

# UMA NOVA FERRAMENTA PARA GESTÃO DE MANUTENÇÃO DE INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS<sup>1</sup>

Daniel Enrique Castro<sup>2</sup>  
Marlon Antônio Pinheiro<sup>3</sup>

## Resumo

O desenvolvimento empresarial dos últimos anos tem propiciado um avanço significativo em termos de qualidade e produtividade na maioria dos setores industriais. A manutenção também tem apresentado grandes mudanças no que se refere aos aspectos técnico e estratégico. Apesar destes avanços, a manutenção ainda não assimilou aspectos importantes, tais como o controle de processo e parâmetros de risco de negócio, que são muito utilizados nos setores de produção. O principal foco da manutenção continua sendo o atendimento às falhas, o que impossibilita melhorias qualitativas significativas nos serviços de manutenção. Este trabalho aborda a evolução da manutenção e propõe uma metodologia de gestão do processo de manutenção, com base em parâmetros estatísticos (confiabilidade) e fatores de risco de falha.

**Palavras-chave:** Gestão; Manutenção; Confiabilidade; Risco.

## A NEW TOOL OF MANAGEMENT OF MAINTENANCE FOR INSTALLATIONS AND INDUSTRIAL SYSTEMS

## Abstract

The enterprise development observed in the last years has propitiated significant advances in quality and productivity for the majority of the industrial sectors. Maintenance also has presented significant advances in technical and strategic aspects. Despite these advances, maintenance still did not assimilate important aspects, like control of process and parameters of business risk, that are very used in production sectors. The main focus of maintenance is still the attendance to failures, without considering qualitative improvements in the maintenance service process. This work approaches the evolution of maintenance strategies considering statistical aspects (reliability) and risk oriented analysis to administrate maintenance activities.

**Key words:** Management; Maintenance; Reliability; Risk.

<sup>1</sup> Contribuição técnica apresentada na 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ

<sup>2</sup> Professor do curso de Mestrado e de Engenharia Industrial Mecânica – CEFET-MG, Coordenador Curso de Pós-graduação em Engenharia de Manutenção (ABRAMAN-IEC/PUC-MG)

<sup>3</sup> Professor do curso de Engenharia Industrial Mecânica da Universidade de Itaúna-MG e SENAI-MG, Vice-Coordenador Curso de Pós-graduação em Engenharia de Manutenção (ABRAMAN-IEC/PUC-MG)

## **1 INTRODUÇÃO**

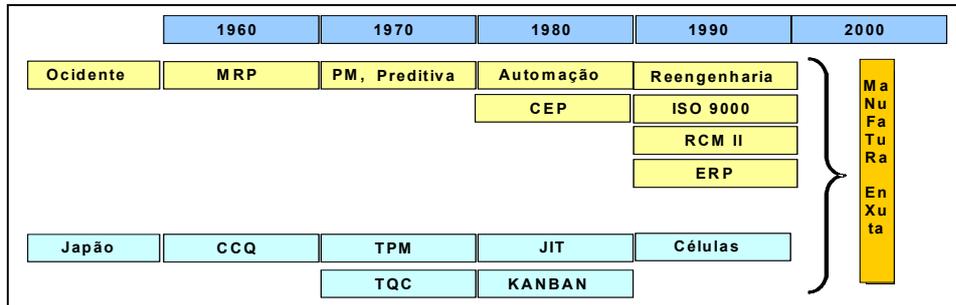
A manutenção é uma função estratégica e imprescindível para a sobrevivência das empresas. Apesar dos avanços obtidos até o momento, em termos de tecnologias de monitoramento, diagnóstico e implementação de tecnologias da informação, o significado efetivo da manutenção no contexto econômico global das organizações não é muito bem compreendido. O aumento extraordinário, observado nas últimas décadas, em termos de produtividade nos sistemas de produção, foi consequência da adoção de técnicas de gestão, orientadas para a redução de perdas e para o aumento de produtividade dos sistemas de produção. Assim, a evolução da Qualidade Total no Japão, no início da década de 70, e o seu desdobramento mundial através da adoção das normas ISO 9000 marcaram o início do controle de processo nos sistemas de produção. Todas estas mudanças, no entanto, ainda não foram transferidas para a gestão dos processos de manutenção. O conceito de inspeção "fim de linha", que identifica a inspeção realizada no final de uma linha de produção, foi substituído pelo controle de processo nos setores de produção. Com o controle de processo, a tendência de desvio de um processo é avaliada estatisticamente e são tomadas medidas proativas, antes que o desvio atinja limites indesejados nas características qualitativas do produto. Nos processos de manutenção, a adoção de técnicas estatísticas é ainda muito restrita. Apesar do avanço nas técnicas computacionais e nos sistemas de informação, os softwares de manutenção se limitam a cadastrar atividades, a emitir ordens de serviço, de forma automática, e a coletar os registros de ocorrências. Geralmente, poucas organizações tiram proveito destas ferramentas e dos dados (registros de ocorrência). Em geral, os históricos de manutenção são incompletos e são quase esquecidos, sendo utilizados somente quando é necessário fazer uma análise de falha e, nestes casos, verifica-se que os dados cadastrados são geralmente pouco confiáveis. Esta situação crítica gera perdas significativas com relação ao desperdício de recursos humanos e de materiais, além das perdas indiretas originadas nos sistemas de produção (perda funcional e paradas dos sistemas).

Neste trabalho, será abordada a gestão do processo de manutenção, considerando variáveis estratégicas como Confiabilidade de Sistemas e Risco de Falha. A gestão com base nestas variáveis permite gerenciar o processo de falha, identificando pequenos desvios da sua condição operacional normal. Este tipo de Gestão permite o Controle Global do Processo de manutenção, identificando as necessidades de ações preventivas, preditivas e planos de inspeção. Será mostrado um exemplo da aplicação no setor de manutenção veicular.

## **2 EVOLUÇÃO DOS MODELOS DE GESTÃO EMPRESARIAL**

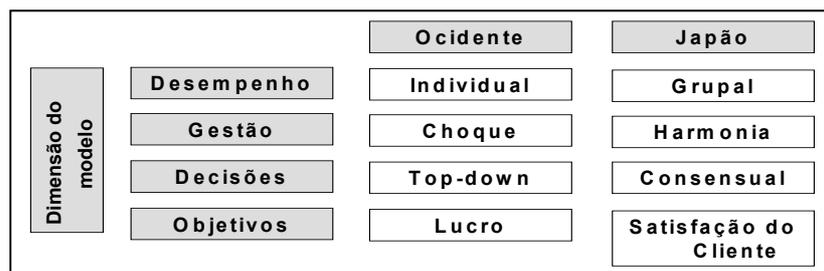
Um fato inquestionável é a necessidade que todas as organizações têm de obter resultados cada vez mais significativos. Para atingir estes objetivos, foram desenvolvidos e aplicados diferentes modelos de gestão dos recursos humanos e materiais. Pode-se observar, que este processo teve início na década de 60, quando o Japão começou a entrar no mercado internacional como um concorrente de peso em produtos manufaturados de alto valor agregado. A partir deste momento, foi iniciado um processo contínuo de aperfeiçoamento nos sistemas de administração das empresas.

A figura a seguir mostra um resumo da evolução dos modelos de gestão.



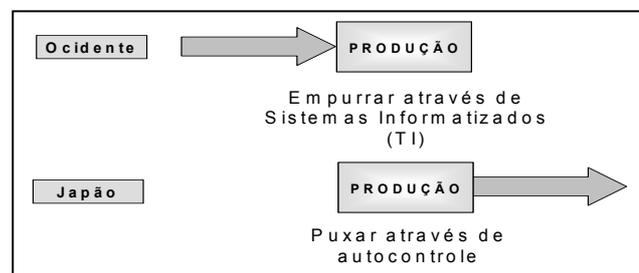
**Figura 1.** Evolução dos modelos de gestão empresarial nos últimos 40 anos.

Os modelos desenvolvidos no Japão focalizam o aumento contínuo de produtividade e qualidade, através de uma participação de todas as pessoas da organização para atender às necessidades dos seus clientes. O ocidente segue modelos mais deterministas, baseados em resultados de médio e curto prazo, utilizando tecnologias de informação (TI) cada vez mais sofisticadas. A implementação de TI's tem permitido uma visualização e transparência maior na gestão empresarial, facilitando a tomada de decisões. A Figura 2 compara aspectos dos modelos Japonês e Ocidental.



**Figura 2.** Características das principais dimensões nos modelos japonês e ocidental.

Esta tendência pode ser sintetizada da seguinte forma: o Japão “puxa” a produção através do “autocontrole” de todas as pessoas da organização e o ocidente “empurra” a produção, utilizando tecnologias de informação, que permitem observar em “tempo real” os resultados obtidos em cada fase e aumentar a transparência da gestão.



**Figura 3.** Comparação entre os modelos de gestão japonês e ocidental

A combinação destes dois modelos de gestão deu origem à denominada Manufatura Enxuta (Lean Management), conhecida também como Sistema Toyota de Produção.<sup>(1)</sup> Este novo modelo combina a agilidade do modelo ocidental com a flexibilidade do modelo Japonês. O foco deste modelo é monitorar, de forma contínua, o valor agregado em cada etapa do processo de produção, identificando todas as fontes de perda, possibilitando atender, de forma cada vez mais eficiente, as condições de mercados globais, que são cada vez mais exigentes. Na Figura 4 são mostradas, de forma sintética, as linhas de trabalho no modelo de gestão de Manufatura Enxuta.

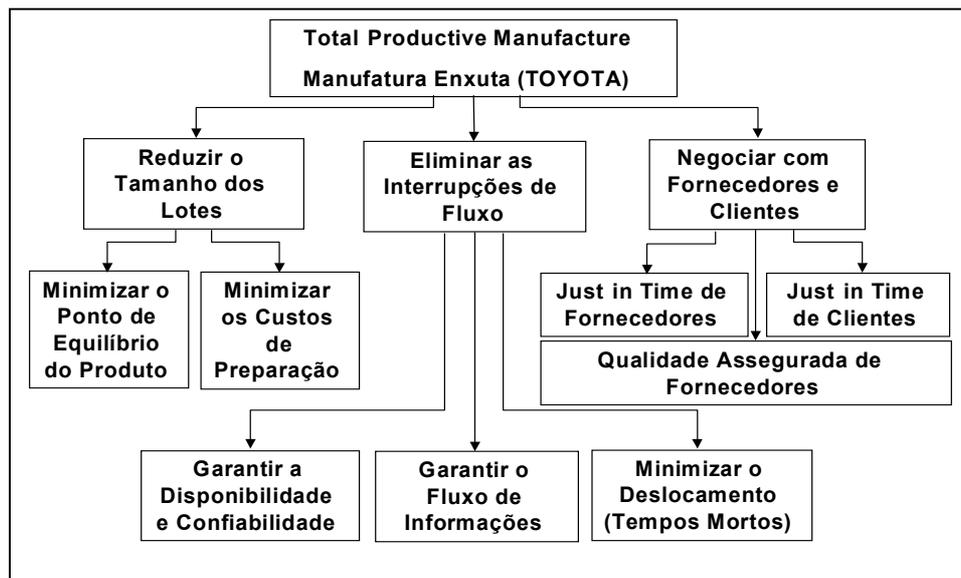


Figura 4. Principais elementos do modelo de Gestão de Manufatura Enxuta

### 3 EVOLUÇÃO DA GESTÃO DE MANUTENÇÃO

No setor de manutenção também foram observadas mudanças significativas nos últimos anos. Em termos gerais, pode-se mencionar que a evolução da manutenção aconteceu em dois planos diferentes: um deles, ligado às tecnologias utilizadas para consertar equipamentos e o outro, mais recente, direcionado para o desenvolvimento de modelos de gestão, adequados para gerenciar os recursos de manutenção. No plano tecnológico, a evolução partiu de técnicas corretivas (Breakdown Maintenance), onde o conserto acontece após a quebra, originando grandes perdas de produção por causa de paradas imprevistas nos equipamentos. Após a segunda guerra mundial, com o avanço dos sistemas de produção em série, foi necessário reduzir o impacto das paradas imprevistas. Com isto, teve início a utilização da denominada manutenção preventiva ou manutenção baseada no tempo, já que neste tipo de manutenção as ações (trocas, inspeções, lubrificações, etc.) tem caráter periódico no tempo. Este tipo de manutenção permitiu reduzir o impacto das paradas imprevistas, mas aumentou o custo direto de manutenção, devido à alta demanda de mão de obra e o consumo de peças sobressalentes. No final da década de 70, com o desenvolvimento de microprocessadores cada vez mais poderosos, foi possível desenvolver instrumentos,

que permitissem medir parâmetros físicos nos equipamentos, que indicassem a evolução de uma falha. Assim, teve início a implementação de técnicas de manutenção, baseadas na condição do componente, também chamadas de técnicas preditivas. Atualmente, diversas técnicas preditivas são freqüentemente utilizadas em ambientes de manutenção, tais como, análise de vibrações, termografia, emissão acústica, análise de óleo, etc. Mas foi no início da década de 70 que o Japão mostrou ao mundo que manutenção não significa somente consertar e sim pensar porque as máquinas quebram de forma imprevista. Foi nesta época que surgiu a filosofia Total Productive Maintenance (TPM) ou Manutenção Produtiva Total.<sup>(2,3)</sup> TPM marcou uma mudança na forma de direcionar o processo de manutenção. Até esta época, a operação somente se ocupava com a produção, deixando a responsabilidade do conserto às equipes de manutenção. Esta separação foi considerada pelo Japão como a principal causa do ambiente de falhas corretivas observadas nas empresas. Se o operador não respeita as condições mínimas de operação e não se preocupa em conservar sua máquina, não existe força de manutenção suficiente para eliminar as falhas corretivas, decorrentes desta forma “despreocupada” de atingir metas produtivas. Com a Manutenção Produtiva Total, foi lançada, no universo da manutenção, uma primeira estratégia, que exige a participação de operadores e mantenedores, com o objetivo de aumentar a eficiência global do equipamento (OEE – Overall Equipment Efficiency). Assim, o Japão marcou novamente a sua presença também na gestão de manutenção. Infelizmente, o ocidente não soube assimilar adequadamente esta tecnologia e, apesar de considerá-la apropriada, não obteve muito sucesso na sua implementação prática, especialmente devido à exigência de mudanças comportamentais muito drásticas. Desta forma, chegou-se ao final da década de 80, com um desenvolvimento tecnológico significativo no ocidente em termos de ferramentas de manutenção. Entretanto, apesar desta evolução, as perdas por paradas imprevistas nos sistemas de produção continuavam a ser muito significativas. Os índices de manutenção corretiva superavam 60% e todo o esforço para reduzir estes índices parecia não dar muito resultado. Com isso, no início da década de 90, o ocidente começou a preocupar-se seriamente com o tema Gestão de Manutenção. Em 1992, Moubray<sup>(4)</sup> publicou seu livro RCM II – Reliability Centered Maintenance, que marcou significativamente o universo da manutenção no ocidente. Neste livro Moubray muda o foco da manutenção, ressaltando que a finalidade da manutenção é:

***“garantir que os equipamentos continuem fazendo o que seus usuários (operadores) precisam que façam”***<sup>(4)</sup>

Desta forma, foi introduzida a necessidade de se definir primeiro a função do sistema por parte dos operadores e, somente depois desta definição, é que seria possível desenhar uma estratégia adequada de manutenção. Esta linha de pensamento mudou a finalidade da manutenção, pois ao invés de manter os equipamentos, as funções dos equipamentos é que deveriam ser mantidas. Dentro desta filosofia, é possível combinar as técnicas preventivas, preditivas e corretivas para atender as necessidades funcionais da operação. Para facilitar esta definição, Moubray propõe no seu livro uma matriz de decisões de manutenção, que permite orientar o responsável de manutenção na seleção das ações mais adequadas para atender as necessidades funcionais dos operadores.

Em 1994, Campbell<sup>(5)</sup> estabeleceu um conceito mais amplo na Gestão de Manutenção. Ele definiu que, para atingir bons resultados em termos de manutenção, era necessário preencher uma série de requisitos. Estes requisitos devem responder a quatro níveis principais no processo de Gestão:

- 1- Liderança
- 2- Controle
- 3- Melhoramento Contínuo
- 4- Salto quantitativo

O modelo de Campbell combina elementos típicos do modelo de gestão japonês (TPM) com os ocidentais (RCM, Gestão de dados, etc.). De alguma maneira, esta idéia de Campbell é análoga à proposta da Manufatura Enxuta (Figura 4).

Pode-se concluir, que nos ambientes de manutenção, também é válida a combinação de técnicas para “puxar” e para “empurrar” o processo. A Manutenção Produtiva Total é uma técnica clara para “puxar” a manutenção: os operadores indicam de forma autônoma as falhas que os sistemas apresentam, já na sua fase inicial, e os mantenedores devem atender estas solicitações de forma rápida e efetiva, para evitar o avanço do processo de falha. O que não fica claro é de que forma a manutenção pode ser “empurrada”. Empurrar significa agilizar o processo de manutenção para atender de forma mais eficiente as necessidades funcionais dos operadores.

#### **4 COMO AGILIZAR O PROCESSO DE MANUTENÇÃO?**

Apesar do avanço observado nas técnicas de manutenção, especialmente no que se refere às técnicas de monitoramento da condição (preditiva) e do grande avanço em termos estratégicos com RCM, os resultados finais do processo de manutenção ainda deixam muito a desejar. A manutenção corretiva continua ocupando um espaço muito amplo no universo de manutenção (mais de 30%, de acordo com as estatísticas levantadas pela ABRAMAN - Associação Brasileira de Manutenção<sup>(6)</sup>). Em termos funcionais, as perdas são ainda maiores, já que apesar de as paradas imprevistas por motivos de manutenção (atualmente o índice médio de indisponibilidade por manutenção é de 5% de acordo com estatísticas da ABRAMAN,<sup>(6)</sup>) terem reduzido, existe baixa eficiência funcional nos equipamentos, especialmente devido às pequenas interrupções e velocidades reduzidas de operação. Estes fatores fazem com que as performances globais de produção não superem níveis de 50%. Isto significa, que as empresas estão perdendo a metade do seu tempo disponível de produção, o que coloca em risco a capacidade competitiva do parque industrial.

Porque o processo de manutenção ainda não foi equacionado? Apesar da RCM focalizar o objetivo da manutenção na eficiência funcional do sistema, no seu contexto, o principal objetivo da manutenção continua sendo o ataque à falha individual, que afeta a função do sistema (falha funcional). Este ponto de vista é inapropriado, já que as falhas de um sistema estão relacionadas entre si, originando processos de degradação,<sup>(7,8)</sup> que evoluem de forma contínua no sistema. Assim, as falhas vão se multiplicando de forma exponencial com o tempo, inviabilizando qualquer abordagem individual de falhas. Uma estratégia adequada de manutenção deve gerenciar o processo de degradação do sistema e não somente as suas falhas individuais. A maior

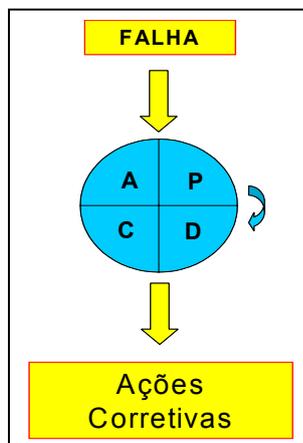
parte das falhas de um sistema é consequência de outras falhas (processos de degradação) e também de falhas acidentais, originadas em fatores humanos. Os principais obstáculos na gestão deste tipo de falhas são:

- 1- Dificuldade de identificar o relacionamento entre as falhas de um processo de falha
- 2- Dificuldade de determinar a causa raiz de um processo de falha
- 3- Dificuldade de avaliar o impacto real do processo de falha no sistema de produção
- 4- Incerteza na determinação da ação mais adequada para tratar uma falha raiz (causa do processo de falha)
- 5- Incerteza no desempenho futuro do sistema (após o conserto)

Para agilizar o processo de manutenção, é necessário resolver cada um dos pontos levantados anteriormente.

## 5 MUDANÇA NO MODELO DE GESTÃO

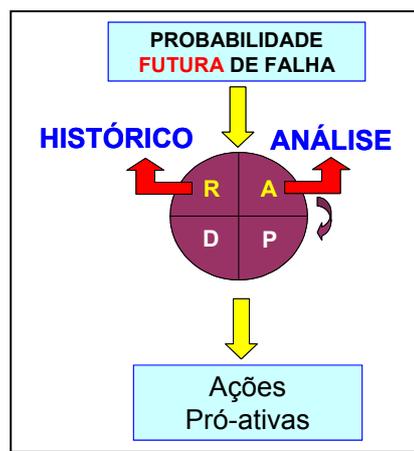
Como já foi observado por Campbell, um modelo de gestão de manutenção deve obrigatoriamente considerar o conceito de melhoria contínua. O modelo de melhoria contínua, utilizado universalmente pelas empresas, é o ciclo PDCA (Plan – Do – Check – Action). Este modelo aplicado à manutenção somente permite tomar ações corretivas, já que na sua essência, o PDCA deve ser implementado após o acontecimento da falha (situação indesejada).



**Figura 5.** Resultados obtidos com o ciclo PDCA nos ambientes de manutenção.

Um modelo deste tipo não é adequado, já que não permite garantir o desempenho futuro do sistema. Para mudar este conceito e garantir que as ações de manutenção sejam de caráter proativo, ou seja, permitam eliminar o acontecimento futuro da falha e bloquear efetivamente os seus possíveis efeitos, o modelo de melhoria contínua deve ser mudado. Para garantir ações proativas, o ciclo de melhoria contínua deve ser iniciado quando a probabilidade futura de falha atingir níveis críticos para o sistema. Desta forma, o parâmetro mais adequado para

iniciar o processo de melhoria contínua na manutenção é a Confiabilidade (probabilidade de sobrevivência futura do sistema). A confiabilidade é uma função probabilística, que permite calcular a probabilidade futura de uma falha acontecer no sistema, a partir dos dados históricos de falhas semelhantes no passado.<sup>(9,10)</sup> Assim, o ciclo PDCA deve ser mudado, o planejamento deve acontecer após a análise de confiabilidade do sistema, a qual é baseada em registros históricos. Desta maneira, pode-se definir o seguinte ciclo de melhoria contínua na manutenção: APDR (Analysis – Plan – Do – Register). O ciclo é fechado, já que a análise (A) é realizada a partir dos registros (R) históricos de falhas (ações corretivas).



**Figura 6.** Modificação do ciclo PDCA para o APDR.

Com este conceito, é possível tomar ações proativas, que garantam um determinado perfil de confiabilidade futura do sistema. Existe ainda uma incerteza no ciclo anterior, quando as falhas nunca aconteceram (falhas potenciais). Neste caso, a confiabilidade não é um parâmetro adequado para gerenciar as ações de manutenção. Por este motivo, é imprescindível considerar o Risco de Falha como um parâmetro adicional no contexto proativo da manutenção. O Risco de falha é um parâmetro, que mede a percepção do perigo atrelado ao acontecimento de uma falha.<sup>(11)</sup> O risco de falha pode ser quantificado através de três parâmetros: a periodicidade da falha, a sua gravidade e por último a capacidade de detecção da falha. Para a avaliação destes parâmetros, são definidos três índices de risco: IO (índice de Ocorrência), IG (índice de gravidade) e ID (índice de detecção). A determinação destes três índices é realizada através de escalas numéricas, que variam de 1 (menor valor do risco) até 10 (maior valor do risco). Estes conceitos são muito utilizados em técnicas de análise de falha, especialmente FMECA.<sup>(12,13)</sup> Assim, o ciclo de melhoria contínua deve ser iniciado com base no perfil de confiabilidade e risco de falha do sistema. Podemos chamar a este tipo de Gestão de Manutenção, como Manutenção baseada na Confiabilidade e no Risco (Reliability and Risk Management System) ou RRMS.

## 6 COMO FUNCIONA A GESTÃO DE MANUTENÇÃO COM BASE NA CONFIABILIDADE E NO RISCO DE FALHA (RRMS)

Através da análise de um exemplo prático de manutenção, pode-se ver como o conceito RRMS é aplicado neste caso. O exemplo é do setor de transportes: foi utilizado um ônibus de transporte coletivo de uma empresa, que opera no estado de Minas Gerais, Brasil. Para a análise foi avaliado o perfil de falhas históricas do veículo (falhas corretivas). A partir destas falhas, o perfil de confiabilidade de cada sistema do veículo foi calculado, utilizando-se um modelo de confiabilidade exponencial.<sup>(10,11)</sup> A partir de entrevistas com os operadores dos veículos, os índices de risco (IO, IG e ID) foram calculados. Para simplificar a análise, os três índices anteriores foram multiplicados, obtendo-se o denominado índice de prioridade de risco (RPN), que pode variar entre 1 (menor nível de risco) e 1000 (maior nível de risco). A Figura 7 mostra um quadro com os resultados das análises de confiabilidade e risco. Para facilitar a gestão, foram definidos níveis pré-estabelecidos de Metas para a confiabilidade e risco, indicados através de códigos de cores.

Subconjunto	Corretivas	Confiabilidade	Risco	Preventiva
Freios	7			8
Alimentação Combustível	15			34
Direção	0			3
Embreagem	1			4
Suspensão	2			0
Alimentação de Ar	0			36
Acionamento Elétrico	0			1
Lubrificação	0			11
Refrigeração	2			5
Geração de Eletricidade	1			1
Escapamento	2			1
Mecânico do Motor	1			0

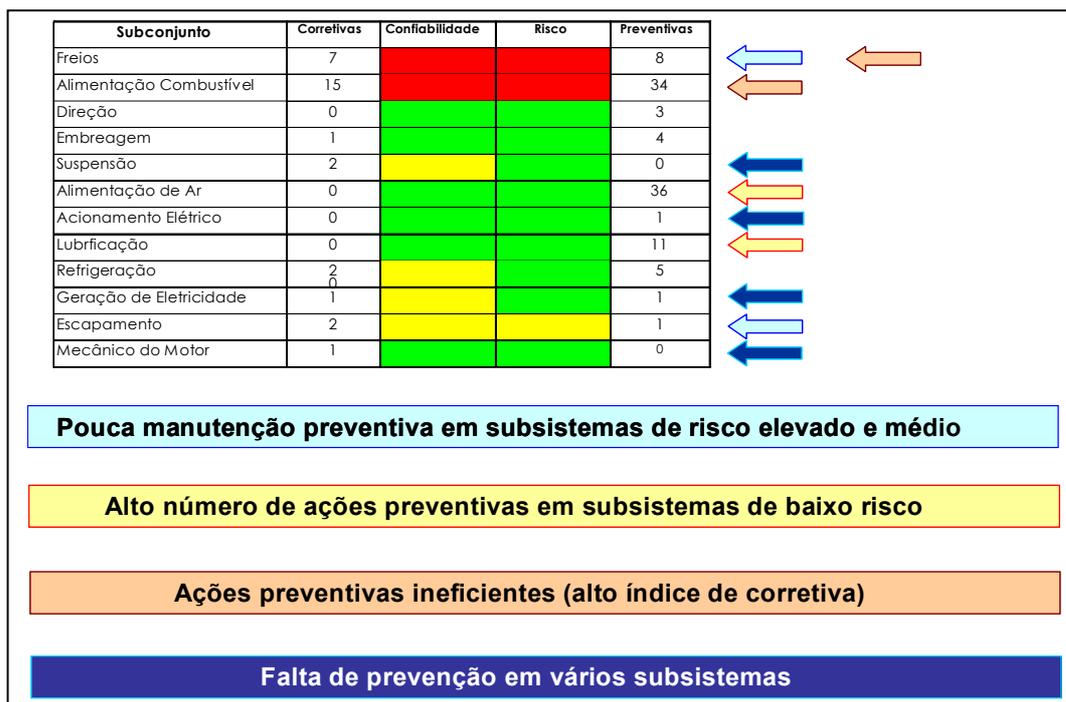
  

Confiabilidade %	<= 70	70 <= 90	90-100
Índice de Risco	600-1000	300-600	0-300

**Figura 7.** Mapa de Confiabilidade e Risco para um ônibus de uma frota de transporte.

Na figura anterior pode-se observar que no quadro foram também colocados o número de ações corretivas registradas durante o período analisado (19 meses) e as ações preventivas implementadas pelo setor de manutenção, para cada subsistema.

A comparação dos níveis de Confiabilidade e Risco com as ações corretivas e preventivas implementadas no veículo permite identificar pontos fracos na gestão de manutenção, que podem ser corrigidos, de forma a reverter a situação crítica de confiabilidade e risco, observada em alguns subsistemas do veículo analisado.



**Figura 8.** Identificação de pontos fracos na gestão de manutenção, a partir do mapa de confiabilidade e risco.

Como se observa na figura anterior, existem subsistemas de baixa confiabilidade e alto risco de falha (freios, escapamento), que não estão adequadamente protegidos por ações preventivas. Por outro lado, existem subsistemas onde são implementadas muitas ações preventivas e com perfis de alta confiabilidade e baixo risco (sistema de alimentação de ar e lubrificação), ou seja, estas ações preventivas podem provavelmente ser racionalizadas. Existem também subsistemas com ações preventivas pouco eficientes, já que seus níveis de confiabilidade são baixos (freios e alimentação de combustível). Pode-se também observar, que existem subsistemas totalmente desprotegidos (sem prevenção nenhuma) como, por exemplo, a suspensão e o motor.

## 7 CONCLUSÕES

Pode-se concluir, que a gestão atual de manutenção precisa ser agilizada para ser competitiva nos ambientes empresariais. Os avanços nas tecnologias de manutenção, especialmente nas técnicas preditivas e nos modelos de gestão, baseados no ataque a modos de falha isolados, não são suficientes para garantir níveis de performance funcional, compatíveis com as necessidades atuais de mercado. A adoção de parâmetros probabilísticos (Confiabilidade) e Risco de Falha permite criar uma visão global e proativa do processo de falha existente no equipamento. Este tipo de visão facilita a identificação de desvios na gestão de manutenção e a definição de planos proativos e dinâmicos de manutenção, que podem ser alterados continuamente, para atingir níveis de performance pré-estabelecidos em todos os subsistemas de um equipamento (controle de processo de manutenção).

## REFERÊNCIAS

- 1 WOMACK, JONES AND ROOS , “The machine that changed the World”, Harper Collins Publishers –, Nova York – Estados Unidos, 1990
- 2 SUZUKI, TOKUTARO. TPM In Process Industry. Edited by Japan Institute of Plant Maintenance, 1994
- 3 D.E.CASTRO – Novas Estruturas de Trabalho para a Manutenção – Seminário sobre Engenharia, Construção e Manutenção de Equipamentos , ABM . 1992
- 4 MOUBRAY, JOHN – RCM-II – Reliability Centered Maintenance – Industrial Press, New York, 1992
- 5 CAMPBELL, JOHN – Uptime – Strategies for excellence in Maintenance Management – Productivity Press - 1995
- 6 Site oficial na Internet da Associação Brasileira de Manutenção: [www.abraman.org.br](http://www.abraman.org.br)
- 7 D.E. CASTRO, A.L. BESSA, “The significance of Degradation Processes in Reliability Analysis”, 9ª Conferência do SMRP – Society for Maintenance and Reliability Professionals, Outubro 2001, San Antonio – Texas – Estados Unidos
- 8 D.E. CASTRO.: Using Degradation Process Analysis to Reduce Reactive Maintenance, Maintenance Technology Magazin, April 2002, Applied Technology Publications, Inc. USA
- 9 C.I. MATOSO, A. BESSA, D.E.CASTRO, “Aplicação de análise de confiabilidade na resolução de falhas crônicas em equipamentos industriais”, IX Encontro de Gestão pela Qualidade, ABM, Outubro 2000, São Paulo.
- 10 A. SONNTAG, “Sistema Informatizado para Análise de Falhas e Confiabilidade Aplicado em um laminador de tubos sem costura”, Dissertação e Mestrado - CEFET-MG, - 2002 , Brasil
- 11 PINHEIRO, MARLON - “ Sistema de Gestão da Manutenção Veicular com base em rotinas de análise de confiabilidade e Risco”- Dissertação de Mestrado - CEFET-MG - 2003, Brasil
- 12 H. HELMAN, P.R. ANDERY, Análise de Falhas (Aplicação dos métodos FMEA-FTA), Fundação Christiano Ottoni, Belo Horizonte, 1995
- 13 PAUL PALADY, FMEA - Análise dos Modos de Falha e Efeitos, Instituto IMAM, 2002- SP