação: O estudo de caso foi realizado em uma indústria de madeira.

Objetivo: Este estudo tem como objetivo a aplicação do método de Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) nos componentes presentes em uma indústria de madeira.

Metodologia:

- 1- Seleção do sistema e coleta de informações – Foram coletadas informações sobre os componentes do sistema e o funcionamento. Como também informações sobre os números de falhas entre agosto de 2009 e julho de 2014.

Tabela 14 - Falha dos componentes da empresa de madeira

Sl. No.	Name of the Different Machinery/Componet	Number of Failures (Aug 2009 to July 2014)
1.	Water Tube Boiler	19
2.	Wood Peeling Machinge	15
3.	9-Delight Pressing Machine	11
4.	Glue Spreader Machine	20
5.	Glue Mixer Maching	15

Fonte: Jha e Kumar (2016, p. 330)

- 2- Análise de modos de falhas e efeitos – A análise de falhas é realizada através da FMEA e árvore de falhas, porém não são divulgadas informações a respeito relatando o processo apenas teoricamente. Sendo disponibilizados apenas os números de falhas e durante avaliado e os custos da manutenção da máquina de casca e mistura.

Tabela 15 - Detalhes das falhas da máquina de casca de madeira

Sl. No.	Month	No. of Failure	Breakdown Probability
1	May 2014	3	0.272
2	June 2014	0	0
3	July 2014	0	0
4	August 2014	1	0.090
5	September 2014	1	0.090
6	October 2014	0	0
7	November 2014	2	0.181
8	December 2014	0	0
9	January 2015	1	0.090
10	February 2015	1	0.090
11	March 2015	1	0.090
12	April 2015	1	0.090

Fonte: Jha e Kumar (2016, p. 332)

Tabela 16 - Custo da manutenção

Month	B/D Probability	Cumulative Probability	Expected B/D=n	Cost Of B/D (Rs)	Cost of P/M (Rs)	Total Cost (Rs)	Maintenance cost p.m (Rs)
Jan	0.272	0.272	2.992	9574	4000	13574	13574
Feb	0	0.272	3.805	12176	4000	16176	8088
Mar	0	0.272	4.026	12883	4000	16883	5627
Apr	0.090	0.362	5.077	16246	4000	20246	5061
May	0.090	0.452	6.621	21187	4000	25187	5037
June	0	0.452	7.383	23625	4000	27625	4604
July	0.181	0.633	9.675	30960	4000	34960	4994
Aug	0	0.633	10.953	35049	4000	39049	4881
Sept	0.090	0.723	12.671	40547	4000	44547	4949
Oct	0.090	0.813	14.645	46864	4000	50864	5086
Nov	0.090	0.903	16.979	54332	4000	58332	5302
Dec	0.090	0.993	19.567	62614	4000	66614	5551

Fonte: Jha e Kumar (2016, p. 332)

Tabela 17 - Detalhes das falhas da máquina de mistura de cola

Sl. No.	Month	No. of Failure	Breakdown Probability
1	May 2014	1	0.2
2	June 2014	0	0
3	July 2014	0	0
4	August 2014	1	0.2
5	September 2014	1	0.2
6	October 2014	1	0.2
7	November 2014	0	0
8	December 2014	0	0
9	January 2015	0	0
10	February 2015	1	0.2
11	March 2015	0	0
12	April 2015	0	0

Fonte: Jha e Kumar (2016, p. 332)

Tabela 18 - Custos da Manutenção

Month	B/D Probability	Cumulative Probability	Expected B/D=N	Cost Of B/D(Rs)	Cost Of P/M(Rs)	Total Cost (Rs)	Maintenance Cost P.M(Rs)
1	0.2	0.2	1	3200	4000	7200	7200
2	0	0.2	1.2	3840	4000	7840	3920
3	0	0.2	1.24	3968	4000	7968	2656
4	0.2	0.4	2.248	7193	4000	11193	2798
5	0.2	0.6	3.6496	11678	4000	15678	3133
6	0.2	0.8	5.1699	16543	4000	20543	3423
7	0	0.8	5.721	18307	4000	22307	3186
8	0	0.8	6.0816	19461	4000	23461	2932
9	0	0.8	6.6435	21259	4000	25259	2806
10	0.2	1	8.5412	27331	4000	31331	3133
11	0	1	9.8151	31408	4000	35408	3218
12	0	1	10.596	33907	4000	37907	3158

Fonte: Jha e Kumar (2016, p. 333)

- 3- Seleção das funções significativas – A etapa não foi informada.
- 4- Seleção das atividades aplicáveis – A etapa não foi informada.
- 5- Avaliação da efetividade das atividades – A etapa não foi informada.
- 6- Seleção das atividades aplicáveis e efetivas – A etapa não foi informada.
- 7- Definição da periodicidade das atividades – A etapa não foi informada.

Aplicabilidade do Método ao Sistema: O método da manutenção centrada em confiabilidade foi aplicado ao sistema devido ao foco na priorização das funções. Não foi informado sobre a utilização de softwares. As ferramentas de identificação e análise de modos de falhas são apenas citadas não apresenta os resultados.

Dificuldade de Aplicação: Não foi relatado dificuldades na implementação do método.

Resultados Obtidos: O autor busca comparar as frequências de falhas e a diminuição dos custos da manutenção dos equipamentos utilizando da metodologia MCC para identificação inicial.

Comentários:

Inspeção Baseada em Risco Segundo API 581 – Aplicação do API-RBI Software

Área de atuação: O método foi aplicado em equipamentos da REPLAN, Refinaria de Paulínia – PETROBRAS.

Objetivo: O objetivo deste trabalho é avaliar os resultados da aplicação da IBR, através do software API-RBI, e analisar a evolução do risco em função do tempo, fornecido pelo software.

Metodologia:

Tabela 19 - Número e tipo de equipamentos avaliados

Equipamento Tipo	Permutador Casco	Permutador Feixe	Torre Fundo	Torre Topo	Vaso	Total
Quantidade	27	30	12	12	25	106

Fonte: (Eckstein et al. (2002, p. 6)

- 1- Determinação da Probabilidade de Falha dos Equipamentos – Segundo Eckstein et al. (2002) a probabilidade de falha é avaliada levando-se em consideração os mecanismos de dano atuantes e suas taxas, conjugados à capacidade dos planos de inspeção de detectá-los e medir corretamente a sua extensão. Os autores não entram em detalhes de como foi realizada a operação.
- 2- Análise da Consequência das Falhas – As consequências assim como na etapa anterior não é definido quantitativamente. Sendo expresso apenas como o volume do vazamento do fluido contido no equipamento avaliando os danos materiais, às pessoas, financeiros e ao meio ambiente.
- 3- Determinação do Risco – Sendo o objetivo do trabalho a avaliação do risco em função do tempo, as matrizes de risco são determinadas na condição atual (2001), em 2005, em 2009 e em 2013. Sendo, nos últimos três casos, fornecido as matrizes de risco sem inspeção e após inspeção. Segue imagens:

Em 2001:

Figura 11 - Matriz de risco dos equipamentos em 10/2001

Likelihood Category	Consequence Category					
	A	B	C	D	E	
5			1			1
4		1		2		3
3	1	1		5	2	9
2	19	7	7	25	35	93
1						
	20	9	8	32	37	

Fonte: (Eckstein et al. (2002, p. 6)

Em 2005:

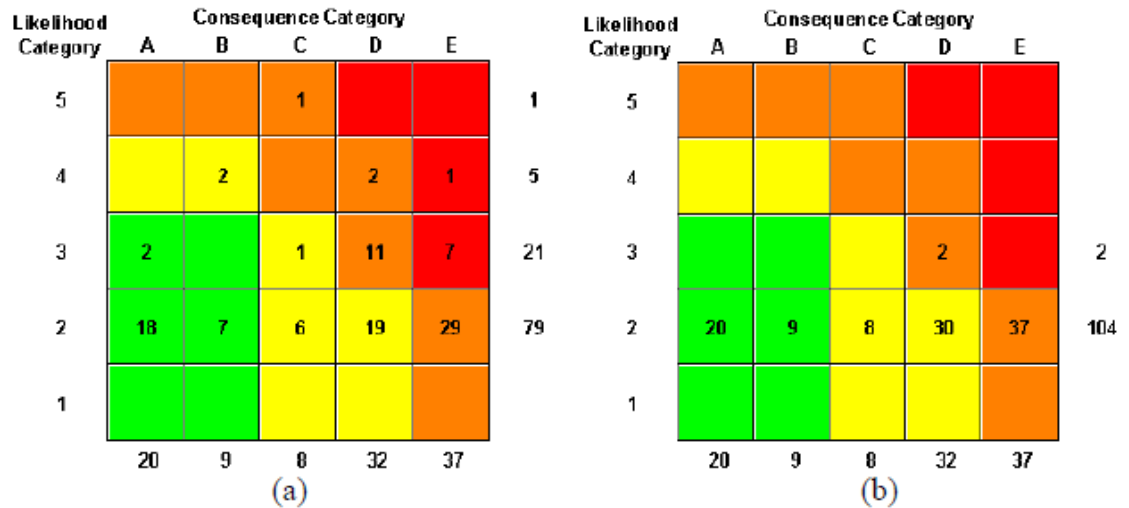
Figura 12 - Matriz de Risco em 10/2005: (a) sem inspeção; e (b) após inspeção

Likelihood Category	Consequence Category					
	A	B	C	D	E	
5			1			1
4		1		2		3
3	1	1		6	2	10
2	19	7	7	24	35	92
1						
	20	9	8	32	37	
(a)						
Likelihood Category	Consequence Category					
	A	B	C	D	E	
5						1
4						3
3						10
2	20	9	8	32	37	106
1						
	20	9	8	32	37	
(b)						

Fonte: (Eckstein et al. (2002, p. 7)

Em 2009:

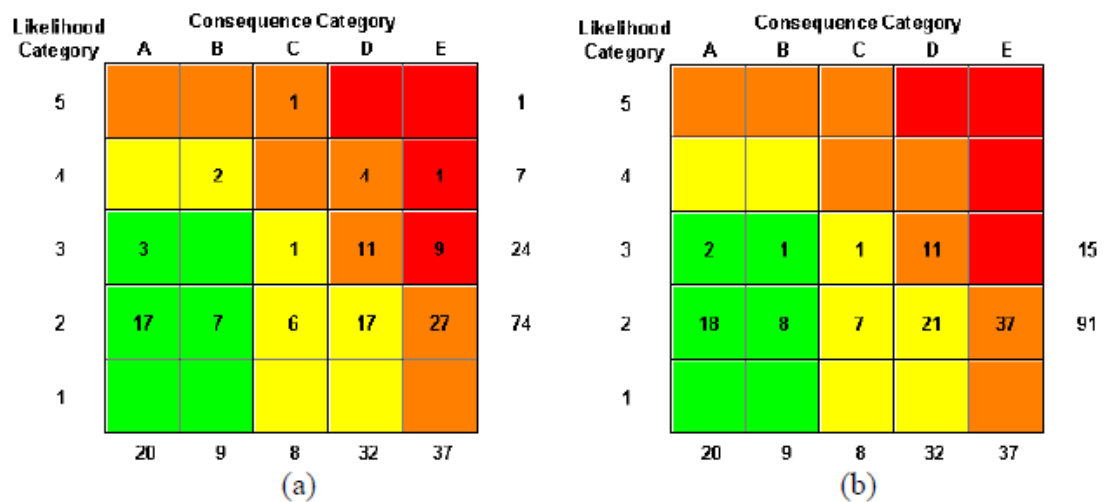
Figura 13 - Matriz de Risco em 10/2009: (a) sem inspeção; e (b) após inspeção



Fonte: (Eckstein et al. (2002, p. 8)

Em 2013:

Figura 14 - Matriz de Risco em 10/2013: (a) sem inspeção; e (b) após inspeção



Fonte: (Eckstein et al. (2002, p. 8)

4- Planejamento da Inspeção Baseada na Análise de Risco – Não foi realizado planejamento.

Aplicabilidade do Método ao Sistema: A utilização do software API-RBI é o objetivo principal da aplicação sendo fornecidas as projeções futuras quanto as matrizes de risco, dado importante

para avaliação da efetividade do método a situação exposta. As ferramentas de identificação e análise de modos de falhas não são apresentadas.

Dificuldade de Aplicação: Não foi relatado dificuldades na implementação do método.

Resultados Obtidos: O autor busca comparar a evolução do risco através da técnica de RBI através do software API-RBI. Nas matrizes de projeções futuras são identificados os efeitos do plano de inspeção e o nível de efetividade das inspeções aplicadas ao conjunto de equipamentos, mostrou-se insuficiente para impedir a evolução do risco residual após 12 anos de campanha.

Comentários:

A Inspeção Baseada em Risco como uma Ferramenta no Gerenciamento dos Riscos de Processo

Área de atuação: O método foi aplicado em equipamentos da Planta 2 de Olefinas da Braskem UNIB-RS.

Objetivo: O objetivo deste trabalho é apresentar a experiência de aplicação da IBR dentro das etapas de planejamento, execução e análise das atividades de manutenção na parada geral da Planta 2.

Metodologia:

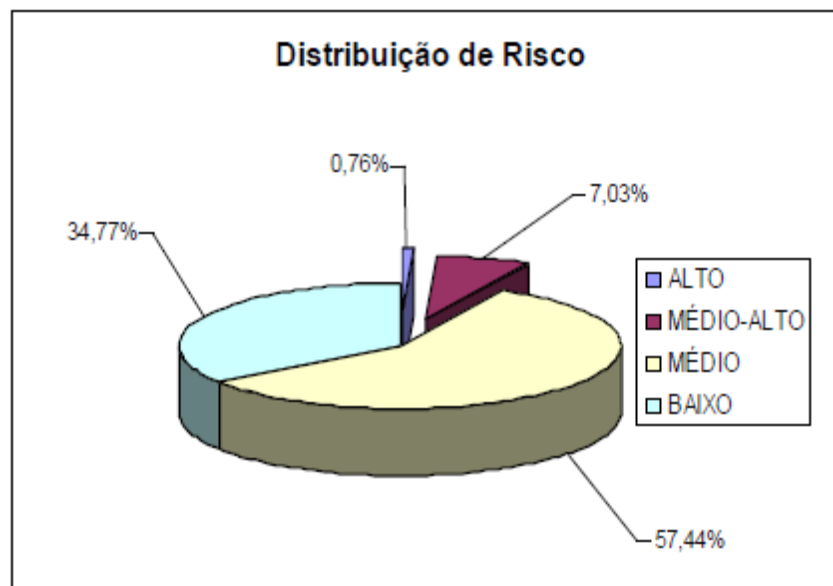
- 1- Determinação da Probabilidade de Falha dos Equipamentos – A probabilidade de falha é avaliada levando-se em consideração os mecanismos de dano atuantes e suas taxas, conjugados à capacidade dos planos de inspeção de detectá-los e medir corretamente a sua extensão. Os autores não entram em detalhes de como foi realizada a operação.
- 2- Análise da Consequência das Falhas – A consequência é determinada a partir do volume do vazamento do fluido contido no equipamento avaliando os danos materiais, às pessoas, financeiros e ao meio ambiente. Os autores não entram em detalhes de como foi realizada a operação.
- 3- Determinação do Risco – O objetivo do trabalho é a análise dos riscos em função dos planos de inspeções empregados aos equipamentos. Os riscos são avaliados segundo a aplicação com e sem ensaio não destrutivo, com inspeção e com inspeção intermediária. Segue imagens:

Tabela 20 - Abrangência da IBR na Planta de Olefinas 2

Área	Equipamentos	Sub equipamentos	Tubulações
110	10	20	855
111	117	238	1534
112	68	149	519
113	130	273	560
114	19	48	174
115	11	29	126
121	66	145	391
162	38	79	177
164	2	4	19
165	12	17	19
Total	473	1002	4374

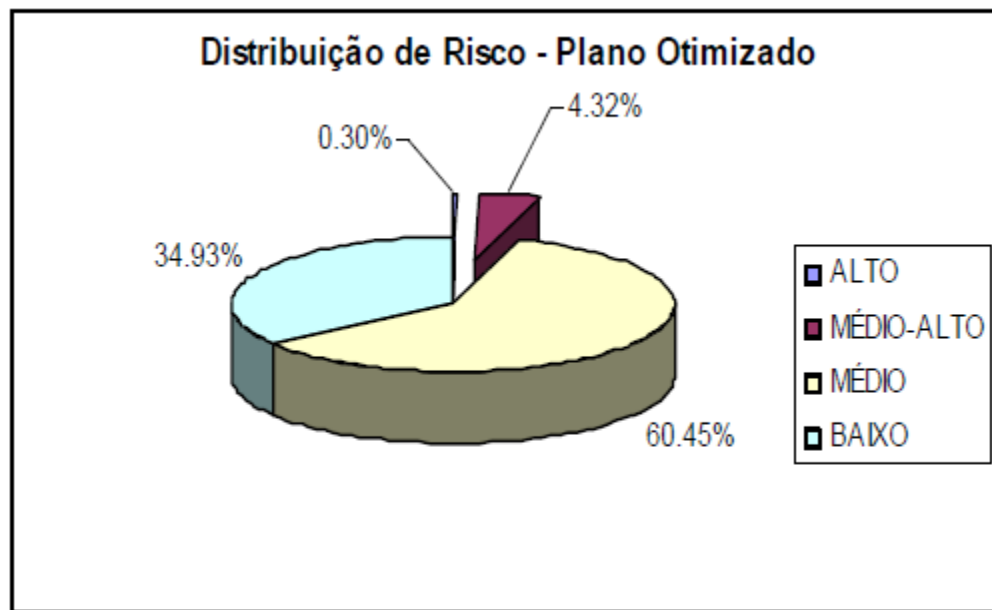
Fonte: Ohweiler (2005, p.3)

O autor disponibiliza a distribuição de risco antes e depois da implantação da IBR onde observamos a redução de 24 equipamentos no nível de risco alto.

Figura 15 - Distribuição do risco antes da implantação da IBR

Fonte: Ohweiler (2005, p.3)

Figura 16 - Distribuição do risco depois da implantação da IBR



Fonte: Ohweiler (2005, p.3)

Entre os resultados obtidos através das inspeções, exemplifica-se:

Exemplo 1 - Redução de risco com aplicação de ensaio não destrutivo

Exemplo 2 - Redução de risco sem aplicação de ensaio não destrutivo

Exemplo 3 - Inspeção sem grande redução de risco

Exemplo 4 - Redução de risco com inspeção intermediária

- 4- Planejamento da Inspeção Baseada na Análise de Risco – Não foi especificado processo de planejamento.

Aplicabilidade do Método ao Sistema: A utilização da IBR nesse estudo se comprova importante para o gerenciamento dos riscos de acordo com o planejamento de inspeção. Permitindo alocar esforços de inspeções e manutenções em áreas que oferecem mais risco a planta e maior efetividade. As ferramentas de identificação e análise de modos de falhas não são apresentadas nem a presença de softwares é exemplificada.

Dificuldade de Aplicação: Não foi relatado dificuldades na implementação do método.

Resultados Obtidos: O autor busca comparar a evolução do risco através da técnica de RBI através do software API-RBI. Nas matrizes de projeções futuras são identificados os efeitos do

plano de inspeção e o nível de efetividade das inspeções aplicadas ao conjunto de equipamentos, mostrou-se insuficiente para impedir a evolução do risco residual após 12 anos de campanha.

Comentários:

Abordagem sobre Inspeção Baseada em Risco segundo API-581

Área de atuação: O método foi aplicado em tubulações sujeitas à pressão interna.

Objetivo: O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia voltada para a priorização dos riscos associados ao meio industrial.

Metodologia: Não é apresentado procedimento de aplicação.

Aplicabilidade do Método ao Sistema: A utilização da IBR em tubulações pode ser realizada para classificar os dutos, definir a priorização e otimização dos planos de atividades. As ferramentas de identificação e análise de modos de falhas não são apresentadas nem a presença de softwares é exemplificada.

Dificuldade de Aplicação: Não foi relatado dificuldades na implementação do método.

Resultados Obtidos: A utilização da IBR nesse estudo se comprova importante para a classificação e quantificação dos riscos promovendo uma integração entre as áreas de inspeção e manutenção. E a API - 581 surge como uma grande ferramenta para gerenciar riscos, quantificando a efetividade dos processos de manutenção e que possivelmente pode servir como referência para a elaboração das normas regulamentadoras.

Comentários:

A Inspeção Baseada no Risco – Válvulas de Segurança de Equipamentos sob Pressão.

Área de atuação: O método foi aplicado em duas válvulas de segurança.

Objetivo: O objetivo deste trabalho é apresentar a experiência de aplicação da IBR dentro das etapas de planejamento, execução e análise das atividades de manutenção na parada geral da Planta 2.

Metodologia:

- 1- Determinação da Probabilidade de Falha dos Equipamentos – Após as seleções das válvulas foi realizada a análise da probabilidade de falha junto com a determinação dos parâmetros de Weibull tanto para o modo de falha FAIL como para o LEAKAGE.
- 2- Análise da Consequência das Falhas – A consequência não é determinada, pois este trabalho em si não compreende uma avaliação do IBR. Porém após a avaliação dos parâmetros e probabilidade de falha têm-se os materiais para a realização da avaliação IBR.
- 3- Determinação do Risco – Não é informado matrizes de risco das válvulas estudadas.
- 4- Planejamento da Inspeção Baseada na Análise de Risco – O autor Jones (2009) disponibiliza:
 - 4.1- Adoção um intervalo de inspeção, t_{insp} , de 5 anos.
 - 4.2- Valor dos parâmetros de Weibull padrão, β e η_{def} , usando as tabelas da API - 581.
 Obtendo os seguintes dados:
 - a) Data de inspeção: 27/09/2009 (Refere-se à inspeção que terá início resultante do planejamento proposto por esta RBI);
 - b) Fluido do processo: hidrocarboneto;
 - c) Existem partículas resultantes da corrosão, por sua vez do vapor de água presente durante o processo;
 - d) Modo de falha a analisar: LEAKAGE;
 - e) Percentagem de fluido em fase líquida geralmente não excede a 50%;
 - f) Temperatura de serviço: 177°C (350°F);
 - g) Tipo de PRD: Válvula de segurança e alívio convencional;
 - h) Data de registo da última falha sistema: 1998 (11 anos até a data de inspeção);
 - i) Caracterização da falha: presença de produto de corrosão que obstruiu a entrada da válvula;
 - j) Classificação da pressão de serviço (Baixa, alta, média): Média;
 - k) A descarga é feita para atmosfera
 Conclusão: severidade de serviço é moderado.

Aplicabilidade do Método ao Sistema: Permite compreender a severidade do serviço alocando esforços em áreas que oferecem mais risco e maior efetividade. As ferramentas de identificação e análise de modos de falhas não são apresentadas, porém o autor utiliza o softwares para facilitar a aplicação.

Dificuldade de Aplicação: A principal dificuldade neste trabalho consistiu na avaliação de dados disponíveis, que mostraram ser insuficientes e inadequados, para determinação da probabilidade de falha e assim a avaliação RBI API.

Resultados Obtidos: Nesta dissertação foi feito muito mais do que um esclarecimento das normas envolvidas, foi objetivo torna-lo exequível e mediante o desenvolvimento do “software”.

Comentários:

6.2 ANÁLISES DOS ESTUDOS DE CASOS

6.2.1 Quanto à definição

As definições de cada método podem ser adquiridas através de referências literárias ou on-lines. Diferente da IBR, a MCC apresenta diversas definições de acordo com o autor, na fundamentação teórica citamos as duas principais referências no ramo que são: MOUBRAY, J. autor do livro *Reliability-Centered Maintenance: Second Edition*. 2. Ed. New York: Industrial Press Inc., 1997 e FOGLIATO, F.S. e RIBEIRO, J.L.D. escritores do livro *Confiabilidade e Manutenção Industrial*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011, ambos definem a MCC como um conjunto de técnicas que permitem prolongar o tempo de vida do objeto, preservando suas funções específicas, ao invés do próprio equipamento, através de paradas de manutenção planejadas de acordo com técnicas estatísticas.

A IBR não apresenta muitos autores como referência, porém as definições transmitem como prioridade as inspeções dos equipamentos individualmente a partir dos bancos de dados de anos anteriores, priorizando os riscos envolvidos onde, assim como a MCC, considera-se o risco como sendo uma relação entre a probabilidade de falha e sua consequência no sistema.

Pela definição a IBR é focada na inspeção dos equipamentos a fim de minimizar os riscos inerentes a cada item e a MCC se apresenta como uma ramificação da manutenção preventiva, onde as periodicidades de manutenções serão determinadas através das consequências das falhas do sistema.

6.2.2 Quanto ao histórico

A MCC e a IBR surgem ambas na 3ª geração da manutenção, a MCC em meados da década de 60 e 70, período conhecido pelo início da corrida espacial americana e a IBR no final do século, em 1997, a partir do desenvolvimento do *Risk Analysis Task Force*, criado pela *American Society Of Mechanical Engineers – ASME*, em 1985. Período este que compreende a transição da manutenção tradicional para a manutenção produtiva.

A manutenção neste período adquire características mais voltadas ao planejamento construída através de banco de dados e do que se conhece a respeito de cada equipamento tendo como objetivo suprir as necessidades da automação ocorrida na indústria em 1975. Essa característica visa assegurar a confiabilidade dos sistemas e diminuir as paradas desnecessárias à produção em larga escala. Siqueira (2009) cita também a importância do sistema “*just-in-*

time” no aperfeiçoamento destas técnicas, onde a produção com estoques reduzidos inviabiliza pequenas interrupções.

6.2.3 Quanto ao método

A metodologia utilizada para implementação da MCC é baseada em sete questões segundo Moubray (1997) que reorganizadas formam:

- Etapa 1: Identificação das Funções do Sistema;
- Etapa 2: Análise dos Modos de Falha e Efeitos;
- Etapa 3: Seleção das Funções Significativas;
- Etapa 4: Seleção das Atividades Aplicáveis;
- Etapa 5: Avaliação da Efetividade das Atividades;
- Etapa 6: Seleção das Atividades Aplicáveis e Efetivas;
- Etapa 7: Definição da Periodicidade das Atividades.

A implementação da IBR apresentada pela API 581 também segue a organização por etapas, são elas:

- Etapa 1: Determinação da Probabilidade de Falha dos Equipamentos;
- Etapa 2: Análise da Consequência das Falhas;
- Etapa 3: Determinação do Risco;
- Etapa 4: Planejamento da Inspeção Baseada na Análise de Risco.

As etapas 1 e 2 da MCC apresentam bastante semelhança com as etapas 1, 2 e 3 da IBR, compreendendo entre elas a identificação dos componentes ou funções do sistema adquiridos através de bancos de dados, análise dos modos de falha e consequências. Os estudos de casos analisados expõem as semelhanças quanto a obtenção das árvores de falhas estruturais dos processos, quanto a determinação do risco, implementada na inspeção baseada em risco apresenta o mesmo valor do cálculo da Criticidade mostrado pela manutenção centrada na confiabilidade, ambos correspondem ao produto da probabilidade de ocorrência e a severidade ou consequência e pode ser aplicado de forma qualitativa, quantitativa e combinada.

As etapas 3, 4, 5, 6 e 7 da MCC e a etapa 4 da IBR correspondem ao planejamento das manutenções ou inspeções de acordo com os dados obtidos anteriormente. Apesar de tratarem de tomadas de decisões, cada método apresenta sua singularidade. A MCC utilizando-se muitas vezes de dados de confiabilidade e manutenibilidade para determinar os tipos de manutenções a

contrapartida da IBR que utiliza de níveis de risco apresentados por equipamentos para a identificação dos itens mais sujeitos a falhas. Vale ressaltar que os níveis de risco apresentados pelo segundo método não devem ser utilizados para determinar periodicidade das inspeções, sendo essa característica mais presente na MCC. Os dados adquiridos a cada manutenção devem sempre ser reutilizados a fim de cumprir a ideia de renovação contínua proposta pelos novos métodos de gerenciamento de manutenção.

6.2.4 Quanto à aplicabilidade das ferramentas

Os métodos estudados expõem uma metodologia sistemática e bem organizada, utilizada por todos os estudos de caso analisados, onde as literaturas são as principais fontes de informações. Os procedimentos visam diminuir as atividades de manutenção corretivas em detrimento de inspeções e paradas programadas que não afetariam os custos a longo prazo, como é caso exposto por Magrini (2017) e assegurando que o equipamento continue executando suas funções, caso Bandeira, Costa e Lopes (2016). Uma das aplicações inerentes a MCC, e demonstrada por Fagundes, Rocha, Barbosa e Carvalho (2011), é a identificação da condição atual do equipamento através da análise de disponibilidade e posição na curva da banheira.

Através da priorização de itens em ambos os métodos, a concentração de esforços se realiza em itens sujeitos a maiores consequências e, garante que aos demais itens sejam aplicados apenas esforços apropriados nas inspeções (IBR) e não realizadas ações preventivas mais complexas que a limpeza e a lubrificação (MCC).

Alguns estudos analisados utilizaram softwares para facilitar a aplicação:

- Para MCC: Software Weibull ++7, disponível na Relia Soft, que serve para cálculos e modelagem das funções de Confiabilidade $R(t)$ e Manutenibilidade $M(t)$.
- Para IBR: Software API-RBI utilizado para cálculos de matrizes de risco e análise de efeitos futuros dos equipamentos, onde fornece a evolução dos riscos em função do tempo e também após o plano de inspeção pré-determinado.

A empresa ReliaSoft, citada anteriormente, distribui diversos softwares com o intuito de auxiliar as ferramentas de gerenciamento. Na fundamentação teórica são exemplificados diversos softwares comerciais utilizados e disponíveis por companhias.

6.2.5 Quanto às dificuldades na implantação

Nenhum estudo de caso relatou problemas quanto a aplicação das ferramentas. Sendo as observações restritas em ambos os casos aos bancos de dados e aos erros humanos.

Os dados são importantes para acurácia e correspondem a etapa inicial do processo, onde a análise do histórico será responsável pela análise dos modos de falhas do sistema ou do equipamento. As incertezas desses dados podem comprometer a efetividade das manutenções e todas as etapas seguintes.

Boa parte das etapas que envolvem a avaliação é adquirida por profissionais do ramo, por isso é imprescindível o conhecimento de como cada item funciona e modos de falhas. O trabalho em grupo deve ser muito aprimorado e pode apresentar-se como um desafio dependendo do ambiente organizacional.

6.2.6 Quanto ao ramo de empresas que as utilizam

Foram analisados diversos estudos de caso, totalizando 7 (sete) diferentes atividades, e os ramos encontrados correspondem tanto para atividades industriais, quanto para meios de locomoção e comércios. A MCC apresenta maior abrangência que a IBR no quesito ramos de aplicação, a IBR, por ser a mais recente entre ambas, é ainda bastante focada em atividades industriais de hidrocarbonetos e em equipamentos sobre pressão, onde foi originada. Apesar disso a 3ª geração da manutenção tem popularizando os métodos de gerenciamento, tornando obsoleto e não lucrativo a manutenção corretiva e a diversidade dos ramos encontrados demonstra isso, os métodos de gerenciamento não se restringem a apenas um setor, hoje eles podem ser encontrados tanto em shoppings populares quanto em grandes indústrias.

6.3 COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS

Tendo como proposta de trabalho o objetivo de fornecer semelhanças e diferenças entre esses dois métodos, a tabela 6 com os principais pontos é fornecida, demonstrando principalmente as características de cada técnica.

Tabela 21 - Comparação da Manutenção Tradicional com a MCC e a IBR

Características	Manutenção Tradicional	MCC	IBR
Foco	Equipamento	Função	Risco
Objetivo	Manter o Equipamento	Preservar a função	Preservar a segurança
Atuação	Componente	Sistema	Equipamento (Componente)
Atividades	O que pode ser feito	O que deve ser feito	Porque deve ser feito
Dados	Pouca ênfase	Muita ênfase	Muita ênfase
Documentação	Reduzida	Obrigatória e Sistemática	Obrigatória e Sistemática
Metodologia	Empírica	Estruturada	Estruturada
Combate	Falhas	Consequências das Falhas	Aos riscos inerentes ao processo
Normalização	Não	Sim	Sim
Priorização	Inexistente	Por função	Por risco

Fonte Adaptada: Siqueira (2014, p.17)

7 CONCLUSÕES

Os dois métodos têm em comum a otimização da produtividade dos equipamentos, diminuindo as intervenções desnecessárias. A documentação dos dados de manutenção serve como meio para a manutenção da confiabilidade ao longo do tempo e, neste caso, é necessário o conhecimento de como cada item funciona e como ele pode falhar. A priorização de itens ou sistemas em muito se assemelham. A IBR, por exemplo, realiza esta priorização através da determinação do risco inerente a cada item e a MCC através da análise das consequências das falhas dos mesmos, consequências estas que são utilizadas também na inspeção baseada em risco para o cálculo do risco. Apresentam metodologia baseada em etapas sistemáticas e a utilização de softwares para auxiliar na documentação e análise dos dados. Ambos os processos utilizam diagramas lógicos, como FMEA, FMECA, árvores de falhas e outros, para obtenção de falhas estruturais ou funcionais. Todas as falhas analisadas servem para verificação das consequências e/ou riscos e posterior criação de mapas de riscos e determinação de tipos de manutenção.

Apesar de apresentarem bastantes semelhanças inicialmente, as diferenças são o que caracterizam cada método. A IBR é focada mais na inspeção de acordo com os riscos envolvidos e a MCC em atividades de manutenção diversificadas com o intuito de aumentar a disponibilidade do sistema. Atributos como os tipos de manutenção, monitoramento quanto aos tipos de falhas e na apresentação de tratamentos alternativos são presentes apenas na MCC, sendo assim seus pontos fortes quanto as outras. As ferramentas de confiabilidade e probabilidade apresentadas pela MCC fornecem e avaliam o tempo médio entre falhas, característica importante para determinação da periodicidade da manutenção. A IBR, por outro lado, foca-se mais nos cálculos de CoF e PoF, responsáveis pela determinação do risco e formação da matriz de riscos dos equipamentos.

A análise da confiabilidade versus o risco também é um tópico importante a fim de compreender as particularidades de cada técnica. A confiabilidade apresentada pela MCC advém do cálculo das funções de Confiabilidade $R(t)$ e Manutenibilidade $M(t)$ que correspondem aos valores de disponibilidade e a função taxa de falha, respectivamente. Já o risco é obtido a partir do produto da probabilidade de falha e a consequência, que em muito se assemelham ao cálculo da Criticidade necessário a FMECA uma das técnicas de gerenciamento da MCC.

Devido às vantagens de efetividade dos métodos eles são muito utilizados industrialmente, as semelhanças de documentação e análise de falhas podem fazer com que os métodos sejam colocados como concorrentes no meio, porém devido às etapas de análise dos tipos de manutenção adquiridas pelos dos modos de falhas e dos riscos subsequentes e das especificações dos ramos de cada método, IBR – indústria petroquímica e MCC – diversos ramos, a aplicação conjunta dos métodos pode causar sobrecarga de esforços e resultados não satisfatórios. Sobrecarga de esforços presentes na dificuldade de limitações dos sistemas analisados e de dados não confiáveis, que atrasariam o processo, e resultados que devem ser de acordo com as expectativas iniciais do planejamento da manutenção, podendo ser a inspeção ou manutenção preventiva.

8 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Como sugestões para trabalhos futuros, seguem:

- 1- A aplicação dos métodos em situações idênticas ou similares.
- 2- A utilização de softwares para simulação de modelos, estudos de casos.
- 3- Com base nas semelhanças dos métodos, identificar oportunidades de implantação conjunta, reduzindo esforços de implantação e boa convivência dos dois métodos.

REFERÊNCIAS

- ALVARADO, G. **RBI: A short history and justification**. Maio de 2013. Disponível em: <<https://inspectioneering.com/blog/2013-05-20/3326/rbi-a-short-history-and-justif>>. Acesso em: 06 dez. 2017.
- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **API 581: Risk- Based Inspection Technology**. Washington, D.C. 2008
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: confiabilidade e manutenibilidade: terminologia**. Rio de Janeiro, 1994.
- BACKLUND, F. **Managing the Introduction of Reliability-Centred Maintenance, RCM – RCM as a Method of Working within Hydropower Organisations**. 2003. 317 f. Thesys (Doctoral) – Departament of Business Administration and Social Sciences – Division of Quality and Environmental Management, Lulea University of Technology. Lulea, 2003.
- BANDEIRA, M.H.C.; COSTA, D.O.; LOPES, R.S. **Estudo de Manutenção Centrada em Confiabilidade Aplicada a um Sistema de Refrigeração**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 36., 2016, João Pessoa - Pb. Contribuições da Engenharia de Produção para Melhores Práticas de Gestão e Modernização do Brasil. João Pessoa - Pb: Abepro, 2016. p. 1 - 17. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_226_321_29978.pdf>. Acesso em: 23 out. 2018.
- BARAN, L.R. **Manutenção Centrada em Confiabilidade Aplicada na Redução de Falhas: Um Estudo de Caso**. 2011. 103f. Monografia (Especialização em Engenharia de Produção) – UTFPR. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa.
- BLOG WEBRCM. **RCM Software**. Disponível em: <<http://webrcm.org/rcm-software/>> Acesso em: 25 nov. 2018
- DE SOUZA, A.L.B. **Uma Avaliação Crítica da Aplicação da Inspeção Baseada em Risco em Instalações Químicas e Nucleares**. 2004. 83f. Tese (Mestrado Engenharia Nuclear) – UFRJ. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- ECKSTEIN, C.B.; JATKOSKI, E.; ETTER, J.A.N. **Inspeção Baseada Em Risco Segundo API 581: Aplicação do API - RBI Software**. In: CONFERÊNCIA SOBRE TECNOLOGIA DE EQUIPAMENTOS, 6., 2002, Salvador. Conferência Internacional sobre Avaliação de Integridade e Extensão de Vida dos Equipamentos Industriais. Salvador: Coteq, 2002. p. 1 - 10. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/267918356_INSPECAO_BASEADA_EM_RISCO_SEGUNDO_API_581_APLICACAO_DO_API-RBI_SOFTWARE>. Acesso em: 23 out. 2018.
- FAGUNDES, A.M.; ROCHA, A.L.S.; BARBOSA, S.R. **Estudo de Caso: Análise Quantitativa de Confiabilidade e Disponibilidade de Um Torno CNC, Baseado na Metodologia RCM (Reliability Centred Maintenance), aplicado a Área de Manutenção Industrial**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 31., 2011, Belo Horizonte. Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual: Desafios da Engenharia de Produção na Consolidação do Brasil no Cenário Econômico Mundial. Belo Horizonte: Abepro,

2011. p. 1 - 12. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_tn_sto_136_866_19076.pdf>. Acesso em: 23 out. 2018.

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

JHA, M. K.; KUMAR, R. **Reliability Centerd Maintenance of a Ply Industry: A Case Study**. International Journal Of Engineering Research & Technology. Purnea, p. 328-329. 11 nov. 2016. Disponível em: <<http://www.ijert.org>>. Acesso em: 23 out. 2018.

JONES, M.S. **Inspeção Baseada no Risco – Válvulas de Segurança de Equipamentos sob Pressão**. 2009. Tese (Mestrado Engenharia Mecânica) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa. Disponível em: <[https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395139415116/IBR%20-%20PRD_\(15-10-2009\)%20\(10-33\).pdf](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395139415116/IBR%20-%20PRD_(15-10-2009)%20(10-33).pdf)>. Acesso em: 24 de nov. 2018.

KOBBACY, A. H.; MURTHY, P. **Complex System Maintenance Handbook**. Manchester: Springer, 2008.

MAGRINI, V. A. **Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC): Estudo Aplicado ao Processo de Manutenção de Locomotivas Visando Redução de Custos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 7., 2017, Ponta Grossa. Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. Ponta Grossa: ABEPRO, 2017. p. 1 - 11. Disponível em: <<file:///C:/Users/Estagi%C3%A1rios/Downloads/01505661989.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2018.

MISHINA, K.D.V.; SILVA J.F.; SILVA, J.B.A. **Abordagem Sobre Inspeção Baseada em Risco Segundo API-581**. In: II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE MECÂNICA, 2002, João Pessoa. Congresso Nacional de Engenharia de Mecânica. João Pessoa: CONEM, 2002.

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

MOUBRAY, J. **Reliability-Centered Maintenance**: Second Edition. 2. ed. New York: Industrial Press Inc., 1997.

NAVSEA. **Reliability-Centered Maintenance (RCM) Handbook**. S9081-AB-GIB- 010. Naval Sea Systems Command. USA, 2007.

OHLWEILER, D.R. **A inspeção Baseada Em Risco Como uma Ferramenta no Gereciamento dos Riscos de Processo**. Braskem UNIB – RS, 2005.

SIQUEIRA, I.P.D.S. **Manutenção Centrada na Confiabilidade**: Manual de Implementação. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2014.