

## Métodos e Ferramentas aplicados na Análise de Criticidade em Sistemas Industriais

Leandro Roberto Baran (IFPR-TB) [leandro.baran@ifpr.edu.br](mailto:leandro.baran@ifpr.edu.br)  
Prof. Dr. Flávio Trojan (UTFPR-PG) [trojan@utfpr.edu.br](mailto:trojan@utfpr.edu.br)  
Prof. Dr. João Luiz Kovaleski (UTFPR-PG) [kovaleski@utfpr.edu.br](mailto:kovaleski@utfpr.edu.br)  
Ademir Stefano Piechinicki (IFPR-TB) [ademir.piechnicki@ifpr.edu.br](mailto:ademir.piechnicki@ifpr.edu.br)

### Resumo:

Em sistemas e equipamentos industriais o nível de manutenção fornecido está diretamente relacionado com a criticidade dos sistemas, determinada em razão de vários critérios como contexto operacional, segurança, meio-ambiente, taxa de falhas, entre outros. Este artigo discute conceitos básicos utilizados na análise de criticidade de sistemas industriais, apresentando os seguintes métodos: Número de risco (RPN), Matriz de criticidade, Classificação ABC, Matriz GUT; FMEA/FMECA, RCM, descrevendo seu processo e contexto de aplicação, vantagens e desvantagens, realizando uma comparação de suas principais características com base na literatura específica da área.

**Palavras chave:** Análise de Criticidade, Manutenção, Gestão Industrial.

## Methods and tools applied in the Criticality Analysis Industrial Systems

### Abstract

In systems and industrials equipment, the maintenance level provided is directly related to the criticality these systems, determined according to several criteria such as operating environment, safety, environment, failure rate, among others. This article discusses the basic concepts used in the criticality analysis of industrial systems, presenting the following methods: Risk number (RPN), criticality matrix, ABC classification, Matrix GUT, FMEA / FMECA, RCM, describing their process and application context, advantages and disadvantages, making a comparison of their main characteristics based on literature specific area.

**Key-words:** Criticality Analysis, Maintenance, Industrial Management.

### 1. Introdução

Sistemas são planejados, operados e mantidos visando satisfazer as necessidades de um cliente, com certo nível de qualidade e otimizando sua capacidade produtiva. Contudo, com o avanço no tempo de operação, falhas podem ocorrer, comprometendo seu desempenho e seu objetivo inicial, tornando uma política de manutenção importante para restaurar o desempenho do sistema a um nível desejado (MOHIDEEN *et al.*, 2011).

Para Nguyen *et al.* (2013) a manutenção é fundamental para o desempenho e a confiabilidade dos sistemas industriais, assegurando a eficiência no seu uso e vida útil, contudo, em muitos casos, é impossível de executar todas as ações de manutenção devido às limitações de recursos, tempo e complexidade dos processos. Nesses casos a análise de criticidade é indicada na priorização dos sistemas e equipamentos críticos, levando em conta interações entre processos, modelos de confiabilidade, as variações dos parâmetros e características operacionais de um processo.

O objetivo da análise de criticidade consiste em identificar o impacto da indisponibilidade de equipamentos e sistemas industriais (ou demais eventos externos que afetam o processo) durante determinado período de tempo, observando as interações entre processos, modelos de confiabilidade, variações dos parâmetros e características operacionais de cada processo. Dessa forma, gerir a criticidade de todos os equipamentos de uma planta industrial é fundamental para sua política de manutenção, definindo onde e como será a atuação da manutenção em cada equipamento, distribuindo e gerenciando os recursos de maneira eficaz, contribuindo no aumento da saúde física e econômica da empresa (TOMADIS & PISTIKOPOULOS, 2004).

A literatura apresenta diversos modelos para utilização em análise de criticidade, como Avaliação de Risco, Análise Crítica dos Modos de Falha e Efeitos (FMECA) (Tomadis & Pistikopoulos, 2004), em abordagens quantitativas, considerando taxa de falha, taxa de efeitos das falhas e índices de manutenção (MIL-1629, 1980; IEC 60812, 2006) e abordagens qualitativas, observando critérios operacionais específicos, baseados na experiência dos avaliadores (MOUBRAY, 1997; SIQUEIRA, 2009).

O objetivo deste artigo é apresentar as principais ferramentas e métodos aplicados em análise de criticidade de sistemas industriais, descrevendo seu processo de aplicação, características, vantagens e desvantagens, identificando quais cenários prováveis para cada aplicação.

## **2. Criticidade na Manutenção**

Moss e Woodhouse (1999) observam que a "criticidade" está sujeita a diferentes interpretações, dependendo do objetivo e contexto no qual ela é analisada, definindo criticidade como o atributo que expressa à importância da função de um equipamento ou sistema dentro de um processo produtivo, sob os aspectos de segurança, qualidade, meio ambiente ou outros critérios específicos. Aven (2009) ressalta que a criticidade informa o quanto um equipamento pode ser fundamental dentro do contexto operacional de um sistema, onde sua falha ou baixo desempenho podem acarretar graves consequências, como acidentes com pessoas, danos ambientais, impactos econômicos e operacionais, sendo a criticidade diretamente proporcional ao impacto desse equipamento no processo.

### **2.1 Análise de Criticidade**

Hijes e Cartagena (2006) ressaltam a importância da manutenção ao devolver a confiabilidade perdida do sistema, sendo que quanto mais crítico o equipamento, maior deve ser o foco da manutenção sobre ele, sendo a análise de criticidade o ponto de partida na priorização do nível de manutenção necessário em cada sistema e para distribuição dos recursos da manutenção.

A análise de criticidade é uma técnica que identifica e classifica efeitos e eventos potenciais baseados no seu impacto e importância para o processo, sendo aplicada em estudos de risco, confiabilidade de projetos e plantas em operação, sendo uma exigência em sistemas ambientais e de segurança, podendo ser conduzida de forma quantitativa ou qualitativa (SMITH & HAWKINS; 2004).

A abordagem quantitativa consiste na obtenção de um número crítico a partir das taxas de falhas, taxa dos modos de falhas, taxas de efeitos das falhas com valores conhecidos e confiáveis, conforme documentos da MIL-STD-1629A e IEC 60812, onde são apresentados métodos e fórmulas para utilização dessa abordagem. O método qualitativo é utilizado quando não há dados disponíveis sobre as falhas, sendo necessário classificar a criticidade de forma subjetiva com base no conhecimento tácito da equipe de análise, comumente aplicada em

projetos ou instalações em comissionamento, contudo conforme o sistema entra em regime operacional recomenda-se a coleta de dados e a utilização de métodos quantitativos (MIL-1629, 1980; IEC 60812, 2006).

## 2.2 Critérios para avaliação da criticidade

Siqueira (2009) observa em grande parte das plantas industriais não há uma seleção adequada dos parâmetros que afetam a criticidade dos equipamentos, sendo a criticidade do equipamento baseada apenas na experiência e conhecimento tácito do técnico ou manutentor responsável pela análise, acrescida de informações técnicas sobre o mesmo.

O quadro 01 apresenta os principais critérios utilizados na avaliação de criticidade de equipamentos e sistemas industriais:

<b>Critério</b>	<b>Requisitos de avaliação</b>	<b>Autores</b>
Segurança e meio-ambiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ameaça a vida dos colaboradores;</li> <li>• Risco a saúde dos colaboradores;</li> <li>• Ameaça coletiva a sociedade;</li> <li>• Infração a normas e leis ambientais;</li> </ul>	Mobley <i>et al.</i> (2008); Siqueira (2009); Moubray (1997)
Critérios econômico-financeiros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Custos de produção;</li> <li>• Custos diretos e indiretos;</li> <li>• Capacidade de alterar a produção;</li> <li>• Impacto na eficiência do processo;</li> <li>• Consumo desnecessário de recursos;</li> <li>• Custos de procedimentos de manutenção;</li> <li>• Custos de peças e sobressalentes;</li> </ul>	Moubray (1997); Siqueira (2009); Mobley <i>et al.</i> (2008);
Critérios de produção e qualidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alteração no regime produtivo;</li> <li>• Reclamações de clientes (externo-internos);</li> <li>• Impacto na qualidade do produto;</li> <li>• Equipamentos sem sobressalentes;</li> <li>• Equipamentos “gargalos” na produção;</li> <li>• Impacto provoca danos no equipamento ou equipamentos vizinhos;</li> </ul>	Ribeiro (2010); Hermann (2008); Siqueira (2009);
Disponibilidade, confiabilidade e frequência das falhas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tempo médio entre falhas (MTBF);</li> <li>• Tempo médio de reparo (MDT);</li> <li>• Taxa de falha;</li> <li>• Confiabilidade;</li> <li>• Frequência de falha;</li> </ul>	Campbell & Jardine (2001); Dilhon (2006); Smith & Hinchcliffe (2004);

Fonte: Autor (2013)

Quadro 1 – Critérios e parâmetros utilizados em Análise de Criticidade

Informações puramente técnicas não são suficientes para determinar a criticidade de um equipamento, devendo ser acrescentados outros critérios como: relação interfuncionais dos equipamentos-processo; risco derivado do potencial de falha; impactos financeiros, políticas ambientais; segurança; aspectos econômicos; qualidade, além de critérios específicos de cada segmento industrial (SIQUEIRA, 2009).

## 3. Seleção de Equipamentos Críticos

Existem diversos métodos e ferramentas para análise de criticidade e seleção de sistemas críticos, tanto na literatura, quanto adaptados e criados para necessidades específicas de uma planta industrial, sendo ferramentas específicas para análise ou incorporadas dentro de filosofias de manutenção e qualidade (RCM, FMEA e FMECA). Hellmann (2008) e Siqueira (2009) observam que grande parte das empresas utilizam métodos empíricos na avaliação da

criticidade, baseado na experiência dos gestores e técnicos de manutenção, que apesar de servir de referência no planejamento de atividades e recursos, não oferecem uma avaliação completa, que contemple diferentes aspectos e cenários, abordando uma visão global do sistema, incluindo áreas como: segurança, meio-ambiente, produção, qualidade e outros departamentos necessários. A seguir são apresentados métodos utilizados para análise de criticidade em sistemas industriais.

### 3.1 Número de risco

A avaliação do número de risco, do inglês Risk Priority Number (RPN), é uma ferramenta que analisa os riscos presentes em falhas potenciais, focando a priorização das atividades de manutenção (JIAN-MING et al., 2011).

Segundo a IEC 60300 (2006) risco pode ser definido como a probabilidade de um evento ocorrer, ou a frequência no qual o mesmo ocorre, combinado ao efeito desse evento. Hokstad e Trygve (2006) definem risco como a possibilidade de ocorrência de todos os eventos e condições indesejadas.

A avaliação do RPN pode ser realizada através da equação 01, ou quando utilizado o nível de detecção pela equação 02 (IEC, 2006):

$$RPN = S \times F \quad \text{Equação 1}$$

$$RPN = S \times F \times D \quad \text{Equação 2}$$

Nas equações (S) representa a severidade da falha, (F) a frequência da falha e (D) sua detectibilidade.

### 3.2 Matriz de Criticidade

Constitui-se de uma ferramenta visual para identificação e comparação dos modos de falha de todos os componentes do subsistema, sistema ou equipamento em análise, tomando como base para avaliação a relação entre a probabilidade de ocorrência e a severidade do modo de falha (IEC, 2006).

A figura 01 apresenta um exemplo de matriz de criticidade, onde a criticidade é determinada através da combinação dos valores de severidade e frequência. Nesta matriz, os modos de falha próximos ao canto superior direito são considerados os mais críticos, sendo necessária sua priorização nas ações de manutenção (KIM et al., 2009).

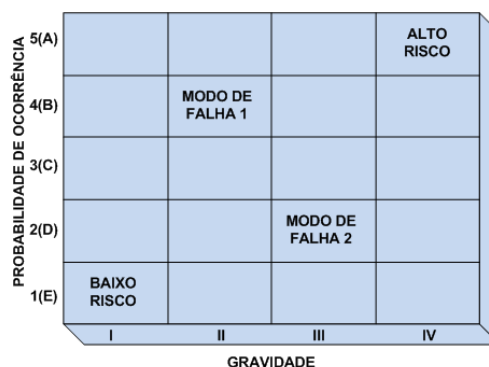


Figura 1 – Matriz de Criticidade  
 Fonte – Kim et al. (2009)

### 3.3 Classificação ABC

O *Japan Institute of Plant Maintenance* (1995) recomenda a utilização da classificação ABC, como uma ferramenta para avaliar a criticidade de uma máquina ou sistema dentro de um processo industrial, mediante a utilização de um fluxograma decisional apresentado na figura 02.

No fluxo o sistema é avaliado mediante os critérios escolhidos pelos responsáveis pela análise, através de perguntas que direcionam a avaliação do sistema, sendo ao final, classificado em alguma das três classes (A, B ou C).

Ao final da análise, a manutenção a manutenção será orientada a cada sistema ou equipamento com base na sua classificação, sendo (JIPM, 1995):

- Classe A: Equipamentos altamente críticos para o processo, sendo fundamental uma política preventiva com: preditiva e preventiva, análise das falhas manutenção e operação, equipes de melhoria focada, equipes focadas na redução de falhas, aplicação de metodologias RCM ou FMECA.
- Classe B: Equipamentos importantes para o processo, sendo aceitável aplicação de alguma das seguintes técnicas: preventiva ou preditiva, equipes e times de melhoria, análise das falhas pela manutenção.
- Classe C: Equipamentos com baixo impacto no processo, com as seguintes políticas de manutenção: corretiva, preditiva e/ou preventiva em equipamentos utilitários, monitoramento de falhas para evitar recorrências.

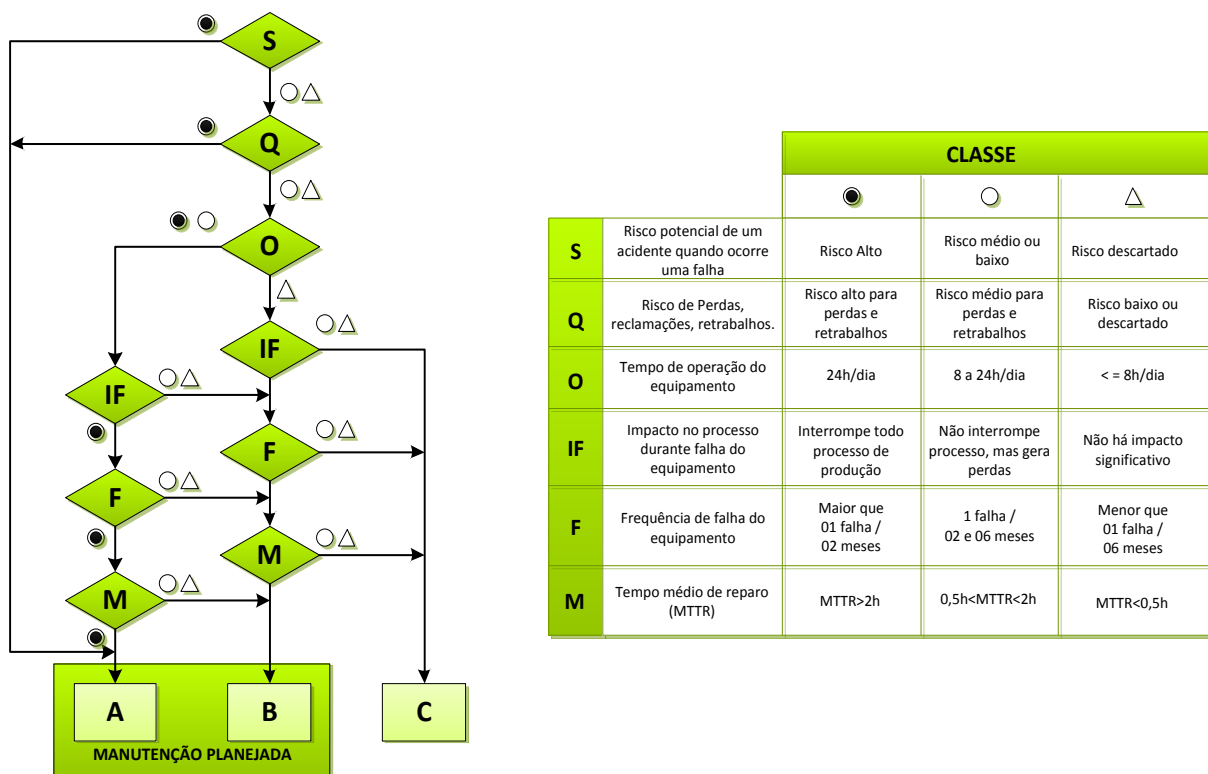


Figura 2 – Classificação ABC (Critérios e Fluxo Decisional)  
 Fonte – JIPM (1995)

### 3.4 Matriz GUT

Ferramenta de qualidade utilizada na priorização de problemas, levando em consideração os

parâmetros: gravidade, urgência e tendência (GUT). A matriz GUT foi desenvolvida para orientar tomadas de decisões em problemas complexos, sob a ótica de diferentes decisores. Helmann (2008) destaca que esta ferramenta pode ser adaptada na avaliação de criticidade de equipamentos, considerando:

- Gravidade: fator que está relacionado aos efeitos possíveis de surgirem no médio e/ou longo prazo no caso da ocorrência de uma falha e o seu impacto sobre o processo, colaboradores e resultados;
- Urgência: a qual está relacionada diretamente ao tempo disponível para solução da falha;
- Tendência, que é relacionada à possibilidade de um problema agravar-se ou diminuir.

Para cada fator são atribuídos pesos, em uma escala qualitativa de 1 a 5, conforme o grau de impacto do equipamento em cada um dos parâmetros, para então determinar o nível de criticidade do equipamento através da multiplicação dos fatores (gravidade, urgência e tendência) (HELMANN, 2008). O quadro 02 apresenta um exemplo da matriz GUT aplicada na avaliação da criticidade de equipamentos.

Peso	Gravidade	Urgência	Tendência	Classificação GUT G x U x T
	As consequências da falha são:	Caráter das ações?	Em intervenção a falha evoluirá?	
5	Extremamente graves	Imediatas	Rapidamente	125
4	Muito grave	Com alguma urgência	Em pouco tempo	64
3	Grave	O mais cedo possível	Em médio prazo	27
2	Pouco grave	Pode aguardar um pouco	Em longo prazo	8
1	Sem gravidade	Sem pressa	Não irá evoluir	1

Fonte: Adaptado de Helmann (2008)

Quadro 2 – Matriz GUT aplicada em análise de criticidade

### 3.5 FMEA/FMECA

Oriundo da indústria militar americana, a FMECA – *Failure Mode Effects & Criticality Analysis* (Análise Crítica dos Modos de Falhas e seus Efeitos) é uma ferramenta de confiabilidade, aplicada e difundida em diversos segmentos industriais, MIL-1629-A (Departamento de Defesa Americano), SAE-J1739 e SAE-ARP5580 (indústria automotiva) e IEC-60812 e STUK-YTO-TR190 (indústria eletrônica).

A FMECA é composta de duas análises distintas, o FMEA - *Failure Mode and Effects* (Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos) e Análise de Criticidade (CA). A FMEA observa os modos de falha e seus efeitos e a CA realiza a priorização de cada modo de falha em função do seu nível de importância, utilizando como parâmetros a taxa e a gravidade do efeito da falha (IEC, 2006).

A FMEA pode ser descrita como uma sequência de etapas lógicas, em uma análise com início nos componentes ou subsistemas de um equipamento (menor nível), observando e identificando modos de falha potenciais e seus mecanismos de falhas, para então, através da análise da falha em nível inferior potencializar seu efeito para níveis superiores do sistema (IEC 60518, 2006; MOBLEY, 2008). A análise dos processos pode ser realizada de forma

ascendente (botton-up), quando iniciada pela identificação dos modos de falha no menor nível do sistema, traçando seus efeitos em níveis superiores, até chegar ao nível mais alto. Outra forma de realizar a análise é chamada descendente (top-down) com uma análise das falhas funcionais e potenciais que afetam o sistema final, identificando as causas dessas falhas nos níveis inferiores do sistema.

A FMECA apresenta como resultado um maior conhecimento e compreensão dos pontos críticos de um sistema (modos de falha), apresentando-se como uma base de dados para criação de um modelo de confiabilidade e auxiliando o processo de seleção das atividades de manutenção para mitigar/eliminar estes modos de falha. Outro resultado é a delimitação das tarefas de manutenção é baseada no conhecimento das falhas do equipamento e suas causas, visando identificar as ações de manutenção que podem prevenir, eliminar ou identificar o início de uma falha, tornando o FMEA/FMECA vital no processo de confiabilidade do sistema (SMITH e HINCHCLIFFE, 2004).

As diferentes versões utilizadas do FMECA apresentam um fluxo de aplicação similar entre elas, onde para realização de uma análise FMECA, o primeiro passo é a realização de um FMEA, utilizado como base de dados para a análise de criticidade (CA).

Dhillon (2006) propõem o seguinte fluxo:

- Entender a função do sistema escolhido, seu modo de operação, subsistemas, componentes e peças envolvidos;
- Estabelecer a profundidade da análise quanto ao nível hierárquico do sistema;
- Identificar cada item a ser analisado (por exemplo, subsistema do módulo, ou em parte)
- Identificar todos os possíveis modos de falhas para cada componente em análise;
- Determinar o efeito da falha de cada item para cada modo de falha;
- Determinar o efeito das falhas em um contexto do sistema local, sistemas auxiliares e níveis superiores do sistema;
- Identificar causas potenciais para os modos de falhas de cada componente;
- Listar os métodos, procedimentos e ferramentas para a detecção de possíveis falhas;
- Determinar a gravidade de cada modo de falha;
- Estimar frequência ou probabilidade de ocorrência do modo de falha em um período determinado.

### 3.6 Manutenção Centrada em Confiabilidade

A Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), do inglês Reliability Centered Maintenance (RCM), é uma abordagem de manutenção, com origem da indústria aeronáutica e militar americana no fim da década de 60, que prioriza as ações da manutenção para sistemas e equipamentos onde a confiabilidade é fundamental, priorizando aspectos como desempenho, segurança, meio-ambiente e financeiro (MOUBRAY, 1997; WANG e HWANG, 2004).

Igba et. al (2013) afirma que o objetivo da MCC é preservar a função mais importante do equipamento ou sistema, assegurando a confiabilidade e disponibilidade necessária com o menor custo possível, disponibilizando uma estratégia eficiente de manutenção, mitigando e/ou eliminando os efeitos e consequências de uma falha, baseadas nas necessidades do processo produtivo e não do equipamento os sistema, conforme abordagem tradicional de

manutenção. Contudo, Rausand (2008) ressalta que a MCC não aumenta e nem melhora a confiabilidade do sistema, e sim apenas assegura a realização da confiabilidade que lhe é inerente, equilibrando custos e benefícios na obtenção de um programa otimizado de manutenção preventiva (PM).

A literatura apresenta diversos processos de implantação para a MCC, Moubray (1997); NAVSEA (2007); Smith & Hinchcliffe (2004), os quais variam de acordo com o contexto de aplicação, tipo de análise, modelos utilizados como base, maturidade da equipe de análise, entre outros (SIQUEIRA, 2009).

As etapas comuns e aceitas na grande maioria dos modelos de aplicação são (MOUBRAY, 1997; SMITH e HINCHCLIFFE, 2004):

- Etapa 1: Identificação das Funções do Sistema;
- Etapa 2: Análise dos Modos de Falha e Efeitos;
- Etapa 3: Seleção das Funções Significantes;
- 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.

Leverette (2006) divide a aplicação da MCC em quatro macros etapas, destacando os processos de análise, ferramentas e relacionamentos possíveis presentes no processo de implantação, ilustrado na figura 03.

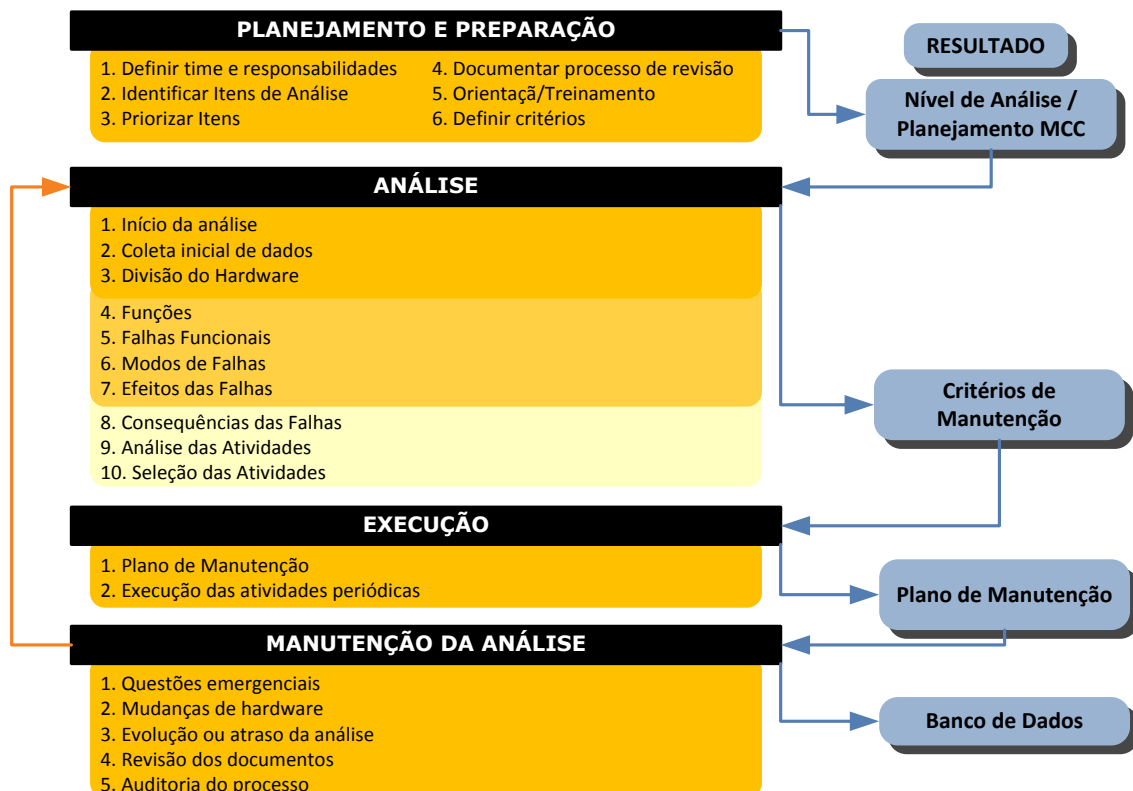


Figura 3 – Processo de implantação da MCC

Fonte – Leverette (2006)



Cheng *et al.* (2008) sintetizam o resultado de cada fase da figura 2 em:

- Identificação das funções significativas: Identificar as funções críticas dos itens e sistemas, subsistemas e componentes, cuja sua ausência seja refletida em impactos econômicos, financeiros, operacionais e riscos ao meio-ambiente e a segurança;
- Análise dos modos de falha e efeitos (FMEA): identificar as falhas funcionais, em cada nível do sistema ou processo em questão, as falhas presentes em cada nível, seus modos de falha, efeitos e causas, traçando os efeitos de cada falha em todos os níveis do sistema;
- Decisão lógica da MCC: após identificação das causas das falhas funcionais, são selecionadas, através de ferramentas presentes na metodologia, as tarefas aplicáveis de manutenção e sua periodicidade;
- Combinar, desenvolver e atualizar a política de preventiva: atualizar baseado no resultado da aplicação da MCC a política de manutenção, introduzindo novas técnicas e metodologias a fim de otimizar o resultado de pós implantação da MCC.

### 3.7 Comparações entre os métodos apresentados

A escolha do método a ser utilizado em análise de criticidade dependerá de fatores como: experiência da equipe com a ferramenta; nível de profundidade da análise; tipo da abordagem a ser utilizada (qualitativa ou quantitativa); dados disponíveis; parâmetros e critérios a serem utilizados, entre outros.

Siqueira (2009) destaca que ferramentas quantitativas, como número de risco, taxa de falhas, necessitam de um banco de dados confiável sobre o equipamento e uma experiência do analista na ferramenta, onde muitas vezes é necessária uma análise matemática. No entanto, os modelos quantitativos apresentam uma deficiência comum: não consideram as características inerentes de cada processo, interações entre eles, e critérios operacionais específicos, tais como econômicos, segurança e meio ambiente (TENG & HO, 2000; TOMAIDIS & PISTIKOPOULOS, 2004).

Barendes *et al.* (2012) observam que técnicas qualitativas (FMECA, RCM e Classificação ABC) estão sujeitas a análise de valor e experiência do analista, não sendo indicadas em instalações e equipamentos no início de sua vida útil. Oldenhof *et al.* (2013) indicaram várias limitações da FMECA/FMEA em relação a outros modelos quantitativos, enfatizando principalmente a fragilidade do cálculo do RPN utilizar escalas qualitativas.

Siqueira (2009) e Mobley (2008) destacam que apesar de difundidas em outras áreas, ferramentas como a Matriz GUT sempre precisam ser adaptadas para a área de manutenção, não sendo totalmente efetiva principalmente por não atender a necessidades específicas.

Fore & Misha (2010) apontam a MCC como uma metodologia robusta, com redução de custos e tarefas desnecessária de manutenção, contudo também observam o alto custo inicial para formação dos colaboradores na metodologia e que grande parte de seu ganho é percebido somente em nível operacional. Para Tavares (2012) um dos pontos fracos da MCC reside na enorme quantidade de informação e dados, necessárias para aplicação da metodologia, além da enorme burocratização do processo.

#### 4. Conclusão

Com base na revisão e comparação das técnicas realizadas neste trabalho, as seguintes conclusões podem ser realizadas:

- Um grande número de técnicas e ferramentas é utilizado em análise de criticidade de sistemas industriais;
- Apesar de objetivos similares, os métodos apresentam características distintas. Técnicas qualitativas, como FMEA, Matriz de Criticidade, Matriz GUT, para apresentarem sucesso são altamente dependentes da experiência dos especialistas responsáveis pela análise, já técnicas quantitativas, como MCC, RPN, taxa de falhas, necessitam de um banco de dados e históricos confiáveis em sua aplicação;
- Técnicas como o FMEA, FMECA e MCC melhoram e fornecem uma visão mais abrangente do processo ou sistema após a sua aplicação;
- Todas as ferramentas, sejam elas quantitativas ou qualitativas, requerem dados de falha e conhecimento do processo em análise, sendo a qualidade das análises altamente dependente da qualidade dos dados utilizados.
- Nenhuma das ferramentas apresenta a possibilidade de inclusão de critérios específicos para determinado processo;
- A criticidade de equipamentos envolve avaliações de aspectos subjetivos em alguns casos e objetivos em outros, tornando o contexto da análise mais complexa, partindo da premissa que o seu resultado da análise deve ser oriundo das preferências de um grupo de especialista (técnicos, gestores e operadores) e sujeita a vários critérios a serem ponderados.

Nesse contexto, para trabalhos futuros, sugere-se o estudo de uma metodologia para análise de criticidade em sistemas industriais, que trabalhando qualitativamente possibilite incluir a visão e análise de especialistas dos equipamentos, e contemple critérios quantitativos como taxa de falhas, custos e índices de manutenção, além de permitir a inclusão de critérios adicionais, específicos em cada segmento industrial, permitindo uma visão de conjunto e maior confiabilidade dos dados analisados.

## Referências

- CAMPBELL, JOHN D.; JARDINE, ANDREW K. S.** *Maintenance Excellence: Optimizing Equipment Life-Cycle Decisions*. 1ª ed. New York: Marcel Dekker Inc.: 2001.
- AVEN, TERJE.** *Identification of safety and security critical systems and activities*. Reliability Engineering & System Safety, v. 94, n. 2, p. 404-411, feb. 2009.
- DHILLON, B. S.** *Maintainability, maintenance and reliability for Engineers*. 1ª. ed. New York: CRC Press, 2006.
- HELMANN, KURTT S.** *UMA SISTEMÁTICA PARA DETERMINAÇÃO DA CRITICIDADE DE EQUIPAMENTOS EM PROCESSOS INDUSTRIAIS BASEADA NA ABORDAGEM MULTICRITÉRIO*. 95f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2010.
- HJES, FÉLIX C. G. L.; CARTAGENA, JOSÉ J. R.** *Maintenance strategy based on a multicriterion classification of equipments*. Reliability Engineering & System Safety, v. 91, n. 4, p. 444-451, apr. 2006.
- HOKSTAD, PER & TRYGVE, STEIRO.** *Overall strategy for risk evaluation and priority setting of risk regulations*. Reliability Engineering and System Safety, n. 9, p. 100-111, 2006.
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION'S. IEC 60812:** *Analysis techniques for system reliability – procedure for failure mode and effects analysis (FMEA)*. Switzerland, 2006.
- JAPAN INSTITUTE FOR PLANT MAINTENANCE (JIPM).** 600 Forms Manual. Japan, 1995.
- JIAN-MING, CAI; ET AL.** *The Risk Priority Number methodology for distribution priority of emergency logistics after earthquake disasters*. Management Science and Industrial Engineering (MSIE), 2011 International Conference on..., p.560-562, 8-11 Jan. 2011.
- KIM, J. H.; JEONG, H. Y. & PARK, J. S.** *Development of the FMECA Process and Analysis Methodology for Railroad Systems*. International Journal of Automotive Technology. Montreal, v. 10, n. 6, p. 753-759, 2009.
- LEVERETTE, J. C.** *An Introduction to the US Naval Air System Command RCM Process and Integred Reliability Centered Maintenance Software*. In: RCM 2006 - The Reliability Centred Maintenance Managers' Forum. 2006. Anais...: p. 22-29.
- MILITARY STANDARD. MIL-1629.** *Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*. US DEPARTMENT DEFENSE. Washington, DC, 1980.
- MOBLEY, K.; HIGGINS, L. R.; WIKOFF,** *Maintenance Engineering Handbook*. 7ª. ed. New York: McGraw-Hill, 2008.
- MOHIDEEN, P.B. AHAMED; RAMACHANDRAN, M. & NARASIMMALU; RAJAM RAMASAMY.** *Construction plant breakdown criticality analysis – part 1:UAE perspective*. Benchmarking: An International Journal, v. 18, n. 4, p.472-489, 2011.
- MOSS, T. R. & WOODHOUSE, J.** *Criticality analysis revisited*. Quality and Reliability Engineering International, v. 15, n. 2, p. 117-121, mar. 1999.
- MOUBRAY, J.** *Reliability-centered maintenance*: second edition. 2ª. ed. New York: Industrial Press Inc., 1997.
- NGUYEN, T.P. KHANH; YEUNG, THOMAS G.; CASTANJER, BRUNO.** *Optimal maintenance and replacement decisions under technological change with consideration of spare parts inventories*. International Journal of Production Economics, v. 143, n. 2, p. 472-477, jun. 2013.
- RIBEIRO, GIOVANI C.** *A importância dos critérios de sustentabilidade na definição da criticidade dos equipamentos analisados sob a ótica de RCM2*. Revista Comisión de Integración Energética Regional (CIER), n. 55, p. 3-10, jun. 2010.
- SIQUEIRA, Y. P. D. S.** *Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implantação*. 1ª (Reimpressão). ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.
- SMITH, A. M.; HINCHCLIFFE, G. R.** *RCM: gateway to world class maintenance*. 2ª. ed. Burlington: Elsevier Butterworth-Heinemann, v. 1, 2004.
- THOMAIDIS, THOMAS V.; PISTIKOPOULOS, STRATOS.** *Criticality Analysis of Process Systems*. Reliability and Maintainability, 2004 Annual Symposium - RAMS, vol., no., pp.451,458, 26-29 Jan. 2004.

**WANG, CHENG-HUA & HWANG, SHEUE-LING.** *A stochastic maintenance management model with recovery factor.* Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 10, n. 2, p. 154-164, Bingley (UK), abr-jun. 2004.

**SMITH, RICKY; HAWKINS, BRUCE.** *Lean maintenance : reduce costs, improve quality, and increase market share.* 1ª. ed. Burlington, MA: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004.

**IGBA, JOEL; ALEMZADEH, KAZEM; ANYANWU-EBO, IKE; GIBBONS, PAUL & FRISS, JOHN.** *A Systems Approach Towards Reliability-Centred Maintenance (RCM) of Wind Turbines,* Procedia Computer Science, v. 16, p. 814-823, 2013.

**CHENG, ZHONGHUA; JIA, XISHENG; GAO, PING; WU, SU & WANG, JIANZHAO.** *A framework for intelligent reliability centered maintenance analysis.* Reliability Engineering & System Safety, v. 93, n. 6, p. 806-814, jun. 2008.

**TENG, SHENG-HSIEN & HO, SHIN-YANN.** *Failure mode and effects analysis: An integrated approach for product design and process control.* International Journal of Quality & Reliability Management, v. 13, n. 5, p.8 – 26, 2000.

**BARENDT, D.M.; OLDENHOF, M.T.; VREDENBREGT, M.J.; NAUTA, M.J.** *Risk analysis of analytical validations by probabilistic modification of FMEA.* Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, v. 64–65, p. 82-86, may-jun. 2012.

**OLDENHOF, M.T.; LEEUWEN, J.F. VAN; NAUTA, M.J.; KASTE, D. DE; ODEKERKEN-ROMBOUTS, Y.M.C.F.; VREDENBREGT, M.J.; WEDA, M.; BARENDT, D.M.** *Consistency of FMEA used in the validation of analytical procedures.* Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, Volume 54, Issue 3, 20 February 2011, Pages 592-595,

**RAUSAND, MARVIN.** *Reliability Centered Maintenance.* Reliability Engineering and System Safety, v. 60, n. 2, p. 121-132, may. 1998.

**FORE, S., MSIPHA, A.** *Preventive Maintenance using Reliability Centred Maintenance (RCM): A case study of a ferrochrome manufacturing company.* South African Journal of Industrial Engineering, v. 21, p. 207-23, 2010.

**TAVARES, HELDER D. F.** *Aplicação da Metodologia RCM nos Planos de Manutenção de Sistemas de Proteção, Comando e Controle.* 111f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2012.

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