

# MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC) APLICADA NA REDUÇÃO DAS FALHAS FUNCIONAIS EM UM SISTEMA DE TENSIONAMENTO.

**Leandro Roberto Baran (SENAI/UTFPR)**  
leandro.baran@gmail.com

**FLAVIO TROJAN (UTFPR)**  
flaviotrojan@brturbo.com.br

**ANTONIO VANDERLEY HERRERO SOLA (UTFPR)**  
sola@utfpr.edu.br



*No cenário industrial contemporâneo, os sistemas industriais constantemente operam dentro de limites máximos, parâmetros e metas estabelecidas, visando reduzir custos e a garantir a disponibilidade e confiabilidade. Sendo, neste contexto, imprescindível o bom gerenciamento do sistema de manutenção na sua globalidade. A Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) é uma técnica que auxilia as organizações a implantarem um programa de manutenção sistemática, alcançando os objetivos de maneira eficaz, melhorando a relação custo-benefício. A MCC une várias técnicas e ferramentas em uma metodologia estruturada para adoção da melhor política de manutenção, reduzindo custos e atividades desnecessárias, aliadas a um aumentando da confiabilidade do sistema, mitigando a ocorrência das falhas. O presente trabalho descreve o desenvolvimento de um modelo de implantação da MCC, aplicado na redução de falhas funcionais de um Sistema de Controle de Tensão, através da escolha dos componentes críticos e identificação das atividades de manutenção baseadas no contexto operacional de cada componente e as consequências oriundas de suas falhas.*

*Palavras-chaves: Manutenção Centrada em Confiabilidade, Redução de Falhas, Modelo de Implantação.*

## 1. Introdução

As atuais políticas de gestão na indústria resultam em estoques cada vez menores, processos mais enxutos e sistemas dimensionados praticamente no limite de sua capacidade operacional, tornando a manutenção fundamental na garantia da disponibilidade e confiabilidade das empresas.

Para Tsang (2002) o desenvolvimento de técnicas e métodos de manutenção deve fazer frente à: atuais estratégias de operação; expectativas ambientais e de segurança; avanços e mudanças tecnológicas; mudanças organizacionais.

O objetivo deste trabalho é apresentar a metodologia MCC, criando um modelo orientado e adaptado para redução e prevenção de falhas em sistemas industriais, avaliando seus resultados através de um estudo de caso em um sistema industrial.

O modelo de implantação é desenvolvido baseado em uma análise de diferentes versões de MCC encontradas na literatura e aplicadas em diversos segmentos industriais, identificando os pontos fundamentais em cada aplicação, bem como os critérios e requisitos mínimos necessários para uma aplicação em um segmento industrial específico. Para validar a eficácia do modelo o mesmo é aplicado na redução das falhas incidentes em um Sistema de Controle de Tensão.

## 2. Manutenção

Conforme Dohi *et. al* (2011) sistemas industriais sofrem uma deterioração em consequência da sua utilização e seu ciclo de vida, acarretando custos de produção, reduzindo a qualidade e possibilitando a ocorrência de acidentes, tornando uma política de manutenção é fundamental para mitigar esses problemas.

Dhillon (2006) conceitua manutenção como: “as ações necessárias para manter um sistema ou restaurá-lo, para uma condição satisfatória capaz de executar sua função”. Kardec e Nasfic (2009) observam que além da função do sistema, a manutenção deve garantir sua

confiabilidade e disponibilidade, atendendo ao processo com segurança, preservando o meio-ambiente e com custos adequados, sendo essa a missão da manutenção.

## 2.1 Tipos de Manutenção

Tradicionalmente a classificação da manutenção é realizada em função da forma de planejamento das atividades e em função dos objetivos do método de manutenção aplicado, sendo que a diferença entre esses métodos está no momento em que a atividade de manutenção é executada. (SIQUEIRA; 2009; MOBLEY, 2008).

### 2.1.1 Manutenção Corretiva

Bloom (2006) define manutenção corretiva como: todo trabalho executado em uma máquina ou equipamento em falha com objetivo de repará-la. Filho (2008) classifica a manutenção corretiva em: corretiva planejada, onde o reparo é realizado em data posterior a falha, e corretiva não planejada ou de emergência, onde a reparo ocorre imediatamente após a falha.

### 2.1.2 Manutenção Preventiva

Na manutenção preventiva todas as ações de manutenção são executadas enquanto o sistema apresenta condições operacionais, ainda que com algum defeito, podendo ser realizadas em intervalos de tempo predeterminados, em função da vida útil e do ciclo de operação ou em função de critérios operacionais (FILHO, 2008).

Mobley *et al.* (2008) enfocam a manutenção preventiva como um programa de manutenção, composto de técnicas preditivas, ações baseadas no tempo e manutenção corretiva fornecendo um suporte abrangente para todo o processo fabril.

### 2.1.3 Manutenção Preditiva

Marçal (2000) e Filho (2008) definem manutenção preditiva como o acompanhamento ou monitoramento das condições de um sistema, parâmetros operacionais e sua eventual degradação, sendo realizada através de medições ou inspeções que não interfiram na operação do sistema.

Cabe salientar, que a escolha do método de manutenção será baseada em critérios técnicos e econômicos para cada equipamento ou sistema, optando-se por um método isolado ou uma mescla dos três. Um programa de manutenção eficaz consiste de combinação apropriada, a partir de vantagens e desvantagens dos diferentes métodos de manutenção existentes (PAPIC et al., 2009).

### 3. Manutenção Centrada em Confiabilidade

A Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), do inglês *Reliability Centered Maintenance* (RCM), é uma abordagem criada no final dos anos 60, oriunda da indústria aeronáutica, visando direcionar os esforços da manutenção, para componentes e sistemas onde a confiabilidade é fundamental. Seu foco é garantia do desempenho, a segurança e preservação do ambiente a um melhor custo-benefício (MOUBRAY, 1997; WANG e HWANG, 2004).

Garza (2002) afirma que a MCC determina a estratégia eficaz de manutenção visando evitar ou reduzir as consequências e efeitos significantes de uma falha, priorizando as necessidades do processo de produção e não do componente ou equipamento de maneira isolada.

#### 3.1 Processo de Implantação

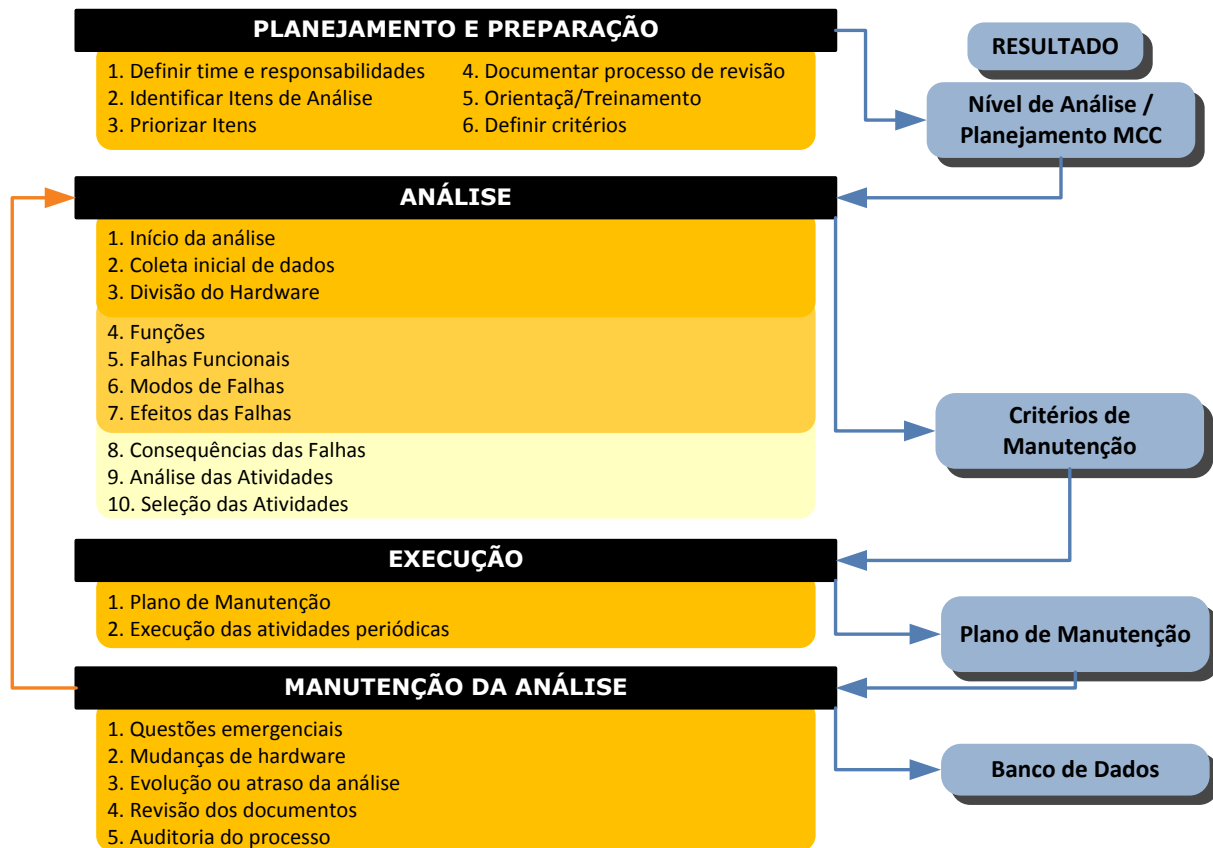
A metodologia MCC responde, com base no sistema ou processo em análise, sete questões de forma sequencial, utilizando uma sequência estruturada de etapas, com ferramentas de modelagem e análise de sistemas, as quais documentam os critérios e dados utilizados na resolução de cada questão (MOUBRAY, 1997).

As etapas do processo de implantação da MCC 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.

Os processos de análise e possíveis relacionamentos presentes em cada etapa da implantação são ilustrados na figura 1:

Figura 1 - Diagrama de Implantação da MCC



Fonte: Leverette, J. C. (2006, p. 24)

### 3.2 Funções do Sistema

Esta etapa determina todas as funções do sistema e subsistemas em análise, dentro de um contexto operacional e o padrão de desempenho para cada função. As ações presentes nesta etapa são (MOUBRAY, 1997):

- Definição do nível de análise: estabelece-se a profundidade da análise no sistema (sistema, subsistemas, componentes, etc.), definindo os critérios serão utilizados para a sua seleção;
- Seleção dos sistemas: seleção dos sistemas prioritários conforme seu impacto sobre segurança, ambiente, operação e custo;
- Coleta de informações: criação da base de dados a ser utilizada nas análises, complementada conforme evolução do processo de implantação;

- Identificação dos sistemas: define os limites do sistema, descrevendo-os, identificando suas entradas e saídas, contexto operacional, sendo documentado para análise das funções;
- Identificar funções do sistema: identificação das ações que o sistema ou subsistema deve realizar, descrevendo sua capacidade de desempenho, limites operacionais, identificando-as para todos os modos de operação do equipamento (MOBLEY et. al., 2008).

### 3.3 Análise de Falhas

Segundo Moubrey (1997) falha é “a interrupção ou alteração na capacidade de um item desempenhar sua função requerida”. Identificada às funções do sistema, esta etapa determina como esta função pode falhar, classificando as falhas do sistema, conforme seu mecanismo, modos de falhas, resultando nas causas de cada falha no sistema.

Para Smith e Hinchcliffe (2004) os pontos fundamentais desta etapa são: (i) A análise deverá focar na perda da função e não na perda do equipamento; (ii) falhas são mais do que apenas uma declaração única e simples de perda de uma função, pois a maioria das funções apresentam duas ou mais condições de perda, onde nem todas são igualmente importantes.

### 3.4 Documentação das Falhas

Bloom (2006) cita as seguintes ferramentas para documentação e a análise das falhas na metodologia MCC: (i) Análise dos Modos de Falha e Efeitos (FMEA - *Failure Mode and Effects Analysis*); e (ii) Análise Crítica dos Modos de Falha e Efeitos (FMECA - *Failure Mode Effects & Criticality Analysis*).

Mobley *et al.* (2008) definem FMEA como uma sequência de passos lógicos, iniciada com a análise de elementos de menor nível (subsistemas ou componentes), identificando os modos, potenciais e mecanismos de falha, observando o efeito dessa falha nos vários níveis do sistema.

O FMEA é uma das técnicas mais eficientes para prevenção de problemas e identificação das soluções mais eficazes em termos de custos, a fim de prevenir esses problemas. Também oferece uma abordagem estruturada para avaliação, condução e atualização do

desenvolvimento de projetos e processos, considerando diversas áreas da organização (ESTORILIO et. al.; 2011; CAVALCANTI et. al; 2011).

O FMECA é composto de duas análises distintas, o FMEA e uma Análise de Criticidade (CA). O FMEA trabalha nos modos de falha e efeitos enquanto a CA prioriza o nível de importância com base na taxa e na gravidade do efeito da falha (TM 5-698-4, 2006).

### 3.5 Efeito das Falhas

O objetivo desta etapa é guiar a análise das consequências das falhas, assegurando a relação do modo de falha analisado, com a falha funcional do sistema, eliminando os modos de falhas que não impactam no sistema de forma significativa (SMITH e HINCHCLIFFE, 2004).

Para avaliação da criticidade é utilizado o número de risco (RPN), do inglês *Risk Priority Number*. Jian-ming et al. (2011) observam que o RPN é uma metodologia de análise dos riscos associados as falhas potenciais, com foco na priorização das ações de manutenção. A avaliação do RPN pode ser realizada através da equação 1, onde (S) expressa à gravidade do modo de falha, (F) a sua frequência e (D) seu nível de detecção.

Equação 1

$$RPN = S \times F \times D$$

### 3.6 Análise e Decisão

Selecionam-se as atividades de manutenção baseadas em sua aplicabilidade e eficácia, através da sua capacidade de reduzir, eliminar, prevenir ou detectar uma falha, aliada a viabilidade econômica e técnica da atividade em questão. Para seleção das atividades Moubray (1997) destaca:

- Avaliação das consequências das falhas, com base no seu impacto sobre: segurança; meio ambiente; operação; e custos;
- Priorização das funções significantes utilizando como critérios: (i) evidência da falha durante operação do sistema; (ii) segurança operacional e meio ambiente; (iii) critérios operacionais; e (iv) aspectos econômicos.

### 3.6.1 Lógica de Decisão

Após priorização das funções, a MCC adota como ferramenta um fluxo de decisão para determinar a necessidade e periodicidade das atividades preventivas, e outras tarefas de manutenção. Leverette (2006) destaca três níveis para este processo: (i) avaliação da falha de acordo com a visibilidade dos seus efeitos; (ii) avaliação das consequências das falhas; e (iii) avaliação da causa da falha para seleção de tarefas de manutenção aplicáveis e efetiva.

### 3.6.2 Seleção das atividades de manutenção

Determinação dos critérios de natureza técnica e prática para determinar as ações e políticas de manutenção a serem utilizados. Conforme Bloom (2006) a decisão por uma atividade de manutenção deve ser baseada em sua aplicabilidade e efetividade.

Moubray (1997) sugere a seguinte ordem de prioridade na seleção entre as atividades de manutenção: (i) inspeção preditiva; (ii) restauração preventiva; (iii) substituição preventiva; (iv) detecção da falha; e (v) atividades *default*.

## 3.7 Processo de Atualização e Revisão

Todo o processo de análise MCC, deverá ser auditado por uma equipe, com objetivo de informar possíveis atualizações e correções para otimização da metodologia.

Kobbacy e Murthy (2008) afirmam que a atualização do MCC deve ser realizada em três etapas: (i) atualizações de curto prazo, com a revisão dos resultados de análises anteriores e da documentação do MCC; (ii) atualizações de médio prazo com a validação das atividades de manutenção atuais e as selecionadas na análise; (iii) atualizações de longo prazo, com a revisão de toda análise, observando além do sistema analisado, toda a planta e suas relações exteriores.



## 4. Modelo proposto de implantação

Considerando as questões e objetivos da abordagem da MCC, um programa de implantação da MCC é proposto nesse estudo, baseado nas seguintes etapas:

- Seleção do sistema e coleta de informações;
- Identificação das Funções e Falhas do Sistema;
- Análise FMECA;
- Seleção das atividades de manutenção;
- Plano de Manutenção;
- Melhoria contínua.

### 4.1 Estudo de Caso

O modelo de implantação proposto é aplicado no Subsistema de Controle de Tensão de um Desbobinador de Alumínio, de uma indústria de embalagens cartonadas. Esse sistema é parte do Processo de Laminação da indústria, responsável pela formação da embalagem cartonada, sendo considerada a linha mais crítica da fábrica.

A aplicação do modelo MCC visa à redução no número de pequenas paradas ocasionadas no Controle de Tensão. No processo, o Desbobinador de Alumínio é responsável por 17% das quebras de máquina no processo de Laminação, onde 41% desse percentual são resultantes de falhas relacionadas ao Subsistema de Controle de Tensão.

#### 4.1.1 Seleção do Sistema e Coleta de Informações

A primeira etapa se inicia com a formação de uma equipe responsável pela análise, implantação e execução da MCC, formada na sua maioria por técnicos de manutenção, com apoio de profissionais da área de segurança.

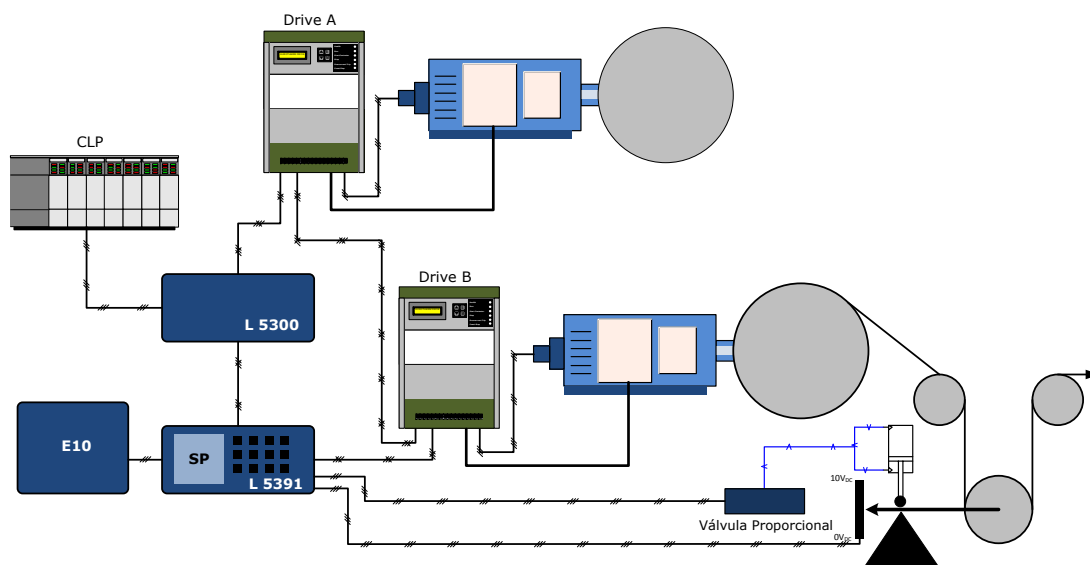
A equipe define uma análise ao nível componente do Sistema de Controle de Tensão e sistemas que interagem com ele, considerando como parâmetros críticos: segurança

operacional, impactos operacionais e econômicos. Outra função desta etapa é o estudo sobre o sistema em questão, com coleta de dados de manutenção, operação e projeto, parâmetros operacionais e sobre possíveis atualizações do sistema.

#### 4.1.2 Identificação das funções do sistema

Através da planilha da MCC e documentos de projeto, são identificados os limites do sistema, com suas entradas, saídas, descrição de funções, dispositivos de proteção e redundância e detalhes técnicos, resultando na criação dos diagramas funcionais do sistema, conforme apresentado na figura 02.

Figura 2 - Diagrama Funcional do Controle de Tensão



Fonte: Autor (2012)

#### 4.1.3 Seleção dos Componentes Críticos

Nesta etapa, os componentes são classificados conforme sua criticidade dentro do sistema, conforme o impacto de suas falhas nos critérios apresentados na tabela 1. Utilizando Pareto aliado a Regra “80/20” identificou-se 09 componentes críticos, de um total de 30 que compõem o sistema.

Tabela 1 – Parâmetros de Criticidade

| Efeito                      | 5                      | 3                               | 1                     |
|-----------------------------|------------------------|---------------------------------|-----------------------|
|                             | Alto                   | Médio                           | Baixo                 |
| <b>Segurança</b>            | Lesão com afastamento  | Lesão sem afastamento           | Sem risco             |
| <b>(Tempo sem produzir)</b> | Maior que 2h           | Entre 2h e 1h                   | Menor que 1h          |
| <b>Qualidade</b>            | Há impacto externo     | Há impacto interno              | Sem impacto           |
| <b>Meio-ambiente</b>        | Contaminação externa   | Contaminação interna            | Sem contaminação      |
| <b>MTTR</b>                 | Maior que 2h           | Entre 2h e 1h                   | Menor que 1h          |
| <b>MTBF</b>                 | Mais que 6 quebras ano | Entre 2 e 6 quebras ano         | Até 2 quebras anos    |
| <b>Custo reparo</b>         | Maior que R\$5.000,00  | Entre R\$1.000,00 e R\$5.000,00 | Menor que R\$1.000,00 |

Fonte: Autor

(2012)

#### 4.1.4 Análise FMECA

Em razão da função principal do sistema, são identificadas duas falhas funcionais: (i) falha no controle de tensão da folha de alumínio; e (ii) falha de sincronismo de velocidade. Utilizando a análise FMECA identificam-se também 6 modos de falhas para as falhas funcionais, resultando em 73 modos de falhas dos componentes do sistema. Em virtude de, no estudo, serem analisados somente os componentes críticos, optou-se por conduzir todos os modos de falha encontrados à etapa decisional para seleção das atividades.

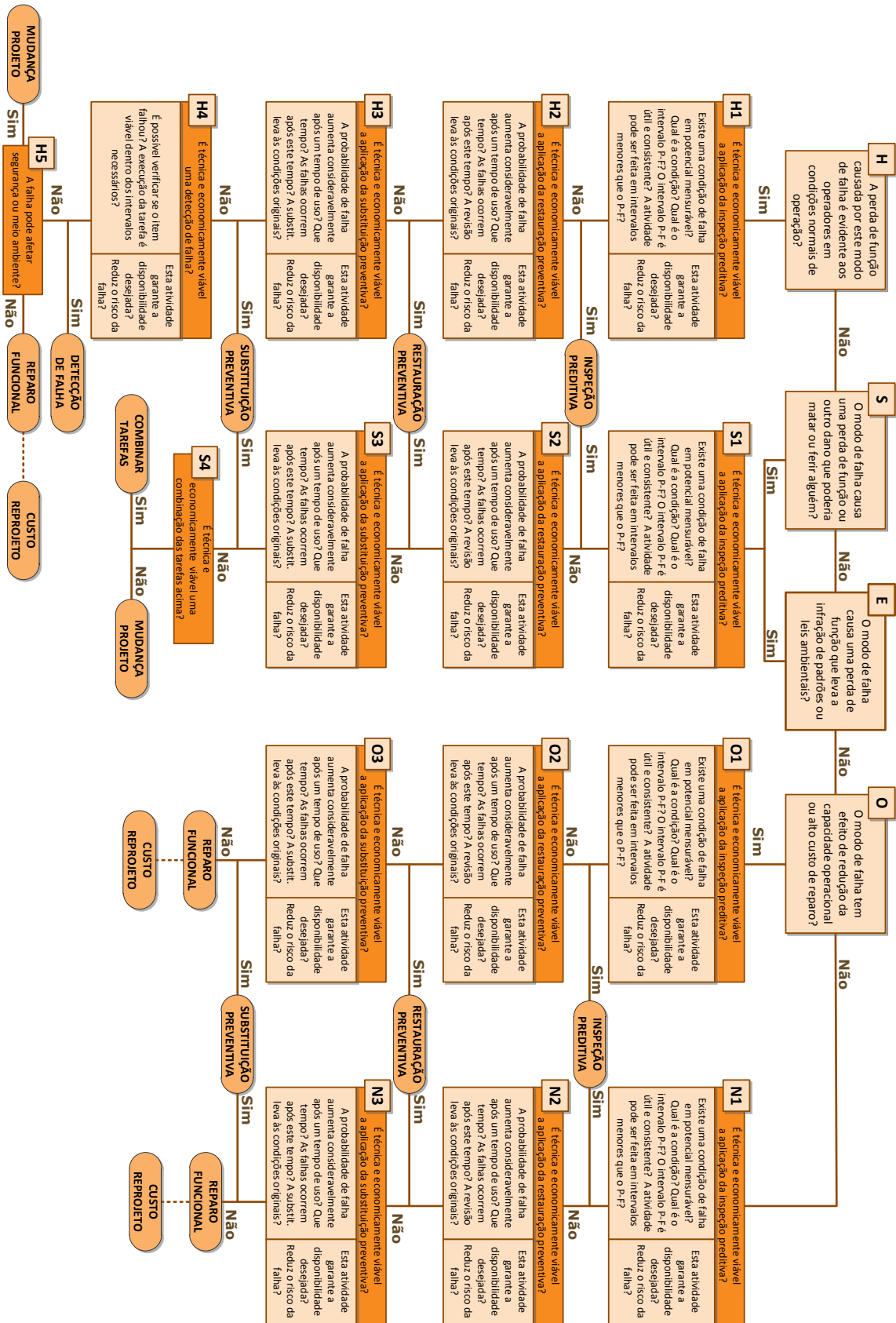
#### 4.1.5 Seleção das atividades de manutenção

Para definir as ações de manutenção este estudo se utilizou do diagrama decisional (figura 03) e os critérios de aplicabilidade e efetividade de cada tarefa. Em um primeiro momento, a análise é realizada no formulário de esquema decisional, onde os modos de falha selecionados são classificados quanto a sua visibilidade e natureza do seu impacto.

Concluído o esquema decisional, na próxima etapa ocorre a avaliação do RPN de cada modo de falha, selecionando a tarefa de manutenção adequada a ele, através do diagrama decisional,

onde a seleção da atividade de manutenção é realizada seguindo a prioridade de inspeção preditiva, reparo preventivo e substituição preventiva. Se nenhuma das atividades anteriores for aplicável, para falhas com impactos econômicos e ambientais deve-se priorizar uma ação de reparo funcional e realizar uma avaliação econômica para mudança no projeto.

Figura 3 – Diagrama Decisional



Fonte: Adaptado pelo autor de Moubray (1997, p. 184)

Com as atividades definidas, documentadas no diagrama decisional, estas são anexadas com as informações dos modos de falha, e também inseridas no plano de manutenção do sistema de planejamento, incorporando-se com a rotina de manutenção do mesmo.

Ao final da análise o estudo identificou setenta e seis atividades de manutenção, com cinquenta e cinco aprovadas pela equipe de análise como viáveis, sendo distribuídas conforme tabela 2.

Tabela 2 – Atividades selecionadas pela análise

| Técnica de Manutenção             | Numero Atividades | %              |
|-----------------------------------|-------------------|----------------|
| Detectiva                         | 7                 | 12,73%         |
| Inspeção Preditiva                | 23                | 41,82%         |
| Substituição Preventiva           | 6                 | 10,91%         |
| Mudança Projeto                   | 19                | 34,55%         |
| <b>Total (Atividades Viáveis)</b> | <b>55</b>         | <b>100,00%</b> |

Fonte: Autor (2012)

#### 4.1.6 Processo de Atualização e Melhoria Contínua da Análise

Durante o processo de análise e após a sua conclusão são realizadas auditorias com objetivo de avaliar os resultados obtidos e corrigir possíveis discrepâncias e falhas da equipe de análise.

Concluída a análise, torna-se necessário ainda verificar a efetividade das tarefas de manutenção com uma comparação com o plano de manutenção do sistema, evitando possíveis redundâncias, além disso, a realização de treinamento para os técnicos de manutenção e operação que não participam inicialmente da análise, com o objetivo de informar sobre as ações necessárias e atividades resultantes.

Todo o processo de Laminação, mais especificamente o Desbobinador de Alumínio e o Controle de Tensão, é monitorado a fim de comprovar o resultado da análise e monitorar se o número de ocorrências de falhas ligadas a problemas de tensionamento está dentro do esperado.

Com base nos resultados do monitoramento dos modos de falhas e da avaliação das tarefas de manutenção, são realizadas atualizações na análise MCC, principalmente relacionados a periodicidades das tarefas.

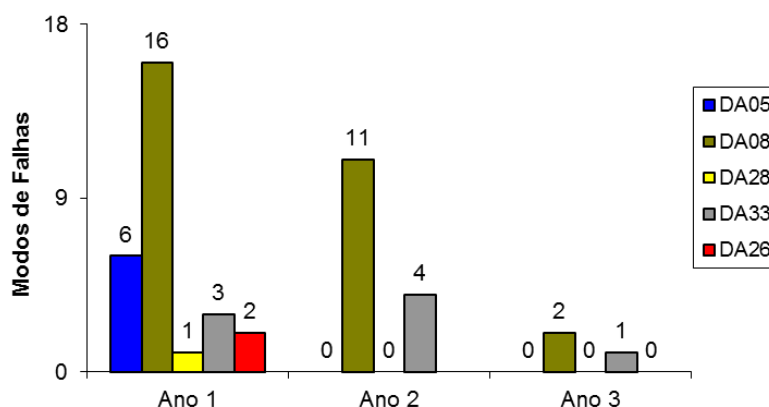
### 5. Considerações Finais

O resultado da implantação da MCC na redução das falhas pode ser avaliado com base no gráfico da figura 4. No ano da implantação (ano 1) o Desbobinador de Alumínio apresentava um média mensal de 28 falhas relacionadas ao controle de tensão, divididas em quatro modos de falhas distintos.

Concluída a análise e a execução das atividades de manutenção (ano 2), houve uma redução de 47% na incidência mensal das falhas de tensionamento, chegando a um número de 15 falhas/mês. Além disso, não houve registro da ocorrência de dois modos de falhas nesse período.

Após a execução, avaliação e análise dos resultados das atividades de manutenção são realizadas as atualizações do plano de manutenção, referente à etapa de melhoria contínua. Nesse último estágio (ano 3) a redução dos modos de falhas foi de 80% e não houveram registros dos dois modos de falhas eliminados no período anterior.

Figura 4 – Média mensal de falhas relacionadas ao tensionamento



Fonte: Autor (2012)

Com base nos resultados apresentados, a implantação da MCC mostrou-se uma ferramenta eficaz na redução de modos de falhas específicos de um sistema e na manutenção desse resultado.

A MCC normalmente é uma ferramenta específica em suas aplicações, porém mostra-se eficiente quando adaptada para utilização nos mais diversos campos de aplicação.

Vale ressaltar a necessidade de análise e avaliação da técnica em relação ao problema encontrado. Simplesmente a utilização de um método ou técnica por si só, não garante a eficiência na resolução de problemas correlatos na gestão da manutenção.

A adaptação e contextualização de um método dentro de um processo de gestão de ativos gera resultados em sua maioria satisfatórios no que tange à gerenciar falhas e problemas intrínsecos na manutenção.



## REFERÊNCIAS

BLOOM, N. **Reliability Centered Maintenance (RCM): implementation made simple**. 1<sup>a</sup>. ed. New York: McGraw-Hill Professional, 2006.

CAVALCANTI, Marianne A.; QUEIROZ, Valéria T. M.; BESERRA, Rodrigo A.; SILVA, Arthur B. & OLIVEIRA, Fabiola N. **Aplicação do FMEA de projetos ao gerenciamento de riscos de um projeto no setor de construção naval**. XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Belo Horizonte, MG, Brasil, 04 a 07 de outubro de 2011.

DHILLON, B. S. **Maintainability, maintenance and reliability for Engineers**. 1<sup>a</sup>. ed. New York: CRC Press, 2006.

DOHI, T. et al. **Optimizing the repair-time limit replacement schedule with discounting and imperfect repair**. Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 7, n. 1, p. 71-84, jan-abr 2001.

ESTORILIO, Carla C. A.; SOUZA, Vitor M.; MAZO, Sara Z. & BALAU, Adriano P. **Melhoria do projeto de um aplicador de cola com apoio dos métodos AV, DFMA e FMEA**. XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Belo Horizonte, MG, Brasil, 04 a 07 de outubro de 2011.

FILHO, G. B. **A Organização, o Planejamento e o Controle da Manutenção**. 1<sup>a</sup>. ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.

GARZA, L. **A Case Study of the Application of Reliability Centered Maintenance (RCM) in the Acquisition of the Advanced Amphibious Assault Vehicle (AAAV)**. 2002. 85 f. Thesys (Master) – Naval Postgraduate School, United States Navy. California, 2002.

HEADQUARTERS. **Failure Modes, Effects and Criticality Analyses (FMECA) for Command, Control, Communications, Computer, Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance (C4ISR) Facilities**. Technical Manual (TM 5-698-4). Department of the Army. Washington, DC, 2006.

JIAN-MING, C.; 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.

KARDEC, A.; NASFIC, J. **Manutenção: função estratégica**. 3<sup>a</sup>. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

KOBBACY, A. H.; MURTHY, P. **Complex System Maintenance Handbook**. 1<sup>a</sup>. ed. Manchester: Springer, 2008.

LEVERETTE, J. C. **An Introduction to the US Naval Air System Command RCM Process and Integrated Reliability Centered Maintenance Software**. In: RCM 2006 - The Reliability Centred Maintenance Managers' Forum. 2006. Anais...: p. 22-29.

MARÇAL, R. F. M. **Um método para detectar falhas incipientes em Máquinas Rotativas baseado em Análise de Vibrações e Lógica Fuzzy**. 2000. 124 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, de Minas e dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.

MOBLEY, K.; HIGGINS, L. R.; WIKOFF, **Maintenance Engineering Handbook**. 7<sup>a</sup>. ed. New York: McGraw-Hill, 2008.

MOUBRAY, J. **Reliability-centered maintenance: second edition**. 2<sup>a</sup>. ed. New York: Industrial Press Inc., 1997.

PAPIC, L.; ARONOV, J. & PANTELIC, M. **Safety Based Maintenance Concept**. International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, New Jersey (USA), v. 16, n. 6, p. 533–549, dez. 2009.

SIQUEIRA, Y. P. D. S. **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implantação**. 1<sup>a</sup> (Reimpressão). ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

SMITH, A. M.; HINCHCLIFFE, G. R. **RCM: gateway to world class maintenance**. 2<sup>a</sup>. ed. Burlington: Elsevier Butterworth–Heinemann, v. 1, 2004.

TSANG, A. H. C. **Strategic dimensions of maintenance management**. Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 8 n. 1, p.7-39, jan-abr 2002.

WANG, C. & HWANG, S. **A stochastic maintenance management model with recovery factor**. Journal of Quality in Maintenance Engineering,