

**MARCOS VINÍCIUS LUCATELLI**

**PROPOSTA DE APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO  
CENTRADA EM CONFIABILIDADE EM  
EQUIPAMENTOS MÉDICO-HOSPITALARES**

**FLORIANÓPOLIS  
2002**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA ELÉTRICA**

**PROPOSTA DE APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO  
CENTRADA EM CONFIABILIDADE EM  
EQUIPAMENTOS MÉDICO-HOSPITALARES**

Tese submetida à  
Universidade Federal de Santa Catarina  
como parte dos requisitos para a  
obtenção do grau de Doutor em Engenharia Elétrica.

**MARCOS VINÍCIUS LUCATELLI**

Florianópolis, Outubro de 2002

# PROPOSTA DE APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE EM EQUIPAMENTOS MÉDICO-HOSPITALARES

Marcos Vinícius Lucatelli

‘Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em *Engenharia Biomédica*, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina.’

Prof. Renato Garcia Ojeda, Dr.  
Orientador

Prof. Edson Roberto De Pieri, Dr.  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Banca Examinadora:

Prof. Renato Garcia Ojeda, Dr.

Prof. Fernando Mendes de Azevedo, Dr.

Prof. Sérgio Santos Mühlen, D.Sc.

Prof. Raimes Moraes, Ph.D.

Prof. Antônio Giannella Neto, Dr.

Prof. Jefferson Luiz Brum Marques, Ph.D.

Prof. Hans Helmut Zürn, Ph.D.

# E p í g r a f e

*...muitas vezes estamos em dificuldades,  
mas não somos derrotados.  
Algumas vezes ficamos em dúvida,  
mas nunca desesperados.  
Temos muitos inimigos,  
mas nunca nos falta um amigo.  
Às vezes somos feridos,  
mas não destruídos.*

**2 Coríntios 4, 8-10**

# D e d i c a t ó r i a

À minha família,  
em especial a meus pais, Marcos e  
Maria Emilse, a meus irmãos, Thiago e  
Verônica, e à Micheli, sempre presentes,  
mesmo à distância.

# A g r a d e c i m e n t o s

Mais uma vez,  
a toda minha família. Incluem-se  
nesta denominação todos aqueles  
responsáveis, direta ou  
indiretamente, pela minha vida,  
pela minha educação, pela minha  
formação, pelo meu equilíbrio, pela  
minha alegria, pelo meu amor, pelo  
meu conhecimento, por esta  
conquista...

## PRODUÇÃO BIBLIOGRÁFICA

### Artigos Publicados

- LUCATELLI, M.V. & GARCIA, R. Estudo de Procedimentos de Manutenção Preventiva de Equipamentos Eletromédicos. In: **XIII Congresso Brasileiro de Manutenção**, Salvador, Bahia. 1998.
- LUCATELLI, M.V.; BESKOW, W.B. & GARCIA, R. O Programa RHAЕ como Alternativa de Desenvolvimento de Atividades de Engenharia Clínica. In: **II Fórum de Tecnologia Aplicada à Saúde**, Salvador, Bahia: Secretaria de Estado da Saúde e Governo de Estado, 2000.
- LUCATELLI, M.V.; et al. Estratégia de Manutenção para Equipamentos Lotados em Centros Cirúrgicos. In: **XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica – CBEB'2000**, Florianópolis, v.01. p.443-448, 2000.
- LUCATELLI, M.V.; et al. Implantação de Paradas de Manutenção no Ambiente Hospitalar. In: **XV Congresso Brasileiro de Manutenção**, Vitória, 2000.
- LUCATELLI, M.V. & GARCIA, R. Proposta de Aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde. In: **II Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica**, mayo 2001, Habana, Cuba, Anales ISBN 959-7132-57-5.
- FERNANDES, R.; GARCIA, R. & LUCATELLI, M.V. Ensaio para Avaliação de Funcionalidade de Oxímetros de Pulso. In: **II Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica**, mayo 2001, Habana, Cuba, Anales ISBN 959-7132-57-5.
- LUCATELLI, M.V.; BESKOW, W.B & GARCIA, R. Gestão da Confiabilidade Tecnológica no Ambiente Hospitalar. In: **XVI Congresso Brasileiro de Manutenção & XI Congresso Ibero-Americano de Manutenção**, Florianópolis, 2001.

### Resumos Publicados em Revistas

- LUCATELLI, M.V. & GARCIA, R. Estudo de Procedimentos de Manutenção Preventiva de Equipamentos Eletromédicos. **Manutenção y Qualidade**, n.23, p.28, 1998. ISSN 1413-4659.
- LUCATELLI, M.V.; BERNS, E.; MARTINS, J. & GARCIA, R. Implantação de Paradas de Manutenção no Ambiente Hospitalar. **Manutenção y Qualidade**, n.31, p.27, 2000. ISSN 1413-4659.

### Artigos Aceitos 2002

- LUCATELLI, M.V.; & GARCIA, R. Reliability-Centered Maintenance for Medical Equipment. In: **European Medical and Biological Engineering Conference – EMBEC'2002**, Viena, Austria, 2002.
- LUCATELLI, M.V.; & GARCIA, R. Manutenção Centrada em Confiabilidade. In: **XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica – CBEB'2002**, São José dos Campos, SP, 2002.
- LUCATELLI, M.V.; et al. Ensaio de Funcionalidade e Segurança: A Experiência do Laboratório de Avaliação Técnica IEB-UFSC. In: **XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica – CBEB'2002**, São José dos Campos, SP, 2002.
- FREIRE, P.S.M.; GLOWACKI, L.A.; LUCATELLI, M.V. & GARCIA, R. Sistema e Gestão da Qualidade Visando o Credenciamento do Laboratório de Avaliação Técnica: estudo de caso. In: **XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica – CBEB'2002**, São José dos Campos, SP, 2002.

Resumo da Tese apresentada à UFSC como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Elétrica.

## **PROPOSTA DE APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE EM EQUIPAMENTOS MÉDICO-HOSPITALARES**

**Marcos Vinícius Lucatelli**

Outubro/2002

Orientador: Renato Garcia O.

Área de Concentração: Engenharia Biomédica

Palavras-chave: engenharia clínica, gestão da manutenção, equipamentos médico-hospitalares, manutenção centrada em confiabilidade - MCC, estabelecimentos assistenciais de saúde, gerenciamento de tecnologia médico-hospitalar, FMEA, SAE JA1011.

Número de Páginas: 286

Este trabalho trata da aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) a equipamentos médico-hospitalares (EMH). A confiabilidade de equipamentos e sistemas é, hoje, uma das principais preocupações nas diversas áreas da produção de bens e serviços, a qual focaliza os riscos à segurança operacional, ao meio ambiente e a otimização de recursos. Nesse contexto, o estabelecimento de uma metodologia lógica, estruturada e custo-efetiva para a gestão da manutenção, como propõe a MCC, representa uma importante contribuição ao processo de gerenciamento de tecnologia médico-hospitalar (GTMH), bem como à área hospitalar, que pode ser classificada como um dos ambientes mais complexos em virtude de suas exigências contextuais e características tecnológicas (diversificada e complexa). Nesse sentido, apresenta-se uma proposta de MCC para EMH em estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS), modelada por meio da revisão dos preceitos, técnicas, procedimentos e resultados da MCC característicos da indústria, em especial do RCM2, do estado da arte da manutenção de EMH e do GTMH. A metodologia desenvolvida, validada segundo os critérios do Padrão SAE JA1011, foi sistematizada em quatro fases – planejamento, análise técnica, análise qualitativa e avaliação – compostas por etapas distintas, cuja configuração caracteriza um processo sistêmico, e aplicada a três estudos de caso, cujos resultados mais significativos apontaram: o incremento do conhecimento a respeito dos EMH, dos sistemas e dos processos envolvidos na análise; o estabelecimento de procedimentos de manutenção programada contextualizados; a identificação de deficiências quanto à confiabilidade da função cujo item é responsável e a determinação de ações corretivas acerca do projeto; a sistematização de dados para a acreditação/certificação da manutenção, bem como de evidências rastreadas para a justificação de investimentos e melhoramentos por parte da direção. O processo MCC para EMH mostrou ser uma metodologia investigativa, lógica e estruturada, cuja aplicação fornece argumentos, rastreados e baseados no conhecimento, para a tomada de decisão acerca dos procedimentos de manutenção contextualizados mais viáveis e custo-efetivos na gestão da falha de cada item, com vistas ao estabelecimento/conservação dos níveis mínimos de segurança e confiabilidade exigidos.

Abstract of Thesis presented to UFSC as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor in Electrical Engineering.

## **APPLICATION PROPOSAL OF THE RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE IN MEDICAL EQUIPMENT**

**Marcos Vinícius Lucatelli**

October/2002

Advisor: Renato Garcia O.

Area of Concentration: Biomedical Engineering

Keywords: clinical engineering, maintenance management, medical equipment, reliability-centered maintenance - RCM, health assistants units, FMEA, SAE JA1011, RCM2, management assets.

Number of Pages: 286

The present work deals with the application of the Reliability-Centered Maintenance (RCM) to medical equipments located in hospitals and other health assistants units. The reliability of equipments and systems is nowadays a main issue in different areas of industry and services. Its has focus on the risks to the operational security, to the environment, and to the resources administration. In this context, as proposed by the RCM, the implementation of a logical, structured, and cost-effective methodology to the maintenance management represents an important contribution to the process of management of medical tecnologia, as well to the medicine itself, that can be classified as one of the most complex areas of human activity. A proposal of RCM to the management of medical equipments in health assistant units is presented here, built through the review of precepts, technics, procedures and results of the characteristically industrial RCM, especially the RCM2, and by the state of art of the maintenance of equipments and the management of technology in medical area. The developed methodology, validated according to the criteria of the SAE JA1011 Pattern, was systematized in four phases - planning, technical analysis, qualitative analysis, and evaluation - composed of different steps whose configuration characterizes a systematic process. The methodology applied to three case-studies revealed the following aspects: the increase of the knowledge about medical equipment, systems and processes involved in the analysis; the establishment of proceedings of programmed maintenance in the context; the identification of deficiencies related to the reliability of the function whose assets are responsible for and the determination of corrective actions about the project; the systematization of the data for the maintenance certifying, as well as of the searched evidences for the justification of investments and improvements by the direction. The process RCM applied to medical equipments showed to be an investigative, logical and structured methodology, whose utilization offers knowledge-based arguments for the decision taking about the more feasible and cost-effective maintenance proceedings for dealing with the fault of assets, with a view to the establishment / conservation of the minimal required levels of security.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>xiii</b>
<b>LISTA DE QUADROS.....</b>	<b>xv</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....</b>	<b>xvi</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
<b>1.1 OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>21</b>
<b>1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>21</b>
<b>1.3 JUSTIFICATIVAS DA PESQUISA.....</b>	<b>22</b>
1.3.1 CARÊNCIA DE GERENCIAMENTO.....	23
1.3.2 OTIMIZAÇÃO DE RECURSOS.....	24
1.3.3 SEGURANÇA/CONFIABILIDADE.....	26
1.3.4 CERTIFICAÇÃO DA QUALIDADE.....	27
<b>1.4 METODOLOGIA.....</b>	<b>27</b>
1.4.1 TREINAMENTO.....	28
1.4.2 FERRAMENTA.....	29
1.4.3 TEMPO.....	29
1.4.4 EQUIPE.....	29
<b>1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....</b>	<b>30</b>
<b>2. ESTADO DA ARTE.....</b>	<b>31</b>
<b>2.1 MANUTENÇÃO.....</b>	<b>33</b>
2.1.1 PROCESSO EVOLUTIVO.....	33
2.1.1.1 Primeira Geração.....	35
2.1.1.2 Segunda Geração.....	36
2.1.1.3 Terceira Geração.....	36
2.1.2 POLÍTICAS/TIPOS DE MANUTENÇÃO.....	38
2.1.2.1 Manutenção Corretiva.....	40
2.1.2.2 Manutenção Preventiva.....	41
2.1.2.3 Manutenção Preditiva.....	43
2.1.3 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO – Metodologias.....	45
2.1.3.1 Manutenção Produtiva Total.....	46
2.1.3.2 Manutenção Centrada em Confiabilidade.....	49
2.1.3.3 MCC X TPM.....	53
<b>2.2 MANUTENÇÃO HOSPITALAR X ENGENHARIA CLÍNICA.....</b>	<b>55</b>
2.2.1 PRIMEIRA FASE – Manutenção Corretiva.....	57
2.2.2 SEGUNDA FASE – Manutenção Preventiva Tradicional.....	58
2.2.3 TERCEIRA FASE – GTMH.....	60
2.2.3.1 GTMH em Hospitais Públicos Estaduais em Santa Catarina.....	64
<b>2.3 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE.....</b>	<b>66</b>
2.3.1 PREPARAÇÃO PARA IMPLANTAÇÃO DA MCC.....	69
2.3.1.1 Métodos de Priorização.....	69
2.3.1.2 Formação da Equipe.....	72
2.3.2 ANÁLISE DO SISTEMA.....	73
2.3.2.1 Funções.....	73
2.3.2.2 Análise de Falhas Funcionais.....	74
2.3.2.3 Padrões de Desempenho.....	75
2.3.2.4 Contexto Operacional.....	76
2.3.2.5 Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos – Sistematizando o conhecimento.....	78
2.3.2.5.1 Análise do Modo de Falha.....	79
2.3.2.5.2 Identificação do Efeito de Falha.....	80

2.3.2.6	Conseqüências de Falhas .....	83
2.3.3	TOMADA DE DECISÃO .....	84
2.3.3.1	Seleção das Tarefas de Manutenção .....	84
2.3.4	PROCESSO DA MCC – Segundo Moubray.....	85
2.3.4.1	Estratégias de Manutenção.....	85
2.3.4.1.1	Pró-ativa .....	86
2.3.4.1.2	Reativa.....	87
2.3.4.2	Manutenção Preventiva.....	87
2.3.4.2.1	Restauração Programada .....	89
2.3.4.2.2	Descarte Programado .....	90
2.3.4.3	Manutenção Preditiva .....	91
2.3.4.4	Manutenção Detectiva.....	93
2.3.4.5	Diagrama de Decisão .....	93
2.3.4.6	Planilha de Decisão.....	98
2.3.5	PROCESSO DA MCC – Segundo Smith.....	99
2.3.5.1	Tarefas de Manutenção .....	100
2.3.5.2	Classificação das Conseqüências dos Modos de Falhas .....	101
2.3.5.3	Seleção das Tarefas Preventivas .....	102
2.3.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	104
<b>3.</b>	<b><i>PROPOSTA DE APLICAÇÃO DA MCC A EMH – Metodologia Desenvolvida .. 106</i></b>	
<b>3.1</b>	<b>FASE ZERO – PLANEJAMENTO..... 108</b>	
3.1.1	ETAPA 0.1 – FORMAÇÃO DO FACILITADOR .....	109
3.1.2	ETAPA 0.2 – ESTRUTURAÇÃO DAS REUNIÕES.....	110
3.1.3	ETAPA 0.3 – SELEÇÃO DO ITEM.....	111
3.1.4	ETAPA 0.4 – DEFINIÇÃO DA EQUIPE.....	112
3.1.5	ETAPA 0.5 – NIVELAMENTO DA EQUIPE .....	112
<b>3.2</b>	<b>FASE 1 – ANÁLISE TÉCNICA .....</b>	<b>113</b>
3.2.1	ETAPA 1.1 – CARACTERIZAÇÃO DO CONTEXTO OPERACIONAL.....	113
3.2.2	ETAPA 1.2 – APLICAÇÃO DA FMEA.....	114
3.2.3	ETAPA 1.3 – APLICAÇÃO DO DIAGRAMA DE DECISÃO .....	116
<b>3.3</b>	<b>FASE 2 – ANÁLISE QUALITATIVA .....</b>	<b>117</b>
3.3.1	ETAPA 2.1 – ESTABELECIMENTO DE PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO .....	117
3.3.2	ETAPA 2.2 – DEFINIÇÃO DAS TAREFAS DE REPROJETO.....	117
3.3.3	ETAPA 2.3 – DETERMINAÇÃO DAS PEÇAS SOBRESSALENTES .....	119
<b>3.4</b>	<b>FASE 3 – AVALIAÇÃO..... 120</b>	
3.4.1	ETAPA 3.1 – COMPARAÇÃO DE PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO.....	120
3.4.2	ETAPA 3.2 – ESTABELECIMENTO DO PROGRAMA DE MANUTENÇÃO .....	121
<b>4.</b>	<b><i>APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DESENVOLVIDA .....</i></b>	<b><i>122</i></b>
<b>4.1</b>	<b>ESTUDO DE CASO 1 – Sistema de Ar Comprimido..... 122</b>	
4.1.1	FASE ZERO – PLANEJAMENTO .....	122
4.1.2	FASE 1 – ANÁLISE TÉCNICA .....	125
4.1.3	FASE 2 – ANÁLISE QUALITATIVA .....	128
4.1.4	FASE 3 – AVALIAÇÃO.....	130
4.1.5	RESULTADOS .....	130
4.1.5.1	Quantitativos.....	131
4.1.5.2	Qualitativos .....	133
<b>4.2</b>	<b>ESTUDO DE CASO 2 – Ventilador Pulmonar..... 136</b>	
4.2.1	FASE ZERO – PLANEJAMENTO .....	136
4.2.2	FASE 1 – ANÁLISE TÉCNICA.....	138
4.2.3	FASE 2 – ANÁLISE QUALITATIVA .....	143
4.2.4	FASE 3 – AVALIAÇÃO.....	145
4.2.5	RESULTADOS .....	146
4.2.5.1	Quantitativos .....	146

4.2.5.2	Qualitativos .....	148
<b>4.3</b>	<b>ESTUDO DE CASO 3 – Ventilador Pulmonar Segunda Geração .....</b>	<b>150</b>
4.3.1	APLICAÇÃO DA MCC AO VTP2 .....	150
4.3.2	RESULTADOS .....	153
4.3.2.1	Quantitativos .....	153
4.3.2.2	Qualitativos .....	154
<b>4.4</b>	<b>VALIDAÇÃO DA PROPOSTA .....</b>	<b>156</b>
4.4.1	PADRÃO SAE JA1011 .....	156
4.4.2	ANÁLISE DE CUSTOS .....	157
4.4.2.1	Estudos de Avaliação Econômica .....	157
4.4.2.2	Perspectivas de Análise .....	159
4.4.2.3	Análise dos Estudos de Caso .....	160
<b>5.</b>	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>167</b>
5.1	ANÁLISE DOS RESULTADOS DIRETOS.....	170
5.2	ANÁLISE DOS RESULTADOS INDIRETOS .....	173
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>175</b>
<b>7.</b>	<b>PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>182</b>
	<b>ANEXO 1 – REGISTROS DO SISTEMA DE AR COMPRIMIDO.....</b>	<b>183</b>
	ANEXO 1.1 – PLANILHA FMEA .....	184
	ANEXO 1.2 – PLANILHA DE DECISÃO.....	188
	ANEXO 1.3 – PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO PROGRAMADA .....	191
	ANEXO 1.4 – TAREFAS DE REPROJETO.....	193
	<b>ANEXO 2 – REGISTROS DO VENTILADOR PULMONAR .....</b>	<b>194</b>
	ANEXO 2.1 – PLANILHA FMEA .....	195
	ANEXO 2.2 – PLANILHA DE DECISÃO.....	210
	ANEXO 2.3 – PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO PROGRAMADA .....	221
	ANEXO 2.4 – PEÇAS SOBRESSALENTES.....	225
	ANEXO 2.5 – PROGRAMA DE MANUTENÇÃO .....	226
	<b>ANEXO 3 – REGISTROS DO VENTILADOR PULMONAR SEGUNDA GERAÇÃO.....</b>	<b>228</b>
	ANEXO 3.1 – PLANILHA FMEA .....	229
	ANEXO 3.2 – PLANILHA DE DECISÃO.....	241
	ANEXO 3.3 – PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO PROGRAMADA .....	249
	<b>ANEXO 4 – CRITÉRIOS EXIGIDOS PELO PADRÃO SAE JA1011 PARA A</b>	
	<b>AVALIAÇÃO DE PROCESSOS MCC.....</b>	<b>251</b>
	<b>ANEXO 5 – CONCEITOS BÁSICOS DE TEORIA DA CONFIABILIDADE.....</b>	<b>259</b>
	<b>ANEXO 6 – CUSTOS DIRETOS ENVOLVIDOS NA APLICAÇÃO DA MCC.....</b>	<b>265</b>
	<b>GLOSSÁRIO.....</b>	<b>269</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>272</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1: EVOLUÇÃO DAS TRÊS GERAÇÕES DA MANUTENÇÃO E SEUS PERÍODOS E AS ÁREAS COM MAIORES TRANSFORMAÇÕES: EXPECTATIVAS EM RELAÇÃO À MANUTENÇÃO, PERCEPÇÃO DAS FALHAS DO EQUIPAMENTO E TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO (MOUBRAY, 1997).....	38
FIGURA 2.2: TIPOS DE PADRÕES DE MODOS DE FALHAS. NOS GRÁFICOS É REPRESENTADA A TAXA DE FALHA (EIXO Y), DOS RESPECTIVOS MODOS DE FALHAS, NO TEMPO (EIXO X).....	52
FIGURA 2.3: EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO SEGUNDO OS RESULTADOS OBTIDOS PARA CADA TIPO, ADAPTADA DE (KARDEC & NASCIF, 1999).....	55
FIGURA 2.4: A GESTÃO DE EQUIPAMENTOS SEGUNDO O SEU CICLO DE VIDA (TESDAHL & TOMLINGSON, 1997).....	61
FIGURA 2.5: EVOLUÇÃO DA RESPONSABILIDADE DA EQUIPE IEB/UFSC FRENTE AO PROCESSO GTMH, EM NÍVEIS CUMULATIVOS (BESKOW, 2001).....	66
FIGURA 2.6: CONFIGURAÇÃO CLÁSSICA DE COMPONENTES DO GRUPO DE REVISÃO DA MCC.....	72
FIGURA 2.7: REPRESENTAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE UMA FALHA FUNCIONAL. ....	75
FIGURA 2.8: CATEGORIZAÇÃO DA APLICAÇÃO DA FMEA NAS DIVERSAS FASES DA MANUFATURA (FORD, 1997 APUD SAKURADA, 2001).....	81
FIGURA 2.9: PROCESSO DA MCC SEGUNDO MOUBRAY.....	85
FIGURA 2.10: “MORTALIDADE INFANTIL” INDUZIDA.....	88
FIGURA 2.11: PADRÃO DE MODO DE FALHA (CARACTERIZANDO DESGASTE). ....	89
FIGURA 2.12: CURVA CARACTERÍSTICA DE LIMITE DE VIDA SEGURA.....	90
FIGURA 2.13: REPRESENTAÇÃO DA CURVA P-F.....	91
FIGURA 2.14: INTERVALO LÍQUIDO DE INSPEÇÃO. ....	92
FIGURA 2.15: FALHAS POTENCIAIS QUE PODEM PRECEDER UM MODO DE FALHA. ....	92
FIGURA 2.16: DIAGRAMA DE DECISÃO (MOUBRAY, 1997). ....	97
FIGURA 2.17: OS SETE PASSOS BÁSICOS PARA A APLICAÇÃO DA MCC SEGUNDO SMITH. ....	99
FIGURA 2.18: VISÃO GERAL DO PROCESSO DE APLICAÇÃO DA MCC SEGUNDO FLEMING (2000).....	100
FIGURA 2.19: ESTRUTURA DA ÁRVORE LÓGICA DE ANÁLISE SEGUNDO SMITH.....	102
FIGURA 2.20: DIAGRAMA LÓGICO PARA SELEÇÃO DE TAREFAS DE MANUTENÇÃO SEGUNDO SMITH (1993).103	

FIGURA 3.1: PROCESSO DE APLICAÇÃO DA MCC EM EAS PARA EMH NAS SUAS DIVERSAS FASES E A SUA CORRELAÇÃO E INTERDEPENDÊNCIA COM AS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO PROCESSO DE GTMH.	107
FIGURA 3.2: PROCESSO DE APLICAÇÃO DA MCC EM EAS PARA EMH PASSO-A-PASSO <i>VERSUS</i> O MÉTODO PDCA.....	108
FIGURA 3.3: ANÁLISE FMEA DO TIPO <i>TOP-DOWN</i> , INSPIRADA EM SAKURADA (2001).....	116
FIGURA 4.1: DIAGRAMA OPERACIONAL DO SISTEMA DE AR COMPRIMIDO.....	126
FIGURA 4.2: A) DIAGRAMA PNEUMÁTICO; B) SEÇÃO PNEUMÁTICA, DO VTP (MCPHERSON, 1995) .....	139
FIGURA 4.3: DIAGRAMA FUNCIONAL DO VTP2. ....	153

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 2.1: PLANILHA DE MODOS DE FALHA DE UM SISTEMA DE AR COMPRIMIDO MEDICINAL.....	79
QUADRO 2.2: PLANILHA DE INFORMAÇÕES FMEA DE UM SISTEMA DE AR COMPRIMIDO MEDICINAL.....	81
QUADRO 2.3: PLANILHA DE DECISÃO DA MCC. ....	98
QUADRO 4.1: PLANILHA DE INFORMAÇÕES FMEA PARA O SISTEMA DE AR COMPRIMIDO. ....	127
QUADRO 4.2: RELAÇÃO DE SOBRESSALENTES DETERMINADOS PELA APLICAÇÃO DA MCC PARA O SISTEMA DE AR COMPRIMIDO MEDICINAL. ....	129
QUADRO 4.3: RELAÇÃO ENTRE A SEÇÃO ANALISADA E SUAS RESPECTIVAS FUNÇÕES. ....	141
QUADRO 4.4: MODOS VENTILATÓRIOS DISPONÍVEIS NO VTP E SUAS RESPECTIVAS FUNÇÕES. ....	141
QUADRO 4.5: EXEMPLO DA PLANILHA DE DECISÃO DE VTP.....	142
QUADRO 4.6: EXEMPLO DE PROCEDIMENTO DE MANUTENÇÃO DO VTP.....	143
QUADRO 4.7: TAREFAS DE REPROJETO LEVANTADAS PELA MCC PARA O VTP E OS RESPECTIVOS ÍNDICES DE RISCO.....	144
QUADRO 4.8: RELAÇÃO DE PEÇAS SOBRESSALENTES DETERMINADAS PELA APLICAÇÃO.....	154
QUADRO 4.9: TAREFAS DE REPROJETO LEVANTADAS PELA MCC PARA O VTP2.....	155
QUADRO 4.10: CRITÉRIOS PARA ELEIÇÃO DO TIPO DE ANÁLISE ECONÔMICA.....	159

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	–	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Abraman	–	Associação Brasileira de Manutenção
AHA	–	American Hospital Association
CC	–	Centro Cirúrgico
CT	–	Combinação de Tarefas
EAS	–	Estabelecimento Assistencial de Saúde
EEC	–	Estrutura de Engenharia Clínica
ECRI	–	Emergency Care Research Institute
EMA	–	Equipamento Médico-Assistencial
EMH	–	Equipamento Médico-Hospitalar
FAA	–	Federal Aviation Administration
FMEA	–	Failure Modes and Effects Analysis
GTMH	–	Gerenciamento de Tecnologia Médico-Hospitalar
MC	–	Manutenção Corretiva
MCC	–	Manutenção Centrada em Confiabilidade
MD	–	Manutenção Detectiva
MP	–	Manutenção Preventiva
MPd	–	Manutenção Preditiva
MSG	–	Maintenance Steering Groups
OMS	–	Organização Mundial da Saúde
PEEP	–	Positive End Expiratory Pressure
RCM	–	Reliability Centered Maintenance
RCM2	–	A versão do RCM segundo Moubray
Romsys	–	Risk Oriented Maintenance System
TPM	–	Total Productive Maintenance
TR	–	Tarefas de Reprojeto
UTI	–	Unidade de Tratamento Intensivo
WHO	–	World Health Organization

# 1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios dos tempos até os atuais, o homem sempre buscou o conhecimento da essência das coisas, dos atos e dos acontecimentos, formando juízos que, muitas vezes, tentam se antecipar no tempo ao profetizar idéias e prognosticar acontecimentos. Essa qualidade, de poucos, traz consigo *status*, poder e vantagens a seus detentores, sempre despertando, ao mesmo tempo, o fascínio e a cobiça.

Em tempos distantes, essa sabedoria era questão de sobrevivência, adquirida pela observação da natureza, que garantia a provisão de alimento, água e calor. No início das civilizações, significava posicionamento de destaque na sociedade, admiração, genialidade ou, mesmo, até a morte, em razão da ruptura de velhos preceitos, punição imposta a muitos “cérebros” da história. Em tempos contemporâneos, essa qualidade ainda é uma questão de sobrevivência, agora, entretanto, de empresas, negócios e economias, que tentam antecipar as tendências econômicas. A área da manutenção, que normalmente é responsável pela maior parte dos custos operacionais totais da empresa – em torno de 35%, valor que, por vezes, pode ser multiplicado por 300% em razão do impacto da quebra (TESDAHL & TOMLINGSON, 1997) –, seguiu esse mesmo caminho e, já há vinte e cinco anos, utiliza-se de técnicas inovadoras de manutenção para detectar a condição de itens e, por conseguinte, realizar ações antecipadas ao colapso dos mesmos, pois as falhas nunca são abruptas, nem suas causas comuns são, tradicionalmente, encaradas como uma anormalidade (FLEMING, 2000).

A manutenção, assim como o maquinário, teve início com a Revolução Industrial, por volta de 1800, e pode ser caracterizada por três marcos. O primeiro está delimitado ao surgimento das primeiras máquinas têxteis e perdurou até o início da Segunda Guerra Mundial. Foi um período no qual a manutenção somente acontecia após a ocorrência da falha; as máquinas eram sobredimensionadas; a concorrência e a preocupação com prazos não existiam, não se justificando, portanto, um programa de manutenção mais elaborado.

No segundo, período pós-guerra, por volta de 1950, a tolerância com atrasos diminuiu e a exigência de produtividade aumentou. Nessa fase, os equipamentos passaram de simples e robustos a complicados, exigindo uma

metodologia mais apurada de manutenção. Surgiu, nesse período, a Manutenção Preventiva, que é caracterizada pela substituição sistemática de itens baseada em intervalos ou ciclos predeterminados.

Caracteriza o terceiro o aprimoramento da manutenção preventiva que ocorreu em meados da década de 1970, quando outra metodologia foi desenvolvida, a qual, por meio de diferentes técnicas, preconizava a monitoração da evolução das condições de itens predeterminados. A Manutenção Preditiva, como foi chamada, busca identificar o final de vida útil dos componentes dos equipamentos com base na medição da sua degradação. Através de dados fornecidos por equipamentos específicos, o responsável, devidamente treinado e preparado, estabelece e programa as ações para a correção de potenciais anomalias detectadas.

Essa inevitável evolução deu-se sobretudo pelas exigências de mercado, que determinaram, em virtude da globalização e da concorrência internacional, a necessidade de redução de custos, ocasionando o aperfeiçoamento dessa área. Ao mesmo tempo, os ativos físicos<sup>1</sup> modernos atingiram um alto grau de complexidade, em razão da incidência cada vez maior da automação e da informatização, além de estarem inseridos em contextos operacionais cada vez mais exigentes no que se refere aos aspectos de competitividade, segurança e meio ambiente.

A tecnologia médica, assim como a tecnologia de modo geral, teve nos últimos trinta anos considerável evolução, inigualável até então, superando todos os progressos obtidos desde o início dos tempos até a chegada do homem à Lua.

A área hospitalar acompanhou essa tendência global de incorporação de tecnologia, o que tem levado a inevitáveis transformações, muitas vezes não assimiladas, da sua gestão e utilização pelos profissionais de saúde. A tecnologia tornou-se cada vez mais confiável e, em muitos casos, menos dependente de intervenções. Em contrapartida, o uso dessa tecnologia voltada ao paciente aumentou significativamente a ponto de tornar a atuação do

---

<sup>1</sup> Ativo Físico – conjunto de itens de caráter permanente que uma empresa ou entidade utiliza como meio de produção.

Obs.: No contexto deste trabalho, os ativos físicos são representados pelos equipamentos médico-hospitalares.

médico quase que totalmente dependente de variáveis e resultados por ela fornecidos.

Ainda que as necessidades de manutenção dessa tecnologia tenham diminuído, o aumento do número de equipamentos, de normas de segurança e desempenho, aliado à necessidade constante de prevenção das falhas ou das conseqüências das falhas (WEAR, 1999; MOUBRAY, 1997; SMITH, 1993), da redução dos custos de manutenção e do aumento da disponibilidade e confiabilidade de equipamentos médico-hospitalares (EMH), exige uma gestão qualificada e especializada.

O atendimento a essas necessidades pressupõe uma mudança de visão da função manutenção. Se, antes, a eficiente realização de um procedimento de manutenção na restauração de algum item satisfazia às necessidades, hoje o que se espera é que a manutenção seja eficaz, ou seja, realize procedimentos que evitem a necessidade de recuperação ou restauração de um item.

Essa assertiva conduziu a expressivas mudanças no enfoque e nos rumos da manutenção contemporânea, a qual passou a considerar a estratégia de gestão das conseqüências das falhas ao invés da tradicional, e impraticável, eliminação das falhas. Foi nesse cenário que a gestão da confiabilidade<sup>2</sup> de ativos físicos conquistou especial atenção e destaque no campo da investigação e desenvolvimento metodológicos de parte de estudiosos e profissionais, além de pesados investimentos das diversas áreas da produção de bens e serviços nos últimos anos.

Um ponto importante a ser ressaltado é que, apesar da considerável evolução da manutenção desde o início do século passado e dos constantes melhoramentos de produtos, técnicas e processos, por melhores que esses sejam, nunca serão capazes de eliminar por completo a falha ou a quebra. Assim, o “homem de manutenção” terá de conviver com as modernas técnicas, políticas e metodologias com a manutenção de emergência e conciliá-las, pois tudo o que é físico falha, seja numa taxa maior, seja menor, além de que sempre existirão operadores e mantenedores relapsos, erros de projeto e fenômenos extraordinários/inesperados.

---

<sup>2</sup> Capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições específicas, durante um dado intervalo de tempo (ABNT,1994).

Se bem que o início das três fases evolutivas da manutenção esteja bem caracterizado cronologicamente, nenhuma delas deixou de ser executada em razão do surgimento da outra. Isso porque, além de diferenças conceituais, cada política é indicada e mais custo-efetiva para determinada situação, assim como existem modos de falhas distintos para cada tipo de componente ou equipamento, exigindo uma adequação das ações. Da correta utilização das técnicas, distintas para cada política, dependerá o sucesso ou o fracasso do programa de manutenção. Nesse sentido, nas últimas décadas, adaptando-se estudos realizados pela área de aviação industrial nos Estados Unidos, desenvolveram-se regras poderosas para orientar a correta utilização das políticas de manutenção, além de se estabelecerem critérios para determinar a frequência com que as tarefas devem ser feitas. Essa metodologia é denominada Manutenção Centrada em Confiabilidade – MCC, tema principal deste trabalho.

O estabelecimento de uma metodologia de manutenção custo-efetiva, como propõe a MCC, representa uma valiosa contribuição ao processo de gerenciamento de tecnologia médico-hospitalar (GTMH) pela qualificação das atividades desenvolvidas por estruturas de engenharia clínica (EEC), assim como é de fundamental importância na área hospitalar, que pode ser classificada como um dos ambientes mais complexos em virtude de suas exigências e características tecnológicas (diversificada e complexa), sobretudo por, ainda hoje, principalmente em países em desenvolvimento, utilizarem-se metodologias ultrapassadas, subaproveitadas, ou simplesmente nem as utilizarem.

Diversas estatísticas retratam essa realidade, entre as quais as de Lamberti et al. (1997), as quais indicam que o índice de equipamentos médicos fora de uso, tendo como justificativa diversos aspectos, gira em torno de 50%, chegando, em alguns casos, a 75%.

Por conseguinte, os benefícios oferecidos pela MCC vão ao encontro das necessidades presentes em estabelecimentos assistenciais de saúde – EAS, caracterizados pela criticidade própria do ambiente hospitalar, envolvendo as conseqüências oriundas da inadequação das funções dos EMH, na sua maioria, de segurança e econômicas, além das sociais intrínsecas e indissociáveis da indisponibilidade desses equipamentos. Diante dessa realidade, este trabalho propõe, em linhas gerais, a utilização da MCC, estribada nas atividades de GTMH desenvolvidas por EEC, para a determinação das

necessidades contextualizadas de cada item<sup>3</sup> e das políticas de manutenção mais adequadas, segundo suas características e custos inerentes, para a disponibilização da **função** requerida, ao invés de se manter o equipamento como proposto pelas políticas tradicionais empregadas até então em EAS.

### **1.1 OBJETIVO GERAL**

Este trabalho visa precisar os critérios necessários ao processo da manutenção centrada em confiabilidade, identificando seus preceitos, técnicas, procedimentos e resultados característicos na indústria, com vistas a serem aplicados, com base nas atividades desenvolvidas por estruturas de engenharia clínica, a equipamentos médico-hospitalares e às particularidades intrínsecas dos estabelecimentos assistenciais de saúde, como forma de contribuição e qualificação do processo de gerenciamento de tecnologia médico-hospitalar. Ainda, buscar caracterizar, por meio da estruturação de uma proposta, da sua aplicação a estudos de caso e da sistematização das informações, a validação da metodologia nesses ambientes.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Com a revisão bibliográfica, busca-se:

- a) resgatar os conceitos relativos às estratégias, políticas e metodologias de manutenção no cenário nacional e internacional nas áreas industrial e da saúde;
- b) conhecer e assimilar o processo de GTMH pela atuação em EEC, em especial a gestão da manutenção de EMH, de modo que se possa caracterizá-lo e inter-relacioná-lo ao processo MCC;
- c) identificar, reunir e sistematizar os conceitos pertinentes à adequação do processo MCC a EMH, a EAS e ao processo de GTMH;

---

<sup>3</sup> Item: “Qualquer parte, componente, dispositivo, subsistema, unidade funcional, equipamento ou sistema que possa ser considerado individualmente” (ABNT, 1994).

- d) caracterizar, ao longo do trabalho, os benefícios tangíveis e intangíveis que a MCC possa trazer à área em questão, quando comparada às metodologias tradicionais de gestão da manutenção utilizadas atualmente em EAS;
- e) demonstrar os ganhos potenciais que podem ser alcançados mediante a adoção da metodologia proposta, já difundida e consagrada em, praticamente, todos os campos de empreendimentos humanos organizados, e disponibilizar o conhecimento reunido neste estudo para a formação de recursos humanos qualificados em metodologias modernas de gestão da manutenção em EAS;
- f) estabelecer o nível de risco de itens, equipamentos, setores e instalações, de modo que seja possível planejar as ações de manutenção, garantindo-se suas funções e evitando-se, assim, as conseqüências de possíveis falhas;
- g) identificar e caracterizar a possibilidade de implementação de técnicas de manutenção para as políticas preditiva e detectiva em EMH, as quais não são utilizadas atualmente;
- h) por fim, definir e sistematizar procedimentos aplicando-se a MCC a EMH em um ambiente de EAS dentro do contexto de GTMH, com base num estudo de caso.

### **1.3 JUSTIFICATIVAS DA PESQUISA**

A revisão bibliográfica realizada ao longo desta pesquisa nas diversas áreas do conhecimento e a experiência adquirida na participação de estruturas de engenharia clínica em hospitais públicos possibilitaram a constatação das necessidades e possibilidades sistematizadas em seqüência, justificando este trabalho.

### 1.3.1 CARÊNCIA DE GERENCIAMENTO

O setor da saúde, assim como o da indústria, tem experimentado, nos últimos vinte anos, o “doce sabor” e as facilidades proporcionadas pela alta tecnologia, visto que procedimentos que demandavam horas ou dias para sua realização são, agora, executados em minutos ou segundos; processos que exigiam um certo número de executores, expondo-os a riscos e danos, hoje estão robotizados e informatizados. Essa tendência, ainda mais forte na área da saúde, tem transformado o perfil dos profissionais da saúde, que cada vez mais dependem dessa tecnologia.

Toda essa inovação, entretanto, trouxe consigo a necessidade de aprimoramento da gestão da manutenção da tecnologia, exigindo pesados investimentos em estudos e desenvolvimento de pessoal e ferramental na indústria. Segundo estimativa da Associação Brasileira de Manutenção (Abraman), o setor privado da indústria brasileira investiu em manutenção de ativos físicos cerca de R\$ 66 bilhões no ano de 2001, ou aproximadamente 6% do PIB do país (BETING, 2001). Isso, entretanto, não corresponde à realidade na área da saúde, que, apesar de possuir tecnologias muitas vezes ainda mais avançadas que as da indústria, utiliza-se de métodos antiquados e até mesmo informais para a gestão da manutenção de EMH no processo de GTMH.

O Ministério da Saúde (MS) brasileiro confirmou essa necessidade, ainda que com um atraso de duas décadas em relação à indústria, ao lançar um edital, em meados de 2000, para a “Capacitação à Distância em Gerenciamento da Manutenção de Equipamentos Médico-Hospitalares” (SAÚDE, 2000). O órgão reconhece que a aquisição adequada em relação ao perfil epidemiológico e à demanda existente em cada EAS, bem como o cuidado com a operação e a manutenção de EMH são os elementos que, de forma geral, estão associados ao tempo de vida útil desses equipamentos.

O documento traça, ainda, o perfil do parque tecnológico da saúde no país e aponta as medidas para contornar a problemática precisada, conforme transcrito a seguir (SAÚDE, 2000):

*O parque de equipamentos existentes no Brasil é relativamente antigo, tendo aproximadamente 50% do seu universo com mais de 20 anos de uso. O Ministério da Saúde estima que cerca de 40% dos equipamentos médico-hospitalares encontram-se inoperantes ou operando precariamente e que 60 a 80% das quebras são devido a erros de*

*operação ou mau uso, o que acarreta um aumento de 20 a 30% nos custos de manutenção.*

*A inabilidade dos serviços de saúde para o uso pleno de equipamentos que dispõem resulta em uma decrescente qualidade de atendimento e um alto desperdício de recursos. Entretanto, a maioria dos problemas técnicos podem ser evitados por intermédio de ações como: i) gerenciamento adequado dos equipamentos; ii) gerenciamento adequado dos técnicos de manutenção disponíveis; iii) estabelecimento de uma manutenção preventiva planejada; iv) uso correto dos equipamentos pela equipe de saúde.*

A tecnologia médico-hospitalar responde hoje por um parque tecnológico gigantesco, como cita Santos (1998) em levantamento realizado junto ao Hospital de Clínicas de Pernambuco. Conforme a autora, esse estabelecimento possui 388 leitos operacionais, dispõe de cerca de 830 equipamentos, estimados em R\$ 1.473.088,94. Não foram incluídos neste levantamento aqueles de imagem (raios x, ultra-som e tomógrafo), os quais facilmente multiplicariam esse valor.

O que chama a atenção, entretanto, é o fato de, apesar do alto volume de recursos administrados, a gestão de tais recursos em nível de países em desenvolvimento, *a priori*, ser conduzida por administradores sem formação ou conhecimento sobre tecnologia médico-hospitalar. O MS reforça essa idéia ao relatar que, “na maioria dos hospitais, os serviços de manutenção não são vistos como sendo de vital importância”, e complementa; “[...] muitos administradores não vêem o cuidado com o equipamento médico e a segurança que o mesmo é capaz de oferecer ao paciente como prioridades gerenciais” (SAÚDE, 2000).

### 1.3.2 OTIMIZAÇÃO DE RECURSOS

É inegável que a área da saúde no Brasil, há muito tempo, é assolada pela limitação de recursos, principalmente os hospitais públicos, que perfazem boa parte do número total de hospitais brasileiros. No entanto, apesar de serem restritos, os recursos são disponibilizados – segundo o MS, o projeto Reforço à Reorganização do Sistema Único de Saúde (Reforsus) aprovou investimentos de R\$ 495 milhões para a aquisição de EMH, beneficiando 969 EAS (SAÚDE, 2000) –, o que torna fundamental a sua correta utilização, sejam eles financeiros, físicos ou humanos, atributos contidos nos preceitos da MCC.

A MCC é uma nova metodologia de manutenção, atualmente bastante difundida e implantada nas mais diversas áreas da indústria de bens e serviços, tanto que, num período de dez anos, foi adotada em mais de mil organizações de diversos setores industriais e em mais de quarenta países. A adoção de seus preceitos, em comparação aos métodos tradicionais de planejamento da manutenção, tem revertido em diversos benefícios, que, de maneira genérica, resultam no aumento da disponibilidade dos itens físicos, da segurança, tanto ambiental como de operadores, além da redução significativa de estoques de peças sobressalentes e do número de horas trabalhadas.

Além dos benefícios gerais apresentados, pode-se listar um grande número de ganhos oriundos da correta utilização do método de MCC, conforme segue:

- preservação das especificações de operação dos equipamentos, o que resulta na otimização do seu desempenho;
- redução do estoque de peças sobressalentes pela otimização da manutenção preventiva e corretiva, as quais podem ser compradas programadamente;
- redução dos prejuízos causados por interrupções de emergência, tanto financeiros como de saúde, pela dependência de pacientes a equipamentos de suporte à vida;
- prolongamento da vida útil dos equipamentos, reduzindo a necessidade de investimentos de capital causada pela manutenção deficiente;
- redução de paradas desnecessárias dos equipamentos, proporcionando aumento de disponibilidade;
- redução do número de resserviços causados por equipamentos operados de forma inadequada;
- maior agilidade nos trabalhos realizados pela manutenção, em razão do maior conhecimento dos equipamentos, tanto do pessoal da manutenção como de operação;
- redução dos acidentes de trabalho, que podem pôr em risco a vida de pacientes e operadores;
- redução dos custos de manutenção através da otimização dos serviços e contratos de manutenção;

- diminuição de falhas catastróficas<sup>4</sup>, as quais são, em geral, eliminadas pelo acompanhamento e prevenção das causas de falhas.

### 1.3.3 SEGURANÇA/CONFIABILIDADE

A correta gestão da manutenção encontra muitos incentivos quando se trata de equipamentos destinados à produção de bens e serviços, para que não causem atrasos de produção, perdas de lucros das companhias ou aumento dos custos operacionais. Então, o que dizer de equipamentos responsáveis pelo suporte à vida de pacientes? As falhas nesses, especialmente, de alguma forma, causarão conseqüências que podem incluir desde erros de diagnóstico ou de tratamento até a morte de pacientes e operadores.

Ressalta-se, portanto, a seriedade com que a tecnologia médico-hospitalar deve ser abordada, eliminando-se, de maneira definitiva, a improvisação ou adoção de metodologias de manutenção não-planejadas, as quais caracterizam, em grande parte, a realidade dos EAS.

Nesse contexto, quando colocada em foco a gestão da segurança e da confiabilidade de ativos físicos, não é imprudente antecipar que a MCC constitui um processo plenamente efetivo na satisfação dessas necessidades, na medida em que são setores, cujo atendimento a tais requisitos é reconhecidamente imperativo, em razão dos riscos dos seus processos – à semelhança a EAS, resguardadas as particularidades tecnológicas e operacionais. Tais setores, como usinas nucleletricas (VIZZONI, 1998), refinarias de combustíveis e a indústria aeronáutica, há muito incorporaram a MCC na gestão de seus ativos.

A segurança, tanto pessoal como ambiental, e a confiabilidade das funções representam, portanto, dois pilares preceituais fundamentais no processo da MCC.

---

<sup>4</sup> Falha catastrófica: “Falha repentina que resulta na incapacidade completa de um item desempenhar todas as funções requeridas” (ABNT, 1994).

### 1.3.4 CERTIFICAÇÃO DA QUALIDADE

A busca da qualidade no atendimento dos serviços na área da saúde é uma necessidade global dos hospitais brasileiros – segundo Malik e Teles, em pesquisa realizada no estado de São Paulo, apenas 22 hospitais em 97 pesquisados afirmaram ter implantado ou estar implantando algum programa de qualidade (MALIK & TELES apud BALTAZAR, 2002) –, os quais devem adequar seus serviços às exigências dos pacientes, ou, como cita Juran, “qualidade é a adequação ao uso” (JURAN apud BESKOW, 2001). Para isso, existem dois norteadores principais que conduzem ao processo de certificação da qualidade em instituições de saúde – a ISO 9001 e a Acreditação Hospitalar.

Em ambos os processos, apesar das diferenças de abordagens intrínsecas a cada um, a elaboração de procedimentos formais, estruturados e rastreados, que facilitam e garantem a qualidade do trabalho, representa um dos critérios exigidos para a certificação da qualidade, o qual constitui um resultado clássico, vastamente citado pela bibliografia, da aplicação da MCC.

Outro item, na qual a MCC tem participação crucial e que faz parte do processo de avaliação para a certificação da ISO 9001, é a gestão de equipamentos, talvez a principal vocação dessa metodologia.

## 1.4 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste estudo compreendeu diferentes fases, desde o processo de pesquisa até a obtenção da proposta final, as quais podem ser expressas, sobretudo, pelo emprego de quatro elementos fundamentais, tanto para a realização deste trabalho como no processo de aplicação da MCC – o emprego de quatro “T” – conforme adaptação do prefácio do livro de Smith (1993) –, a saber: *Training* (treinamento), *Tool* (ferramenta), *Time* (tempo) e *Team* (equipe).

#### 1.4.1 TREINAMENTO

A primeira fase foi caracterizada, basicamente, pela atuação na área predeterminada objeto deste estudo, ou seja, a participação objetiva em estruturas de gerenciamento da manutenção em EAS. Essa experiência, que caracterizou grande parte do primeiro ano de pesquisas, forneceu os subsídios necessários à determinação do processo ao qual a manutenção dos EMH está submetida. Nesse sentido, pôde-se caracterizar *in loco* como se comporta uma estrutura de manutenção, a sua organização, os diversos elementos a ela ligados, como, por exemplo, o relacionamento entre setores e empresas terceirizadas, as dificuldades e considerações necessárias à programação e execução da manutenção, a importância da disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, a limitação de recursos nos diversos setores do hospital, entre muitos outros fatores intrínsecos à área da saúde. Entretanto, cabe ressaltar que as características identificadas nos ambientes estudados formam apenas parte da realidade do setor, o que exige a análise de aspectos genéricos encontrados na maioria dos EAS para a elaboração de uma metodologia consistente.

Paralelamente a essas atividades, realizou-se uma pesquisa bibliográfica para a contextualização dos rumos da investigação, tanto em obras nacionais como nas internacionais, nos setores industriais e de saúde. Ainda, a participação no XIII Congresso Brasileiro de Manutenção, realizado em Salvador, BA, em setembro de 1998, constituiu-se numa preciosa experiência pela constatação da realidade da manutenção no setor industrial do país, assim como a apresentação de trabalho técnico nesse evento possibilitou mostrar a situação da manutenção dos hospitais de Florianópolis.

A partir dos estudos, experiências preliminares e da participação no V Seminário Brasileiro de Manutenção Preditiva e Inspeção de Equipamentos, realizado em São Paulo no ano de 1999, sentiu-se a necessidade de reorientar o trabalho, ou seja, o título do trabalho e a proposta inicial deveriam ser alterados (*Procedimentos de Manutenção Preditiva para Equipamentos Eletromédicos*), embora se mantivesse a idéia original, de oferecer alternativas de estratégias de manutenção mais eficientes, seguras e correntes com a otimização dos custos de manutenção na área da saúde.

#### 1.4.2 FERRAMENTA

Diante da constatação da existência de uma alternativa mais viável e aplicável a EAS, a MCC a EMH, tornou-se necessário um novo norteamento das pesquisas, com vistas, agora, ao conhecimento e incorporação dessa metodologia a tais ambientes.

Tal metodologia, que possui um histórico relativamente recente de aplicações, pouco mais de dez anos, segundo Brauer apud Fleming (2000), e ainda é pouco conhecida, exigiu nova investigação bibliográfica, que culminou com a participação no III Seminário Brasileiro de Confiabilidade, realizado em maio de 2000 na cidade de São Paulo, onde se reuniram algumas das maiores autoridades do país e do mundo no assunto. O evento consolidou a necessidade e as possibilidades da aplicação da MCC a EAS.

#### 1.4.3 TEMPO

Escolhida a MCC como ferramenta para a gestão da manutenção de EMH em EAS, bem como sistematizado o conhecimento a respeito do tema, elaborou-se uma proposta de aplicação da metodologia, formalmente defendida e aceita em setembro de 2000 por ocasião da defesa de qualificação desta tese de doutorado, quando se conquistou a aprovação da banca examinadora para o prosseguimento dos trabalhos, ou seja, do tempo hábil necessário para a implementação do processo da MCC a EMH.

#### 1.4.4 EQUIPE

O processo da MCC, em sua essência, visa congrega as diversas óticas presentes no projeto, operação e manutenção de ativos físicos, tendo como característica marcante a multidisciplinaridade na abordagem da gestão desses itens. Com esse objetivo, a condução do trabalho foi marcada por duas fases: a inicial, de estudo e sistematização do conhecimento, e outra de sensibilização, formação e envolvimento da equipe de engenharia clínica do Instituto de Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Santa Catarina (IEB-UFSC).

A metodologia empregada no desenvolvimento desta tese de doutorado, no que se refere à sistemática de aplicação da MCC, é mais bem discutida e pormenorizada nos capítulos 3 e 4 deste trabalho.

### **1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Os capítulos subseqüentes a este representam a lógica investigativa empregada e o rastreamento das ações desenvolvidas neste trabalho, os quais são organizados da seguinte forma: no Capítulo 2 – Estado da Arte, é apresentado todo o referencial teórico necessário à contextualização da manutenção, por meio da caracterização da sua evolução e tendências, e da manutenção no ambiente hospitalar, além do papel da engenharia clínica no desenvolvimento do processo de GTMH; ainda, sobre a aplicação do processo da MCC, dissertando-se acerca dos preceitos e conceitos associados à metodologia, propostos para o setor industrial por autores, reconhecidamente, de renome global.

No Capítulo 3 – Proposta de Aplicação de MCC a EMH – Metodologia Desenvolvida, com base nos requisitos caracterizados no capítulo 2, discorre-se, de forma lógica e estruturada, sobre a sistemática de aplicação da MCC a EMH segundo a sua caracterização em fases distintas e as suas respectivas etapas constituintes.

A caracterização da sistemática da implementação da MCC em EMH, estabelecida no Capítulo 3 e fundamentada nos preceitos gerais da manutenção e da MCC discutidos ao longo do Capítulo 2, permitiu a condução de estudos-piloto com a incorporação gradual de mecanismos para a análise do item. Em conseqüência, no Capítulo 4 – Aplicação da Metodologia Desenvolvida, são abordados os aspectos pertinentes à aplicação da MCC a três estudo de casos.

Finalmente, nos Capítulos 5 e 6 – Discussão e Conclusões; Proposta de Trabalhos Futuros, respectivamente, é realizada uma análise crítica da metodologia, seus resultados e suas contribuições à área da saúde e à manutenção.

## 2. ESTADO DA ARTE

O objetivo deste capítulo é estabelecer o referencial teórico necessário à caracterização das realidades da manutenção nos setores industriais e da saúde tanto no Brasil quanto fora dele. Por meio da investigação bibliográfica desenvolvida ao longo desta primeira fase do trabalho, pretende-se evidenciar as diferenças e o distanciamento existente entre essas áreas.

Visa-se, ainda, nesta parte do estudo, aproximar as inovações das políticas, estratégias e metodologias de manutenção grandemente consagradas na indústria à área da saúde, em razão, sobretudo, da necessidade de sobrevivência imposta pelo mercado globalizado, no qual empresas ineficientes em qualquer de seus setores estão fadadas, inevitavelmente, ao colapso de suas atividades. Porém, apesar do alto nível tecnológico e científico empregado na indústria e de o setor de manutenção ser uma das principais fontes de diferenciação de qualidade e competitividade, no setor da saúde a gestão da manutenção ainda é encarada como uma fonte inesgotável de gastos, “um mal necessário”, executado, geralmente, por um indivíduo maltratado, sujo de graxa e de conhecimentos limitados.

É esse panorama que, infelizmente, ainda é encontrado na maior parte dos hospitais em países em desenvolvimento, e o Brasil não é exceção à regra. Nesse sentido, o Ministério da Saúde brasileiro reconhece que, na maioria dos hospitais brasileiros, os serviços de manutenção não são reconhecidos como sendo de vital importância (SAÚDE, 2000). Entretanto, essa realidade vem mudando, não com a velocidade e a amplitude consideradas ideais, mas com avanços constantes. Tal mudança coincide, e não poderia ser diferente, com o surgimento da engenharia biomédica no país, mais especificamente, da engenharia clínica – EC, que é um ramo da engenharia biomédica especializado em aspectos de engenharia e tecnologia, atuando diretamente no enfrentamento dos problemas que surgem seja quanto ao fornecimento dos serviços da saúde, seja quanto a instituições ou sistemas que suprem essas necessidades (ASEE, 1978).

Outra definição dessa subárea da engenharia é fornecida por Bauld (1991), o qual considera que a engenharia clínica deve promover e apoiar a segurança do paciente através de conhecimentos de engenharia e da administração da tecnologia existente nos hospitais. Por essa razão, o horizonte de atuação do engenheiro clínico é bastante amplo e inclui tanto os equipamentos como os projetos de sistemas para solucionar problemas em todos os ambientes onde esse tipo de tecnologia é encontrada, genericamente chamados “estabelecimentos assistenciais de saúde”.

O surgimento da engenharia clínica deu-se no final da década de 1960 e início da de 1970, nos Estados Unidos e Canadá, pela necessidade de garantir uma maior segurança, de manter as condições operacionais dos equipamentos e seu desempenho, bem como de instalações. Evoluindo rapidamente para outras atividades, passou a agir sobre todas as fases do ciclo de vida útil do equipamento. Segundo Panerai et al., o ciclo de vida de uma tecnologia médico-hospitalar pode ser dividido em cinco etapas, denominadas: inovação, difusão, incorporação, utilização e obsolescência (PANERAI et al. apud ALBORNOZ, 2000).

Por outro lado, além dos fatores de segurança e desempenho dos equipamentos, no Brasil justificou-se a adesão à EC sobretudo pelo fator custo da tecnologia provocado pela falta de gerenciamento, conforme apresenta a Organização Panamericana de Saúde. Isso porque, como se não bastasse a escassez de recursos na área da saúde em países em desenvolvimento para aquisição da tecnologia disponível, o índice de indisponibilidade dos que existem varia de 30% a 96% nas instituições em virtude do não-planejamento da infraestrutura necessária à sua instalação e utilização, ou da falta de preparo de operadores e mantenedores para operação e suporte dos mesmos (CARPIO & FLORES, 1998).

As atividades do profissional de engenharia clínica são bastante amplas e diversificadas, atuando em todas as fases, desde a especificação da tecnologia, com base na relação custo/benefício e técnico/estratégica, passando pelo recebimento, instalação, treinamento de usuários e mantenedores, até o fim do ciclo de vida útil do equipamento e posterior descarte em razão de sua obsolescência ou inviabilidade técnica. Atualmente, esse processo é

mundialmente conhecido como GTMH. Destaca-se que o engenheiro clínico é responsável por desenvolver o processo contínuo de educação de operadores e mantenedores com o fim de controlar padrões de segurança e manter as condições operacionais dos equipamentos, minimizando ou eliminando as condições de risco para pacientes e/ou operadores (ASEE, 1978).

Beskow (2001) afirma que este perfil tem servido internacionalmente como interface entre os diferentes elementos envolvidos no processo de GTMH, qualificando-o em muito, tanto em aspectos técnicos (funcionalidade, segurança, manutenibilidade, operacionalidade e confiabilidade) quanto em aspectos gerenciais (relacionados à organização dos serviços, à otimização no dispêndio e à gestão pessoal). Tais aspectos são naturalmente potencializados com a incorporação de metodologias adequadas de gestão da manutenção de EMH. Nesse cenário, a MCC, propõe, por meio dos seus preceitos, uma metodologia que atende de maneira lógica e estruturada a esta necessidade, como forma de qualificação do processo de GTMH.

A disponibilidade e a confiabilidade de equipamentos, sistemas e processos dependem da correta realização de cada fase do processo de GTMH, o qual deve, invariavelmente, tomar as características contextuais do ambiente hospitalar onde é desenvolvido como elementos balizadores das suas atividades. Uma vez reconhecidas essas necessidades, a MCC pode oferecer uma valiosa contribuição ao processo e à EC como um todo.

## **2.1            MANUTENÇÃO**

### **2.1.1        PROCESSO EVOLUTIVO**

A função manutenção, em tempos de intensa competição e de sobrevivência entre mercados globalizados internos e externos, vem recebendo especial atenção dos mais diversos setores de atuação de uma empresa, especialmente a partir das últimas décadas do século passado, alcançando praticamente todos os níveis hierárquicos. Isso ocorre em razão da necessidade

fundamental de controle de custos operacionais, dos quais os de manutenção fazem parte e representam um dos grandes componentes de custos controláveis (FLEMING & FRANÇA, 1997) (PARDUE apud GOUWS & GOUWS, 1997).

Entretanto, a manutenção não é um conceito novo; ela acompanha toda a história da evolução de equipamentos, desde o desenvolvimento das primeiras máquinas a vapor até a evolução dos itens físicos.

O termo *manutenção*, segundo MONCHY, tem origem no âmbito militar, no qual significa “manter” níveis constantes de efetivo e provisões, passando a ser aplicado na indústria apenas no período pós-Segunda Guerra Mundial (1950) nos Estados Unidos (MONCHY apud WYREBSKI, 1997). Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, resumidamente, *manutenção* é “a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida” (ABNT, 1994).

Monchy define manutenção como “o conjunto de ações que permitam manter ou restabelecer um bem dentro de um estado específico para assegurar um serviço determinado”.

Moubray atribui à manutenção a função de “assegurar que os itens físicos continuem a fazer o que os seus usuários querem que eles façam”. Essa mudança de enfoque proposta, de atenção não ao item mas à função que ele possui, representa a ruptura de um paradigma da manutenção, o qual será amplamente discutido no Capítulo 3 deste trabalho.

Com base na definição proposta por Moubray, considerações podem ser feitas com relação aos principais termos da definição que nortearão este trabalho. Segundo o dicionário Aurélio, *manter* significa “[...] conservar, sustentar, continuar em um estado existente”; *manter* contém a noção de prevenção das funções de um sistema em funcionamento; *restabelecer* significa a correção da função de um item ou sistema consecutiva à perda de função, e *estado específico* implica conhecimento das funções esperadas (WYREBSKI, 1997).

Moubray (1997) relata que o processo de gerenciamento da manutenção sofreu importantes transformações em seus métodos no decorrer de sua evolução, principalmente nos últimos vinte e cinco anos, talvez mais do que qualquer outra atividade de gerenciamento (MOUBRAY, 1997). As mudanças

ocorridas nesse período, seja pelo crescimento das expectativas de manutenção, seja pelas mudanças de visão sobre o modo de ocorrência das falhas ou das técnicas de manutenção, podem ser caracterizadas por três gerações distintas, todas, como sempre, fruto da necessidade de racionalização e otimização imposta por períodos de crise (ARCURI FILHO, 1996).

Dunn (1998), por sua vez, considera, além dessas, uma quarta geração da manutenção, caracterizada por uma visão mais holística dos recursos. Segundo o autor, ainda que baseada nas três gerações anteriores, a quarta geração integrará todas as ferramentas de projeto e de manutenção, preconizando os seguintes aspectos (DUNN, 1998):

- uma abordagem formal para a taxa de risco, particularmente em níveis mais altos da organização, a qual trata dos projetos de equipamentos e estratégias de manutenção;
- princípios da MCC e Manutenção Produtiva Total (*Total Productive Maintenance* – TPM) enfocando uma maior integração entre as exigências funcionais, projeto dos equipamentos e da manutenção;
- fatores humanos, aplicados à operação e à manutenção do equipamento;
- maior uso de tecnologias de informação para detectar, prever e diagnosticar as falhas dos equipamentos.

#### **2.1.1.1 Primeira Geração**

A primeira geração da manutenção, assim como o maquinário, teve início com a construção das primeiras máquinas têxteis, por volta do século XVI (ARIZA, 1989), perdurando até a Segunda Guerra Mundial. A indústria, nesse período, caracterizava-se como pouco mecanizada, os equipamentos eram simples e de fácil conserto, além de o volume de produção não ser prioritário, em razão da conjuntura econômica da época (KARDEC & NASCIF, 1999).

Nesse contexto, as condições eram propícias para a adoção da forma mais elementar de manutenção, a manutenção não-planejada, caracterizada pela atuação somente após a ocorrência da falha, ou seja, manutenção corretiva (MC).

### **2.1.1.2 Segunda Geração**

O período pós-guerra trouxe consigo a segunda geração da manutenção. Nessa fase, a tolerância com atrasos diminuiu e a exigência de produtividade aumentou, em razão, sobretudo, das pressões originadas da guerra (MOUBRAY, 1997). Como conseqüência, houve um forte aumento da mecanização das indústrias e os equipamentos, de simples e robustos, passaram a complicados, exigindo uma metodologia de manutenção mais apurada (LUCATELLI, 1998).

Então, começou a evidenciar-se a necessidade de maior disponibilidade, bem como de maior confiabilidade, a fim de se garantir maior produtividade (KARDEC & NASCIF, 1999). Nesse cenário, idealizou-se a idéia de que as falhas poderiam e deveriam se prevenidas, o que resultou no conceito da manutenção preventiva (MP), caracterizada pela substituição sistemática de itens com base em intervalos ou ciclos predeterminados (LUCATELLI, 1998).

### **2.1.1.3 Terceira Geração**

A terceira geração da manutenção teve seu início na década de 1970, alavancada pelo processo de mudanças ocorrido nessa época nas indústrias. Segundo Moubray (1997), tais transformações podem ser classificadas em três áreas principais, quais sejam: a expectativa de crescimento da função manutenção; o melhor entendimento do modo como o equipamento falha e o aumento da gama de técnicas e ferramentas de gerenciamento da manutenção (DUNN, 1998). Essa inevitável evolução deu-se sobretudo pelas novas exigências de mercado, que determinaram, em virtude da globalização e da concorrência internacional, a necessidade de redução de custos operacionais.

Ainda nessa época, a adoção da sistemática *just in time* tornou-se uma tendência mundial, trazendo a idéia de que mesmo pequenas pausas de produção poderiam comprometer o atendimento da demanda em razão dos baixos estoques mantidos (KARDEC & NASCIF, 1999). Outros fatos que contribuíram para tal evolução foram o fenômeno da automação das indústrias e o

advento da informática, tornando-as extremamente complexas e, por conseqüência, transformando a confiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos em pontos-chave em setores tão distintos como o são a saúde, as telecomunicações e o gerenciamento de edificações (KARDEC & NASCIF, 1999).

A geração atual é, ainda, o berço das maiores contribuições relacionadas às metodologias de gestão da manutenção, abrangendo desde o surgimento das primeiras técnicas de monitorização da condição (manutenção preditiva – MPd), como aprimoramento da MP no princípio desta fase; a utilização de ferramentas de auxílio à decisão e a análise de risco; o surgimento do método de análise dos modos de falha e seus efeitos (*Failure Modes and Effects Analysis* – FMEA) e de sistemas especialistas; a maior atenção na fase de projeto a aspectos de confiabilidade e manutenibilidade, até a criação de grupos de trabalho multidisciplinares, com o envolvimento de todos os níveis hierárquicos da companhia, para o estabelecimento de metodologias mais eficientes no gerenciamento de ativos, tais como a TPM e a MCC (MOUBRAY, 1997).

A Figura 2.1 ilustra graficamente a evolução das três gerações da manutenção, relacionando a cada uma o período compreendido, bem como os três aspectos da manutenção que mais sofreram transformações ao longo de sua história, segundo Moubray (1997): as expectativas em relação à manutenção, a percepção das falhas do equipamento e as técnicas de manutenção disponíveis.

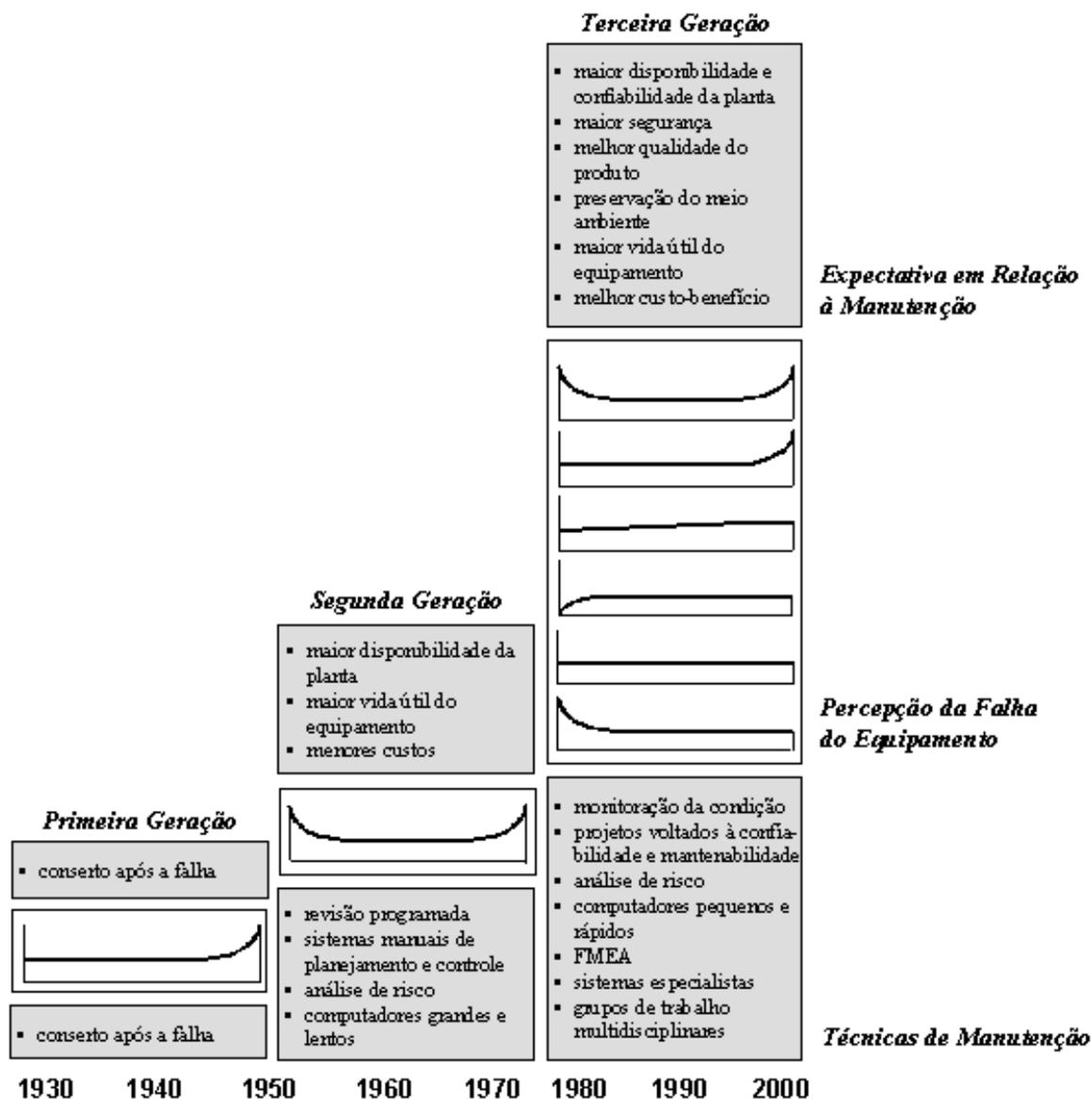


Figura 2.1: Evolução das três gerações da manutenção e seus períodos e as áreas com maiores transformações: expectativas em relação à manutenção, percepção das falhas do equipamento e técnicas de manutenção (MOUBRAY, 1997).

### 2.1.2 POLÍTICAS/TIPOS DE MANUTENÇÃO

A manutenção, como já dito anteriormente, existiu ao longo de toda a história da humanidade, desde que a primeira ação foi realizada por algum ancestral ao visar conservar alguma coisa. Porém, a manutenção evoluiu,

aproximando-se mais dos conceitos atuais a partir da construção das primeiras máquinas têxteis no século XVI, o que perdurou até o começo da década de 1900, quando, novamente, teve de incorporar novas exigências, caracterizando-se pelos conceitos utilizados atualmente. Desse modo, pode-se dizer que a manutenção “como manutenção” é utilizada há cem anos, aproximadamente, período que concentra suas maiores mudanças evolutivas, caracterizadas pela criação das políticas de manutenção<sup>5</sup> tradicionais, a saber, corretiva, preventiva e preditiva.

Em relação à classificação dos tipos de manutenção, há uma absoluta discordância entre os diversos autores, em que pese a grande variedade terminológica atual. Por isso, a seguir, citam-se os principais autores e as suas respectivas classificações.

Moubray (1998a) acrescenta, mais recentemente, às políticas de manutenção tradicionais já citadas a manutenção detectiva (MD), não consensada como um novo tipo manutenção, mas já estabelecida na área industrial, embora pouco conhecida no setor hospitalar.

Já Vizzoni (1998) e Smith (1993) agrupam todas as atividades de manutenção em duas grandes categorias – manutenção corretiva e preventiva –, enquadrando a MPd e a MD como técnicas do escopo da MP. Ainda segundo esta divisão, Carpio et al. (1999) subdividem a MP em duas subcategorias de manutenção – manutenção preventiva sistemática (caracteriza a MP tradicional) e manutenção preventiva condicional (equivalente a MPd) (CARPIO et al., 1999).

Segundo Kardec & Nascif (1999), a correta caracterização dos diversos tipos de manutenção passa por seis diferentes tipos de manutenção – MC não-planejada, MC planejada, MP, MPd, MD e engenharia de manutenção. Os autores ressaltam ainda que os diferentes tipos de manutenção podem ser considerados “políticas” desde que sua aplicação seja resultado de uma definição gerencial (KARDEC & NASCIF, 1999).

---

<sup>5</sup> Segundo a ABNT, Política de Manutenção é a “descrição das inter-relações entre os escalões de manutenção, os níveis de intervenção e os níveis de manutenção a serem aplicados para a manutenção de um item”.

Escalão da Manutenção: “A posição, dentro de uma organização, onde níveis de manutenção especificados são efetuados em um item”.

Nível de Interação: “A subdivisão de um item sobre a qual são realizadas as ações de manutenção”.

Por fim, a grande variedade de denominações atribuídas à atuação da manutenção está reunida e dissecada na obra *Dicionário de termos de manutenção, confiabilidade e qualidade*, de Branco Filho (2000). Em tese, no desenvolvimento deste trabalho, foram utilizados os preceitos das políticas de manutenção tradicionais, dissertadas em seqüência, somadas à MD proposta por Moubray para a aplicação da MCC e apresentada no Item 2.3.4.4 deste trabalho.

### **2.1.2.1 Manutenção Corretiva**

Dentre as políticas tradicionais, a manutenção corretiva – MC – é a mais antiga e a mais utilizada, sendo empregada em qualquer empresa que possua itens físicos, seja qual for o nível de planejamento da manutenção. É caracterizada, basicamente, por ações reativas (curativas), não planejadas ou de emergência, exigidas para a restauração de um item a uma condição determinada (SMITH, 1993).

A MC teve seu surgimento no início da década de 1910, impulsionada pelo início da Primeira Guerra Mundial e pela Revolução Industrial imposta por Ford em 1913 (TAVARES, 1996). Na época, apresentou-se como a solução para a maioria dos problemas existentes visto que se utilizavam máquinas robustas e simples, suficientes para atender à exigência de baixa demanda de produção. Contudo, as mudanças de necessidades impostas pelo mercado demandaram o aprimoramento dessa política em meados de 1950, se bem que a manutenção corretiva sempre continuasse presente, como uma prática intrínseca à conservação de itens.

Segundo Dunn (1997) e Moubray (1997), MC é qualquer atividade de manutenção que exija a correção de uma falha ocorrida ou que esteja em processo de ocorrência. Esta atividade pode consistir em reparo, restauração ou substituição de componentes.

A MC, assim como as demais políticas tradicionais de manutenção, é vastamente tratada na literatura pelos diversos autores da área (BRANCO FILHO, 2000; XAVIER, 2000; KARDEC & NASCIF, 1999; PINTO, 1998; VIZZONI,

---

Nível de Manutenção: “Conjunto de ações de manutenção a serem efetuadas em um nível de intervenção especificado” (ABNT, 1994).

1998; GERAGHETY, 1996; MIRSHAWA, 1989). Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – MC é “manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida” (ABNT, 1994).

A vantagem oferecida pela MC é a não-exigência de planejamento, enquanto estratégia (embora até mesmo para a MC seja necessário um certo nível de planejamento, quanto a ferramental, manuais, peças de reposição e técnicos treinados) para a execução das tarefas. Resulta, porém, num grande estoque de peças sobressalentes, em insegurança e paradas caras, inconvenientes e demoradas, além do desconhecimento do estado técnico do sistema (GOUWS & GOUWS, 1997).

### **2.1.2.2 Manutenção Preventiva**

As incertezas e transtornos causados pela adoção unicamente da MC foram aumentando gradativamente na indústria no início do século passado, o que culminou na necessidade de se ter uma planta mais confiável, que atendesse à demanda criada pela Segunda Guerra Mundial. As indústrias, nesses tempos, incorporavam maiores riscos; os equipamentos e máquinas tornaram-se mais complicados e de difícil restauração e as indisponibilidades constantes originadas pela MC não eram mais toleradas.

Desse modo, por volta de 1950, a indústria de aço alemã, incentivada e pressionada pela guerra, passou a entender que a falha poderia e deveria ser prevenida, ou seja, considerou-se que todos os itens possuem um tempo-limite de vida, exigindo revisões/restaurações programadas preventivas. Desde então, a revisão de itens passou a ser baseada em estatísticas de histórico de falhas e experiência de mantenedores, sendo realizada em intervalos fixos de tempo ou ciclos transcorridos pelo item ou sistema. A essa política chamou-se “manutenção preventiva” – MP – ou “manutenção baseada em intervalo/tempo” (GERAGHETY, 1996).

Na MP o mais importante elemento de análise é o tempo médio entre falhas, ou MTBF – do inglês *Mean (Medium) Time Between Failure* –, obtido por meio da análise do histórico de reparos, determinando o período de realização

da MP (CRUZ & PÉREZ, 2001; TAVARES, 2001; XAVIER, 2001; DE ROCCO, 1998; COHEN et al., 1995; MIRSHAWA, 1989). O Anexo 5 apresenta as expressões utilizadas pelo cálculo do MTBF.

Outra forma de determinação do MTBF é pela aplicação do *overhaul*, ou seja, o uso monitorado do equipamento até sua exaustão; ou, ainda, pela realização de ensaios destrutivos (técnica que exige laboratórios de teste especializados). Um exemplo dessa prática é a Empresa Brasileira de Aeronáutica – Embraer –, a qual realiza ensaios destrutivos em todos os itens de segurança do avião (MATA FILHO et al., 1998; CHAGAS, 1997).

A ABNT define MP como “manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item” (ABNT, 1994). Diversas outras definições são discutidas nas obras dos seguintes autores: Hiraiwa (2001); Branco Filho (2000); Xavier (2000); Kardec & Nascif (1999); De Rocco (1998); Pinto (1998); Vizzoni (1998); Dunn (1997); Moubray (1997); Geraghty (1996); Smith (1993); Mirshawa (1989).

Para a substituição de itens degradados em frequências predeterminadas, deve-se estabelecer a programação de ações prévias que garantam a realização dessas atividades com os equipamentos e itens certos e no tempo certo. Desse modo, o primeiro passo para o estabelecimento de um programa de MP é o cadastramento dos equipamentos da organização, o qual deve conter as informações necessárias à sua localização, identificação, regime de operação e tempo de utilização. Após o inventário dos equipamentos, define-se a priorização desses, objetivando-se maior eficiência e otimização dos recursos disponíveis.

Para os equipamentos envolvidos inicialmente no programa, vários preparativos devem ser observados (LUCATELLI, 1998):

- manual de procedimentos, contendo, detalhadamente, para cada equipamento, os procedimentos a serem realizados, como inspeção visual, limpeza, lubrificação, testes funcionais e de segurança, ferramentas e material de consumo utilizados, etc.;
- programação de peças sobressalentes;
- frequência de realização das inspeções;

- dimensionamento da equipe técnica;
- manutenção de rotina;
- registro de atividades.

A correta implantação de programas de MP resulta em benefícios difíceis de serem alcançados por programas essencialmente corretivos, tais como (RAMÍREZ et al., 2002):

- redução de estoques de sobressalentes e, por consequência, dos custos de estocagem;
- redução de falhas de grande escala (catastróficas) e dos riscos de acidentes de serviço;
- redução do número de paradas não-programadas;
- procedimentos simples (lubrificação, ajustes verificações visuais).

Em contrapartida, aspectos não-favoráveis da MP também são originados (GOUWS & GOUWS, 1997):

- necessidade de um histórico de falhas extenso e, ao mesmo tempo, confiável;
- possibilidade de falhas de manutenção induzidas;
- manutenção excessiva para componentes com taxas de falhas muito mais baixas que a frequência da MP;
- necessidade de paradas para a realização das atividades.

### **2.1.2.3 Manutenção Preditiva**

As políticas de manutenção corretiva e preventiva tiveram um longo período de reinado absoluto no setor industrial por não dependerem de uma alta complexidade tecnológica de suporte para suas ações. No início da década de 1980, com um maior aperfeiçoamento da informática, motivado pela corrida espacial, foram sendo criadas ferramentas computacionais e novas tecnologias que permitiam o deslocamento (portáteis) e uma capacidade de processamento cada vez maior (velocidade). Tais condições, somadas à insatisfação geral da

indústria com os programas de manutenção preventiva e ao estudo desenvolvido por Nowlan e Heap – que, ao final, surpreenderam com duas importantes constatações (GERAGHETY, 1996), conforme mostrado a seguir – conduziram à busca de novas alternativas.

- (i) *Revisões programadas têm pouco efeito na confiabilidade total de um equipamento complexo, a menos que exista um modo de falha dominante.*
- (ii) *Existem muitos equipamentos, para os quais não há forma efetiva de manutenção programada.*

Esse contexto originou o surgimento da Manutenção Preditiva<sup>6</sup> – MPd, que é baseada na monitoração dos “sinais vitais” do item, ou seja, por meio de um conjunto de atividades sistemáticas, promover-se o acompanhamento das variáveis ou parâmetros que indicam o desempenho dos equipamentos, visando, dessa forma, definir a necessidade ou não de intervenção (XAVIER, 2000; BRANCO FILHO, 2000).

Tais inspeções podem ser variadas, considerando desde a leitura visual de instrumentos do próprio item até a aplicação de métodos e técnicas mais apurados de investigação disponíveis, tais como estudo de vibrações, análise de óleo, análise de estudo de superfícies, análises estruturais de peças, análise termodinâmica, entre outras (DUNN, 1997).

A MPd, ou Manutenção Baseada na Condição, como é mais conhecida na Europa, visa, com base no monitoramento e coleta de dados, corrigir falhas potenciais antes da deterioração, quebra ou danos irreversíveis, por meio, primeiro, do estabelecimento do diagnóstico, detectando a irregularidade e quantificando a origem e a gravidade do defeito; segundo, pela análise de tendências, determinar os limites para a programação e execução dos reparos (NEPOMUCENO, 1989).

Conforme Dunn (1997), a condição do equipamento pode ser acompanhada usando-se a monitorização da condição, feita com equipamentos

---

<sup>6</sup> Segundo a ABNT, “Manutenção preditiva/controlada é a manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva” (ABNT, 1994).

especializados; técnicas de controle de processos estatísticos, pela monitorização do desempenho do equipamento, ou pelo uso do senso humano.

A MPd visa, fundamentalmente, solucionar velhas questões que acompanham a história da indústria, como: determinar antecipadamente a necessidade de manutenção, permitindo a programação das atividades; eliminar desmontagens desnecessárias; aumentar a vida útil e a disponibilidade dos equipamentos; reduzir as ações não-planejadas; impedir o aumento dos danos e aumentar a confiabilidade dos equipamentos (MOBLEY, 1998). Isso tudo resulta, em linhas gerais, em um melhor conhecimento, programação e planejamento da manutenção, na programação de estoques de peças, em tempos de manutenção otimizados e em condições do sistema mais constantes (GOUWS & GOUWS, 1997).

Essa política de manutenção, entretanto, apesar de sua inegável eficácia quando aplicada ao problema certo, do modo certo e na frequência certa, não pode ser aplicada a todo e qualquer item, possuindo também pontos desfavoráveis, como o de exigir um grande investimento de recursos inicial, tecnológicos ou humanos, como mão-de-obra qualificada e treinada, tanto para a coleta como para o tratamento do grande volume de dados disponível. Além disso, conforme citado por Moubrey, técnicas analíticas revelaram que, em sistemas industriais complexos, a monitoração da condição somente é possível para, aproximadamente, 20% dos modos de falhas existentes (MOUBRAY, 1998a).

A MPd é, entretanto, analisada por Moubrey (1997) de uma ótica diferenciada, a qual será tratada no item 2.3.4.3.

### 2.1.3 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO – Metodologias

O surgimento das políticas de manutenção tradicionais sempre foi marcado por muita expectativa e euforia de parte dos gerentes de manutenção, primeiramente, e, depois, dos presidentes das empresas. Como toda novidade divulgada, cada nova política prometia ser a salvação para os males da

manutenção, dos custos e da produção, renegando as já existentes como ultrapassadas e obsoletas.

Esse contexto de utilização de políticas da “moda” prejudicou o desenvolvimento de programas de manutenção eficientes e duradouros até meados da década de 1970, quando estudos mostraram, e têm mostrado, que não é possível uma solução única, genérica e que “nenhuma política de manutenção é intrinsecamente melhor que outra, tendo aplicações diferentes, sendo necessário, desta forma, a determinação do ponto ótimo de cada política, segundo as características de cada organização” (GERAGHETY, 1996).

Na busca da formulação de estratégias de manutenção tecnicamente mais viáveis e de melhor custo-benefício, foi da indústria que se originaram as duas metodologias de manutenção mais utilizadas em todo o mundo e com maior sucesso, a Manutenção Produtiva Total e a Manutenção Centrada em Confiabilidade, apresentadas e discutidas na seqüência.

### **2.1.3.1 Manutenção Produtiva Total**

A TPM é uma das metodologias mais modernas e mais utilizadas na indústria, sendo conhecida desde 1970 (KARDEC & NASCIF, 1999). Ela teve seus princípios desenvolvidos nos Estados Unidos, porém obteve reconhecimento mundial após o aprimoramento e sistematização feitos no Japão pela divisão de manutenção da Nippon Denso (Toyota), que lhe agregou princípios conhecidos da MP, Manutenção do Sistema de Produção, incorporados à Prevenção da Manutenção e à engenharia de confiabilidade (TAVARES, 1996).

Esta metodologia propõe uma nova ótica para a manutenção, na qual a função *manter* é incorporada às atribuições do operador, aproveitando-se a sua habilidade e conhecimento para a preservação dos equipamentos, integridade das instalações e auxílio na manutenção, o que resulta, então, na sua nova denominação *operador-mantenedor* (GOUWS & GOUWS, 1997; WYREBSKI, 1997).

Fleming & França (1997) definem TPM como “um modo de vida no trabalho objetivando a eliminação das perdas crônicas e a identificação dos potenciais de falhas, por meio da manutenção autônoma e planejada” (GOUWS &

GOUWS, 1997). É definida também como “ações desenvolvidas conforme a filosofia da manutenção produtiva, buscando o ponto econômico de atuação por meio da participação de todos” (NAGAO, 2001).

Segundo Tavares, a TPM objetiva, fundamentalmente, a reformulação e a melhoria da estrutura empresarial por meio da reestruturação e melhoria das pessoas (por meio de treinamento) e dos equipamentos. Em relação aos equipamentos, significa promover a incorporação da filosofia de “Quebra Zero, Defeito Zero e Acidente Zero” (TAVARES, 1996).

Tais preceitos podem ser reforçados pela adoção de outras sistemáticas complementares. É o caso, por exemplo, da incorporação da Metodologia 5S (KARDEC & NASCIF, 1999; TAVARES, 1996) e da Inspeção Sensorial de Ronda (CHAVES & CAVALCANTI, 1998), as quais são fundamentadas e compatíveis com os princípios da TPM.

Geraghty acrescenta que a TPM encoraja a mudanças, tais como estruturas organizacionais mais horizontalizadas, operadores multihabilitados e avaliação das ações, não concebendo simplificações (GERAGHETY, 1996).

A TPM, ao longo da sua utilização, moldou-se às novas atribuições e designações impostas pelas necessidades do mercado, pela busca do avanço na automação industrial, melhoria da qualidade, maior competitividade e maior consciência quanto à preservação ambiental e conservação de energia. Nesse sentido, ao seu enfoque tradicional se incorporou o conceito que atualmente é utilizado e que representa as necessidades atuais, podendo, então, ser definida como a Manutenção da Produtividade Total, o que amplia a sua atenção, antes exclusiva da divisão de manutenção, para os demais setores da empresa (GOUWS & GOUWS, 1997).

A TPM é uma metodologia amplamente utilizada em todos os ramos da indústria, mesmo que possuam características e peculiaridades distintas. Todavia, a sua implementação é fundamentada em cinco ações de trabalho – para alguns autores oito (FLEMING, 2000) ou até dez ações básicas da TPM –, conhecidas como os cinco pilares de sustentação da TPM, os quais norteiam a filosofia da metodologia. São eles (HIPKIN & COCK, 2000; WYREBSKI, 1997):

- incorporação de melhorias que aumentem a eficiência do equipamento individualmente;

- elaboração e estruturação da manutenção autônoma;
- estruturação de um sistema de manutenção planejada para a manutenção;
- estruturação de um plano de treinamento multidisciplinar para operadores e mantenedores;
- implantação de um sistema de gerenciamento dos equipamentos.

A implantação dessas ações visa, genericamente, aumentar a eficiência global dos equipamentos e reduzir os custos operacionais pela eliminação das perdas crônicas como causa da sua ineficiência. A análise e a determinação das perdas, tradicionalmente, eram feitas por meio de estatísticas de desempenho do equipamento. Com a TPM, atua-se não só na correção do equipamento, mas também junto ao operador e na gestão desse equipamento, visando eliminar todas as perdas (KARDEC & NASCIF, 1999).

Segundo Nakajima, essas perdas podem ser classificadas, basicamente, em seis grandes classes, com variações que dependem das características da indústria, a saber: falha<sup>7</sup>/quebra<sup>8</sup>; preparação e regulagens/ajustes; operação em vazio e interrupções menores; redução de velocidade; defeitos de qualidade e retrabalho e, por fim, perdas no início da operação e por queda de rendimento (HIPKIN & COCK, 2000; FLEMING & FRANÇA, 1997).

A eliminação das perdas nos equipamentos e processos, a melhoria das condições operacionais, o aumento da disponibilidade e a redução de custos são resultados que podem ser atingidos pela implementação dessa metodologia para equipamentos. Além desses, há um ganho adicional agregado à participação de todos os envolvidos no processo e de difícil mensuração, porém identificado no aumento da autoconfiança, na maior atenção no trabalho, na melhoria do espírito de equipe, na diminuição de rotatividade de pessoal, na satisfação pelo reconhecimento, enfim, no melhoramento das condições de trabalho (NAGAO, 2001).

---

<sup>7</sup> Falha – Término da capacidade de um item desempenhar a função requerida (ABNT, 1994).

<sup>8</sup> Quebra – Na área da manutenção a falha que produz a indisponibilidade de um item (BRANCO FILHO, 2000).

### 2.1.3.2 Manutenção Centrada em Confiabilidade

A confiabilidade de equipamentos e sistemas é hoje uma das principais preocupações nos diversos setores da indústria por focalizar os riscos à segurança operacional, ao meio ambiente e a otimização dos recursos. Todavia, a confiabilidade só começou a gerar interesse, mesmo que indiretamente, a partir da abolição de políticas de manutenção puramente corretivas, em meados da década de 1950, com o surgimento da MP. Nessa época, as falhas eram caracterizadas pela curva da banheira (Padrão A, Figura 2.2), segundo a qual era necessário assegurar a confiabilidade por meio de revisões/restaurações. Essa concepção, levada ao extremo pela indústria aeronáutica americana, mostrou-se ineficiente e excessivamente dispendiosa (GERAGHETY, 1996).

No início da década de 1960, formou-se um grupo de estudos, o *Maintenance Steering Groups* – MSG (Grupo de Direcionamento da Manutenção), liderado por Nowlan e Heap, reunido pela Federal Aviation Administration – FAA, órgão americano responsável pela regulamentação das linhas aéreas, com o intuito de avaliar os métodos de manutenção utilizados e propor alternativas para o incremento da confiabilidade.

A alta taxa de “mortalidade infantil”, seguida de uma faixa de taxa de falha constante, finalizando com um aumento exponencial até o descarte, que representa a curva da banheira, foi considerada como padrão de representação da vida útil de equipamentos até o início da década de 1970. Então, verificou-se que cada vez mais equipamentos se caracterizavam por apresentarem modos de falhas distintos dos até então conhecidos (MATA FILHO et al., 1998)

A publicação dos resultados desse estudo ocorreu em 1967, a qual logo depois (1968) foi transformado em documento, o MSG 1, utilizado pela Boeing em seu programa de manutenção. O estudo foi, posteriormente, aperfeiçoado e também publicado dois anos mais tarde (1970), surgindo o MSG 2. O Departamento de Defesa Americano, após requerer um relato do estado da arte da manutenção na aviação a Stanley Nowlan e Howard Heap, passou também a utilizá-lo. Tal relatório foi publicado em 1978, intitulado *Reliability Centred Maintenance* – RCM (Manutenção Centrada em Confiabilidade – MCC), e ainda hoje é um dos mais importantes documentos de gestão de

equipamentos (MATA FILHO et al., 1998). Os autores, em seu relatório, assim expressam (GERAGHETY, 1996):

*No final dos anos 50, o tamanho das frotas comerciais de aeronaves tinha crescido ao ponto de existirem amplos dados para estudo e o custo das atividades de manutenção preventivas tinham se tornado suficientemente altos para garantir a pesquisa dos resultados reais das práticas, então existentes. Ao mesmo tempo, a autoridade federal americana (FAA) estava frustrada pelas experiências que mostravam que não era mais possível controlar a taxa de falha em classes de equipamentos não confiáveis, por quaisquer mudanças possíveis, tanto no conteúdo como na frequência das revisões programadas. Como resultado, em 1960, uma força tarefa foi formada, com representantes da FAA e das companhias aéreas, para investigar a capacidade da manutenção preventiva.*

Dentre os resultados alcançados pelo MSG, destacam-se dois como os mais importantes (SHERWIN, 1999) (GERAGHETY, 1996) (MATA FILHO et al., 1998):

- (i) *Revisões programadas têm pouco efeito na confiabilidade total de um equipamento complexo, a menos que exista um modo de falha dominante.*
- (ii) *Existem muitos equipamentos, para os quais não há forma efetiva de manutenção programada.*

Por fim, em 1993 foi publicada a última revisão, o MSG 3, que traz uma abordagem mais ampla de gestão dos itens, incorporando a terotecnologia (projetistas da área de manutenção atuando junto ao projeto, na definição da melhor localização, instalação, acesso e forma de mantê-lo) (MATA FILHO et al., 1998). O relatório de Nowlan e Heap e o MSG 3 formam a base para programas de MCC na indústria aeronáutica, como também para programas derivados, como o RCM 2, o mais utilizado nas diversas áreas da indústria (SIQUEIRA, 2000).

A MCC é uma metodologia utilizada para assegurar que qualquer item, sistema ou processo mantenha suas funções, controlando os riscos de segurança e integridade ambiental, a qualidade e a economia, por meio das políticas de manutenção existentes (JONES apud VIZZONI, 1998). Fleming (2000) define MCC como “uma consideração sistemática das funções do sistema, o modo como estas funções falham e um critério de priorização explícito baseado em fatores econômicos, operacionais e de segurança, para a identificação de tarefas de manutenção aplicáveis e custo/eficientes”.

Dessa definição podem ser extraídos os quatro objetivos principais e fundamentais que a MCC propõe, quais sejam (MOUBRAY, 1997) (FLEMING, 2000):

- preservação da função do sistema;
- identificação das falhas funcionais e aplicação da FMEA;
- classificação e priorização das falhas funcionais segundo suas conseqüências;
- elaboração das atividades de manutenção segundo a viabilidade técnica e o custo/benefício, utilizando um diagrama de decisão.

De modo semelhante, Smith considera que são quatro os objetivos da MCC (SMITH, 1993):

- preservação da função do sistema;
- identificação das falhas funcionais e de seus modos de falha;
- classificação e priorização das falhas funcionais analisando os modos de falha;
- seleção das atividades de manutenção preventiva segundo a viabilidade técnica e a eficiência, para a preservação das funções do sistema.

Outro paradigma levantado, questionado e derrubado mediante os estudos da MCC é o que convencionava que a maioria dos equipamentos se torna mais propensa a falhas à medida que envelhece. A manutenção tinha como único padrão de modo de falha a “curva da banheira”, na qual o envelhecimento e a “mortalidade infantil” eram bem caracterizados. Essa relação entre idade e falha que pode ser predita é aplicável a alguns modos de falha, nos quais a idade está associada à fadiga e à corrosão. A evolução dos equipamentos, entretanto, deu origem a novos padrões de modos de falha, como mostra a Figura 2.2 (SHERWIN, 1999; VIZZONI, 1998; DUNN, 1998; MOUBRAY, 1998a; SILVA, 1998).

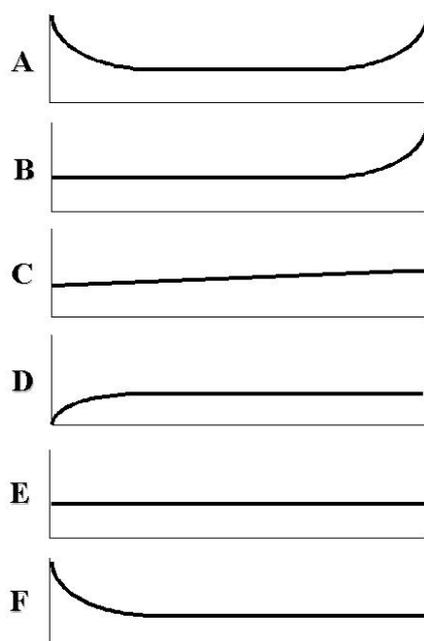


Figura 2.2: Tipos de padrões de modos de falhas. Nos gráficos é representada a taxa de falha (eixo Y), dos respectivos modos de falhas, no tempo (eixo X).

O padrão A é a conhecida “curva da banheira”; o padrão B está associado ao desgaste e à fadiga; o padrão C mostra um aumento gradual da probabilidade de falha sem idade definida de descarte; o padrão D mostra uma baixa probabilidade de falha inicial, com um rápido aumento até um nível constante, ao passo que o padrão E possui probabilidade de falha constante em todas as idades; por fim, o padrão F inicia com um alto índice de mortalidade infantil e decai a uma probabilidade de falha constante ou levemente crescente.

Estudos em aeronaves civis apontaram que 4% dos itens atuam conforme o modo de falha do padrão A; 2%, do B; 5%, do C; 7%, do D; 14%, do E e cerca de 68%, do padrão F. Quanto à natureza dos itens, os padrões A, B e C representam componentes mais simples, com modo de falha dominante simples (por exemplo, desgaste e fadiga); por sua vez, os padrões D, E e F descrevem os modos de falha de itens complexos, como sistemas de controle hidráulico, eletrônico e pneumático, os quais possuem características aleatórias (DUNN, 1998) (SILVA, 1998) (VIZZONI, 1998) (SMITH, 1993) .

A metodologia MCC, suas regras, critérios, políticas e enfoques serão discutidos em detalhes na seção 2.3 deste trabalho.

### 2.1.3.3 MCC X TPM

A implementação isolada das metodologias MCC e TPM no gerenciamento da manutenção nos diversos setores da produção de bens e serviços, bem como dos benefícios agregados às companhias, tem sido vastamente documentada na literatura nacional e internacional, como mostrado nos itens anteriores. Entretanto, apesar de os autores se fundamentarem em preceitos distintos e, após uma primeira análise, apresentarem aspectos incompatíveis ou dicotômicos, há uma linha que defende a utilização de ambas em um mesmo sistema produtivo (NAGAO, 2001; AZEVEDO, 2000; FLEMING, 2000). Conforme cita Geragheti, “a conclusão a que chegamos, aqui em nossa companhia, é que a MCC agrega valor às implementações da TPM num modo bastante específico” (GERAGHETY, 1996).

Azevedo acrescenta que as metodologias MCC e TPM, ao contrário do que a maioria dos autores propõe, são complementares. Segundo o autor, a MCC possui características de **pertinência** – determina *o que* deve ser feito e *por que* deve ser feito –; de outro modo, a TPM tem características de **logística** – determinando *como* deve ser feito (AZEVEDO, 2000).

A esse respeito Fleming comenta: “Em razão da realidade do mercado atual, o qual impõe um nível de competitividade tal que a sobrevivência das empresas depende de inovações criativas, a implantação conjunta da TPM e MCC pode proporcionar um salto inovador em qualidade e produtividade por conjugar, sem prejuízos, os benefícios de ambas” (FLEMING, 2000).

Considerando os argumentos ora expostos e com base no conhecimento sistemático adquirido na vivência e atuação em ambientes de assistência à saúde pelo autor desta tese de doutorado, relatados no item 2.2, optou-se pela aplicação da MCC como metodologia de gerenciamento da manutenção, considerando-se que proporcionaria melhores resultados, segundo suas características intrínsecas e o contexto em que seria empregada.

Para o autor deste trabalho, depõem a favor da assertiva de que a MCC é a metodologia mais adequada para a qualificação da gestão da

manutenção em EAS, considerando-se as duas metodologias estudadas, três argumentos principais:

- a necessidade incondicional que a TPM apresenta quanto à mudança de atribuições dos operadores de equipamentos, por meio de atividades de manutenção autônoma, transformando-os em operadores-mantenedores. Esta quebra de paradigma inviabiliza sua aplicação, pelo menos inicialmente, em razão da inegável rotatividade e da não-exclusividade de operadores de EMH;
- a exigência preceitual da TPM, que estabelece o equipamento como foco principal por meio da mobilização de todos os níveis e setores do hospital, embora se saiba que o principal objetivo das entidades de saúde é a assistência ao paciente, relegando-se o equipamento e o seu suporte a um segundo plano;
- a possibilidade de, com a aplicação da MCC, sistematizar o conhecimento na forma documental para o estabelecimento de um programa de MP para equipamentos que não possuem procedimentos de MP estabelecidos; a comparação e reavaliação de procedimentos de MP para os EMH que já os possuem; a necessidade de mobilização de pequenos grupos de trabalho, basicamente formados pelo pessoal de manutenção, além da implantação gradual de conceitos e preceitos de confiabilidade.

Por fim, com o intuito de ilustrar os aspectos avaliados no item 2.1, a Figura 2.3 mostra a evolução dos tipos de manutenção, relacionando os resultados alcançados e esperados (disponibilidade, redução de custos, aumento da segurança), como também as mudanças de expectativas provocadas pelo estabelecimento da quebra de paradigmas (KARDEC & NASCIF, 1999).

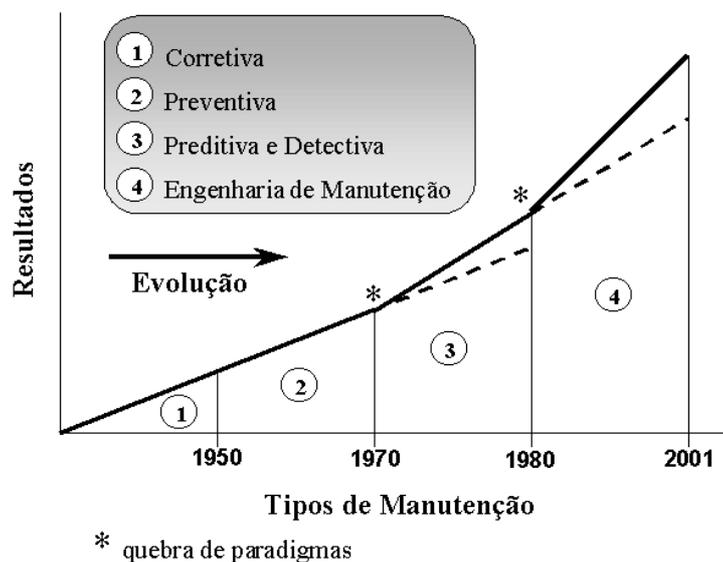


Figura 2.3: Evolução da manutenção segundo os resultados obtidos para cada tipo, adaptada de (KARDEC & NASCIF, 1999).

## 2.2 MANUTENÇÃO HOSPITALAR X ENGENHARIA CLÍNICA

Dos diversos setores da economia, o hospitalar é considerado um dos mais complexos se analisado sob diversos aspectos: arquitetônico, de instalações, equipamentos e do ponto de vista administrativo. Em razão das metas a que se propõe – assistir, tratar e reabilitar –, exige o estabelecimento de instalações, equipamentos e gestão específicos e ininterruptos; não havendo essa condição, podem ocorrer conseqüências graves ou até fatais.

Pentón & Martínez (2001) reforçam essa idéia ao afirmarem que, em EAS, a manutenção é peça-chave no aprimoramento da qualidade e atendimento dos serviços assistenciais oferecidos à comunidade, os quais serão afetados, por mais qualificados que sejam os profissionais da saúde, se não houver a garantia da funcionalidade de equipamentos e instalações.

A manutenção tem papel fundamental nesse contexto, como em qualquer outro que deseje manter a produção de bens ou serviços, equipamentos, máquinas e instalações, sempre sujeitos à limitação da vida útil de itens. Fazem-se, pois, necessários o seu planejamento, sistematização, eficácia e competência

(KARMAN, 1994). Pentón & Martínez destacam como peculiaridade ímpar dos hospitais em relação ao processo produtivo, o tratamento e assistência a vidas humanas, exigindo, pois, um alto nível de qualificação no processo de gestão da manutenção (PENTÓN & MARTÍNEZ, 2001).

A manutenção planejada de equipamentos e instalações médico-hospitalares é, em muito, baseada em padrões e normas da área industrial, tendo-se sempre por premissa que a manutenção não é o objetivo primeiro, mas, sim, a disponibilidade do equipamento, que se utiliza da manutenção como um meio para alcançar tal objetivo (CARPIO & FLORES, 1998).

Segundo Lamberti et al. (1997), o maior problema de países em desenvolvimento, no que tange à tecnologia médico-assistencial, não é a sua escassez, mas a sua indisponibilidade, que varia entre 50-75% da tecnologia existente. Isso se deve à falta de infra-estrutura adequada para instalações (não atendendo aos requisitos do equipamento), falta de orientação de operadores ou danos não solucionados por falta de peças, documentação técnica ou preparo técnico.

Nos últimos vinte anos, a Organização Mundial da Saúde (World Health Organization – WHO) tem feito muitos esforços para compensar essa utilização inadequada de recursos, investindo no treinamento de técnicos em manutenção e, em menor grau, na educação de engenheiros (LAMBERTI et al., 1997).

Já as investigações em nível latino-americano indicam, segundo a OPAS, que, dos equipamentos existentes, o percentual de indisponibilidade por falta de algum aspecto referente ao gerenciamento oscila entre 30% e um intolerável teto de 96%, dependendo do tipo, especialidade, complexidade e fonte de financiamento do hospital (CARPIO & FLORES, 1998).

Os pesquisadores citados descrevem a situação da tecnologia em EAS da Argentina, apontando que 68% dos equipamentos estão indisponíveis, dos quais 8% se devem a falhas normais; 9% a instalações inadequadas; 12% a falhas catastróficas<sup>9</sup> e, como a principal causa, ao uso inadequado, respondendo por 71% da indisponibilidade de equipamentos médico-assistenciais (EMA).

---

<sup>9</sup> Falha repentina que resulta na incapacidade completa de um item desempenhar todas as funções dele requeridas (ABNT, 1994).

Além dos altos índices de indisponibilidade, a área da saúde diferencia-se da indústria pelo considerável atraso na implementação de inovações técnicas e administrativas relacionadas à manutenção. Ancellin (1999) reforça essa idéia em seu resumo ao classificar as políticas de manutenção de equipamentos médicos em apenas dois grupos: *manutenção curativa* – no caso de uma falha do equipamento – e *manutenção preventiva* – cuja atuação é determinada por intervalos constantes ou quando um dado parâmetro ultrapassa um limite especificado (ANCELLIN, 1999).

### 2.2.1 PRIMEIRA FASE – Manutenção Corretiva

Sem dúvida, a política de manutenção predominante em qualquer EAS é a corretiva, utilizada em todos esses ambientes e, na grande maioria das vezes, a única empregada. Essa é a realidade encontrada em países em desenvolvimento, onde a preocupação é restaurar o equipamento, não importando a verificação de sua funcionalidade e segurança (CARPIO & FLORES, 1998).

Do mesmo modo, uma pesquisa realizada pela Associação Brasileira de Manutenção – Abraman, envolvendo vinte setores da indústria brasileira, dentre eles o hospitalar, indicou a supremacia da MC. Segundo a Abraman, através do documento intitulado *A situação da manutenção no Brasil*, publicado em 2001, por ocasião do XVI Congresso Brasileiro de Manutenção e XI Congresso Ibero-Americano de Manutenção, a MC representa 27,92% dos recursos de hospitais privados aplicados na manutenção.

Cabe ressaltar, entretanto, que o índice apresentado não retrata a realidade encontrada na grande maioria dos hospitais brasileiros, os quais não possuem um sistema de controle de custos ou de gerenciamento de manutenção, o que, certamente, elevaria esse índice a patamares superiores aos publicados pela Abraman. Ilustrativamente, Lucatelli & Garcia (1997) estimaram o percentual de MC realizada no Hospital Universitário da Universidade Federal de

---

Florianópolis em, aproximadamente, 90% dos recursos aplicados em manutenção.

Mesmo em países desenvolvidos, onde a formação e a qualificação dos profissionais de EC e os recursos disponíveis, tanto de infra-estrutura como tecnológicos, não representam fatores que dificultam o gerenciamento da tecnologia, o índice de atividades de manutenção corretiva por técnicos em equipamentos médico-assistenciais representa 66,67% das horas trabalhadas na sua manutenção (LAMBERTI et al., 1997).

### 2.2.2 SEGUNDA FASE – Manutenção Preventiva Tradicional

A aplicação da MP em EMH (realizada apenas em equipamentos como caldeiras e ar condicionado) teve início há trinta anos nos Estados Unidos, por influência da sua utilização na indústria a partir de 1950. Essa tendência evoluiu e foi estendida à maior parte dos equipamentos dos EAS, sobretudo em razão da pressão exercida pela sociedade para a prestação de serviços mais seguros e confiáveis (WEBSTER, 1979). No Brasil, entretanto, a MP de EMH surgiu apenas no final da década de 1980, com o objetivo de diminuir custos e prolongar a vida útil dos equipamentos (RAMÍREZ, 1996).

Bronzino propunha em seu trabalho que “devem ser desenvolvidos procedimentos de manutenção específicos para cada tipo de equipamento, garantindo-se, desse modo, que todos os aspectos relativos à programação de atividades preventivas sejam considerados durante a inspeção” (BRONZINO, 1992). O autor ressalta, entretanto, que um equipamento deve ser incluído no programa de manutenção preventiva somente se for justificada sua seleção por alguma das seguintes razões (BRONZINO, 1992): redução do risco de acidentes; aumento da disponibilidade; redução dos custos de manutenção; prevenção de consertos de larga escala; atendimento a padrões, normas ou exigências.

Nessa época, como ainda hoje, alguns autores consideram que a manutenção se orienta por duas políticas básicas: a correção e a prevenção de defeitos (RAMÍREZ et al., 2002, ANCELLIN, 1999; CALIL & TEIXEIRA, 1998; LUCATELLI, 1998). A primeira caracteriza-se pela atuação somente após a

ocorrência da falha; a segunda, por procedimentos que visam antecipar-se à falha e corrigi-la. Torna-se, portanto, necessário um correto direcionamento das políticas para que não se fique à mercê da irracionalidade da gestão de recursos e das conseqüências de uma estratégia puramente curativa; também para que se evite o desperdício de recursos, tanto humanos quanto financeiros, provocado por uma estratégia totalmente programada.

Nesse sentido, o Ministério da Saúde brasileiro recomenda, no documento “Segurança no Ambiente Hospitalar: Saúde e Tecnologia”, que nem todo EMH pode/deve ser inspecionado periodicamente (SAÚDE, 1995). Ilustrativamente, um estudo feito por Bem-Zvi (1982) mostrou que, considerando-se um procedimento médio de MP de duas horas realizado sobre 3.500 equipamentos semestralmente, seriam exigidas 14.000 horas/homem por ano. Levando-se em conta que se dispõe de 35 horas/semana/técnico, necessitar-se-ia de oito técnicos dedicados exclusivamente à MP, ignorando-se férias, doenças, ou feriados, ou seja, a MP deve, imperiosamente, ser seletiva para que seja economicamente viável.

Tal quadro deu origem ao desenvolvimento de uma variada gama de metodologias e ferramentas de priorização de EMH para a aplicação da MP, como propõem os preceitos da MP tradicional, constituindo-se em um aspecto diversas vezes abordado na literatura técnica, como mostram Hertz (1990), Martins et al (1990), Bronzino (1992), ECRI apud Bronzino (1992), Anderson (1992), Kendall et al (1993), Moussavi & Whitmore (1993), Capuano & Koritko (1996), AHA (1996), RAMÍREZ (1996), Barrios et al (1997), Dolan (1999), James (1999), Pentón & Martínez (2001), Ridgway (2001).

Na fase da MP, denominada, neste trabalho de “tradicional”, por ser derivada dos preceitos utilizados na indústria do período pós-guerra, a qual adota como principal premissa que todos os itens possuem uma vida útil proporcional a sua degradação no tempo (representada pela curva da banheira), era vista como a melhor estratégia de manutenção, capaz de garantir a prevenção de falhas, a redução dos custos de manutenção, a redução de acidentes na operação, o aumento da disponibilidade e confiabilidade, bem como da vida útil dos EMH.

Entretanto, a MP tradicional (LUCATELLI,1998), tida como a única forma de prevenção de falhas em instituições de saúde que não possuem um

GTMH efetivo, desconsiderava, até então, os diversos modos de falha identificados por Nowlan e Heap em seu estudo. Neste classificam-se os componentes eletrônicos como modo de falha F, caracterizados por uma alta taxa inicial de probabilidade de falha (mortalidade infantil), seguida de uma taxa de falha aleatória e indeterminada (SMITH, 1993, MOUBRAY, 1997), o que pode potencializar a probabilidade de falha dos equipamentos em razão das suas características construtivas (basicamente eletroeletrônicos), além de resultar no dispêndio de recursos financeiros e humanos.

Segundo a Abramam (2001), o percentual de aplicação de recursos da MP gastos na realização de tarefas programadas preestabelecidas na área hospitalar é de 34,52%. Esse índice se situa dentro dos padrões mundiais se considerado que países do Primeiro Mundo detêm o percentual de 33,34%, (LAMBERTI et al.,1997).

### 2.2.3 TERCEIRA FASE – GTMH

Modernamente, na indústria, ao conceito de manutenção estão vinculadas não só as atividades de gestão da falha, por meio das diferentes políticas de manutenção (MC, MP e MPd), mas também todas as fases que compreendem o ciclo de vida do equipamento, desde a sua concepção até o seu descarte.

Analogamente, para a gestão da falha e suas conseqüências em EAS, faz-se necessário o GTMH através de EEC que assumam responsabilidades quanto à avaliação tecnológica, planejamento estratégico e gerenciamento de tecnologia, abrangendo os diversos aspectos relativos à tecnologia, como a *aquisição*, enfocando o planejamento, a especificação, a escolha, o recebimento e a instalação; o *uso*, garantindo o aperfeiçoamento e a atualização constantes de operadores e técnicos; a *disponibilização*, mantendo programas de manutenção que assegurem o controle de riscos, a segurança e a confiabilidade dos equipamentos e, por fim, a *substituição*, determinada pelo final do ciclo de vida custo-efetivo.

O Emergency Care Research Institute – ECRI – define GTMH como “uma abordagem sistemática, responsável por garantir que equipamentos custo-efetivos, eficazes, seguros e apropriados estejam disponíveis para atender com qualidade a demanda do cuidado à saúde” (BRONZINO, 1992).

Carpio & Flores (1998) enquadram essa definição nas atividades realizadas na *gestión del mantenimiento* (forma análoga a gerenciamento de tecnologia), classificada em oito enfoques: compra, recepção/instalação, capacitação de operadores, MP, MC, controle de qualidade e gestão da informação (CARPIO & FLORES, 1998). À semelhança desses autores, Tesdahl & Tomlison (1997) abordam o ciclo de vida do equipamento enfocando os mesmos aspectos, porém com um número maior de classes, conforme mostrado na Figura 2.4.

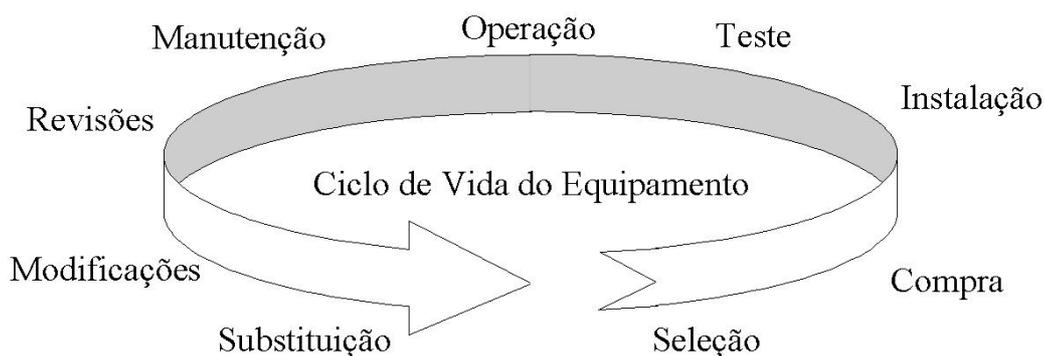


Figura 2.4: A gestão de equipamentos segundo o seu ciclo de vida (TESDAHL & TOMLINGSON, 1997).

Como propõe Bronzino (1992), essas ações podem ser agrupadas em quatro etapas: aquisição, treinamento, gestão da manutenção e substituição. Uma revisão dos diversos aspectos relacionados ao GTMH e a EC, contemplando vários enfoques, é apresentada por Beskow (2001), Ferreira (2001), Hiraiwa (2001), Zaniboni (2000), Albornoz (2000), Antúnez (2000), Glouhova et al. (1999), Blumberg (1999), Barbosa (1999), Geddes (1999), Galeano (1999), Rhine & Fodor (1999), Cohen (1998), Lucatelli (1998), de Rocco (1998), Xu (1997), ECRI (1997b), ECRI (1996), Campbell (1996), Hertz (1996), Gullikson (1995), Johnson (1995), Tran (1994) e Lodge (1993).

Todas as fases do GTMH, tratadas sucintamente na seqüência, influenciam decisivamente, em maior ou menor grau, nos resultados mostrados pelas variáveis de monitorização de desempenho da manutenção – os indicadores – tais quais: a disponibilidade, os custos de manutenção e a confiabilidade dos EMH.

**Aquisição** – O processo de aquisição exige qualificação e conhecimento, envolvendo várias etapas e estudos (planejamento, especificação, recebimento e instalação) prévios à compra de tecnologia, muitas vezes não realizados seja por desconhecimento, seja por falta de preparo, principalmente em EAS de países em desenvolvimento (ANTÚNEZ, 2000).

Vergara (1999) destaca a importância da correta especificação técnica na aquisição de equipamentos médicos e a sua relação com as demais fases. Para isso, a interação com a equipe clínica é fundamental e indispensável, visando à utilização plena da tecnologia e evitando a subutilização e o desperdício de recursos, especialmente nos países em desenvolvimento (LAMBERTI et al., 1997).

Bronzino (1992) enfatiza que, “para EAS manterem-se com competência e sendo custo-eficientes, eles devem invariavelmente, basear as suas escolhas e a seleção de novas tecnologias no ‘conhecimento’ garantidos pelo seu desempenho, avaliação e eficácia”.

Carpio & Flores (1998) destacam que, segundo a Organização Mundial da Saúde – OMS, a inadequação das instalações elétricas é um problema generalizado em países da América Latina.

**Treinamento** – A maior utilização e diversificação de EMH nos EAS levaram ao aumento das atividades exercidas. A complexidade tecnológica exige profissionais conhecedores dos novos métodos, dos novos conceitos e tendências para um melhor desempenho das funções (WEAR, 1999). Segundo a AHA, treinamento “é o processo sistemático de fornecer informações para um indivíduo com o propósito de adquirir conhecimentos, atividades e habilidades necessárias ao desenvolvimento de um trabalho” (AHA, 1996). A entidade acrescenta em outro documento, que a meta principal de um treinamento deve ser assegurar-se de

que os profissionais estejam devidamente orientados para realizar um trabalho responsável (AHA, 1988).

O treinamento de operadores e técnicos deve ser regular e contínuo, visando a sua atualização e aperfeiçoamento no que diz respeito à correta utilização e suporte, garantindo a segurança e a confiabilidade nos procedimentos. Por isso, a capacitação dos usuários não pode ser realizada apenas por ocasião da instalação do equipamento, mas deve perpassar por todo o período da vida útil deste (CARPIO & FLORES, 1998).

**Manutenção** – Esta política de manutenção procura apurar a condição e o estado do equipamento, não se baseando em critérios estatísticos ou cronológicos, mas, sim, realizando o controle de parâmetros dos equipamentos, como a análise da natureza das partículas presentes no lubrificante (espectrometria); desgastes através de exames microscópicos transferidos ao lubrificante (ferrografia), detecção de fissuras estruturais (ultra som), além da mensuração de velocidade, ruído, aquecimento, vibração, desalinhamento, entre outros (KARMAN, 1994).

A MPd surgiu há, aproximadamente, trinta anos, tendo sido adotada amplamente pela indústria, como mencionado anteriormente; entretanto, as técnicas utilizadas para monitoração da condição são possíveis em apenas 20% dos modos de falhas e somente na metade desses casos justifica-se o investimento (MOUBRAY, 1997).

A aplicação de técnicas de manutenção preditiva em EAS é bastante restrita e seletiva, basicamente respondendo pela monitoração das condições predial ou de infra-estrutura (rede de gases, rede elétrica – na monitoração de subestações, por exemplo). Essa constatação é explicada pelas características construtivas dos EMH, majoritariamente eletroeletrônicos, quando os melhores resultados alcançados pela preditiva são em sistemas hidráulicos, pneumáticos ou mecânicos. Nesse sentido, Dunn (1998) alerta que “qualquer um com experiência em equipamentos eletrônicos perceberá que as falhas são totalmente imprevisíveis”, o que limita muito a utilização da MPd em EAS.

Na revisão bibliográfica realizada a partir da literatura técnica internacional, não se constatou a utilização da MPd, havendo menção apenas à utilização da MC e MP para EMH (RAMÍREZ et al., 2002) (RIDGWAY, 2001)

(ANCELLIN, 1999) (LUCATELLI, 1998) (AHA, 1996) (CAPUANO & KORITKO, 1996) (HUALLPA, 1994) (MOUSSAVI & WHITMORE, 1993) (MARTINS et al., 1990) (SIMMONS & WEAR, 1988).

Em contraponto, a Abramam (1999) relata que o percentual de aplicação dos recursos na manutenção para a área hospitalar é de 17,09% no Brasil. Cita, ainda, que, dos hospitais participantes da pesquisa, 33,34% não utilizam monitoração da condição (MPd) de equipamentos; 44,44% utilizam-se de monitoramento manual; 22,22%, de coletores e programas para coleta de dados de monitoração da condição e nenhum dos participantes utiliza monitoramento automático (ABRAMAN, 1999).

### **2.2.3.1 GTMH em Hospitais Públicos Estaduais em Santa Catarina**

A estrutura de engenharia clínica (EEC) do Instituto de Engenharia Biomédica (IEB-UFSC), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), iniciou suas atividades, inéditas na rede pública estadual, em 16 de janeiro de 1998. Essas atividades visam fornecer o suporte necessário a todo o processo pelo qual a tecnologia médico-hospitalar passa, iniciando pela sua especificação e avaliação das propostas, passando pelo recebimento, instalação, treinamento de operadores e todas as atividades necessárias para manter o equipamento de acordo com o especificado pelo fabricante, incluindo a manutenção. O processo encerra-se e, ao mesmo tempo, reinicia-se com a retirada do equipamento de operação pela sua obsolescência ou porque a relação custo/eficiência não mais se justifica (LUCATELLI et al., 2001).

A gestão de tecnologia é realizada, atualmente, em dez hospitais da rede pública estadual integrados ao sistema, conforme o modelo definido por Veneziano (1996), planejado por Zaniboni (2000), e a necessidade detectada por meio de um inventário de equipamentos e sua situação realizado em 1996. A EEC implantada nesses hospitais chamou-se Centro Local de Engenharia Clínica (Celec), que possui uma equipe técnica formada, basicamente, por um engenheiro, um técnico e um estagiário, com possíveis variações de acordo com a necessidade e demanda local. Esta estrutura atende principalmente à tecnologia

alocada nas unidades de tratamento intensivo (UTI) e centro cirúrgico (CC), onde, sabidamente, há uma maior concentração de tecnologia.

O contexto de desenvolvimento e aplicação do GTMH envolve o cenário de dez hospitais públicos, que passaram a adotar um modelo composto por três níveis de abrangência: Nível Local, Nível de Referência Regional e Nível de Referência Estadual, descritos a seguir (BESKOW, 2001; VENEZIANO, 1996):

- **Nível Local** – representado por Centros Locais de Engenharia Clínica, implementados em diversos hospitais, que se tornam os responsáveis por todo o gerenciamento de tecnologia neste nível. A cargo dos Celec ficam as seguintes responsabilidades: acompanhamento da rotina de utilização dos equipamentos; identificação e diagnóstico de problemas com equipamentos; solicitação e acompanhamento de manutenção terceirizada; avaliação de orçamentos de serviços de terceiros; avaliação e programação de contratos de manutenção; execução de manutenção; suporte à especificação técnica para novas aquisições; identificação de necessidade de treinamento dos operadores (médicos, enfermeiros, técnicos em enfermagem); treinamento de operadores e mantenedores; execução de testes funcionais; estruturação administrativa e documental.
- **Nível de Referência Regional** – é representado pelo Centro de Referência Regional (CRR), o qual desempenha as funções de gerenciamento e orientação técnica de referência para a região, bem como sistematiza os dados gerados em cada Celec, encaminhando-os periodicamente ao nível gestor na forma de relatórios com conteúdo técnico e econômico.
- **Nível de Referência Estadual** – é representado pelo Centro de Referência Estadual (CRE) instalado na UFSC, que serve, fundamentalmente, para a formação de recursos humanos, além de centralizar a solução de problemas de GTMH em nível macro.

A Figura 2.5 apresenta uma descrição do avanço das responsabilidades da EEC do IEB/UFSC, categorizando-o, como o fez Bronzino (1992), em cinco níveis (BESKOW, 2001).

				Centros para GTMH (11 Celec e 2 CRR) Análise detalhada de custos e de atividades realizadas Suporte ao planejamento estratégico para novas tecnologias
		<b>Nível 4</b>		Integração do gerenciamento de risco com o controle de qualidade no gerenciamento da tecnologia Gerenciamento completo dos contratos de serviços reportando-se diretamente à direção do HU/UFSC Assinatura do Termo de Acordo de Cooperação Mútua visando estruturar o GTMH no Estado de Santa Catarina Envolvimento direto com atividades de Especificação Técnica junto à SES-SC Início do estudo para estruturação de um amplo Sistema de Informação para GTMH acompanhado da implementação de atividades de EC em diferentes hospitais
		<b>Nível 3</b>		Controle de equipamentos computadorizado desenvolvido para cadastramento de equipamentos da SES-SC, efetuado em sete hospitais de Florianópolis Serviço e reparos de tecnologias complexas como monitoração, hemodiálise, imagem, ventilação mecânica e laboratórios clínicos ainda restritos ao HU/UFSC
	<b>Nível 2</b>			Estudo para o dimensionamento de Centros de Referência em EC
		<b>Nível 1</b>		Participação essencial no processo de aquisição de equipamentos definindo cláusulas especiais ao edital de licitação HU/UFSC Supervisão de contratos de serviço de manutenção terceirizada via criação do Núcleo de Engenharia Clínica (NEC) HU/UFSC
				Segurança elétrica em unidades eletrocirúrgicas de alta frequência do HU/UFSC Manutenção e reparo de equipamentos eletromédicos básicos Programa de controle de equipamentos delineado através de Projeto RHAE, não implementado Envolvimento inicial com o processo de aquisição de equipamentos
<b>1988</b>	<b>1994</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998+</b>

Figura 2.5: Evolução da responsabilidade da equipe IEB/UFSC frente ao processo GTMH, em níveis cumulativos (BESKOW, 2001).

### 2.3 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

“A MCC é uma abordagem prática para a obtenção de um nível de manutenção custo-efetivo”. Essa foi a primeira descrição geral da metodologia MCC, elaborada por Nowlan e Heap (VATN, 1997). Os criadores da MCC, por meio de estudo feito no início da década de 1970, proporcionaram a base teórica necessária para a fundamentação e o estabelecimento da metodologia nos diversos ramos da indústria, mantendo atualmente, com poucas variações em sua essência, um alto grau de inovação e de efetividade.

O EPRI (Electric Power Research Institute) define a MCC como uma consideração sistemática das funções do sistema e do modo como estas podem

falhar, além de basear a priorização em considerações de segurança e econômicas que identificam as tarefas de MP aplicáveis e efetivas (EISINGER & RAKOWSKY, 2001).

Fleming considera a MCC uma metodologia estruturada de planejamento da manutenção, a qual visa permitir que um equipamento atenda às funções e aos padrões de desempenho pretendidos pelos seus usuários, segundo as condições operacionais presentes, por meio da correta utilização das políticas de manutenção já existentes, porém modificadas e selecionadas adequadamente. Baseia-se, essencialmente, nas necessidades dos itens físicos (FLEMING, 2000).

De acordo com Hauge e Johnston, o objetivo da MCC é otimizar a manutenção visando ao nível desejado de confiabilidade do equipamento a custo mínimo (HAUGE & JOHNSTON, 2001). Os autores acrescentam que a MCC analisa/avalia as diferentes maneiras de como um item pode falhar e a política de manutenção mais apropriada para administrar tal tipo de falha.

Martorell e outros autores definem a MCC como uma metodologia sistemática para a determinação das atividades de MP e MPd eficientes e aplicáveis, visando prevenir as causas de falhas dominantes de equipamentos críticos e, desse modo, obter os níveis adequados de disponibilidade do equipamento e de custos, pela redução da MC (MARTORELL et al., 2000).

Da MCC criada por Nowlan e Heap, utilizada na indústria aeronáutica, derivaram diversas metodologias (SMITH, 1993; JONES apud VIZZONI, 1998), contudo a mais utilizada é o RCM2, desenvolvida por Moubray em 1991, conhecido como o introdutor do conceito da MCC no Brasil. Essa é a adaptação mais utilizada nos setores da indústria, aplicada em mais de mil companhias em todo o mundo, localizadas em trinta e oito países, num período de dez anos. O RCM2 objetiva, unicamente, ensinar as organizações a analisarem seus próprios equipamentos.

Vizzoni comenta que, atualmente, as aplicações da MCC, como geradora de programas de manutenção de custo mínimo, multiplicam-se, havendo exemplos de seu emprego no setor da indústria farmacêutica e de processamento de alimentos (HIPKIN & COCK, 2000); em agências espaciais (HAUGE & Johnston, 2001); em transmissão de energia elétrica, indústrias químicas, plataformas marítimas de extração de petróleo, ferrovias, indústrias automotivas,

metrês e dezenas de outros setores industriais (VIZZONI, 1998). Stein et al. (1997) complementam que “a MCC é, hoje, um método universalmente reconhecido” (STEIN et al., 1997 apud VIZZONI, 1998).

Hauge e Johnston (2001), estribados na experiência da aplicação da MCC em agências espaciais, ressaltam que uma das forças da MCC é sua simplicidade. Embora não tão rigorosa, analiticamente, como alguns tipos de análise de confiabilidade, a MCC é entendível e acessível a engenheiros e técnicos de manutenção. Essa idéia é reforçada por Vizzoni quando diz que “a simplicidade da metodologia, sua racionalidade, estruturação e ênfase na documentação torna a MCC facilmente assimilável através do autotreinamento de engenheiros e técnicos” (VIZZONI, 1998).

O processo básico de aplicação da MCC inicia-se pela análise do que se espera que o item faça até a definição da política de manutenção tecnicamente mais viável e de melhor custo–benefício (MOUBRAY, 1997). Isso é conseguido respondendo-se às sete questões principais sobre a planta e seus subsistemas, quais sejam (DURÁN, 2001; SINCOK & AMARAL, 2000; KARDEC & NASCIF, 1999; SHERWIN, 1999; TORRESCANO, 1999; MOUBRAY, 1997):

1. Quais são as funções e os padrões de desempenho associados aos itens no seu contexto operacional atual?
2. De que forma as funções falham?
3. O que causa cada falha funcional?
4. Quais são as conseqüências da falha?
5. Qual é a importância da falha?
6. O que poderia ser feito para predizer ou prevenir a falha?
7. O que deve ser feito se não se pode predizer ou prevenir a falha?

As respostas a tais questões e, por conseqüência, a aplicação da MCC dependem da implementação de três aspectos principais (MOUBRAY, 1997; IEC 300-3-11, 1995 apud EISINGER & RAKOWSKY, 2001), que são: a preparação, a análise do sistema e a tomada de decisão – discutidos a seguir.

Desde a sua criação, na década de 1970, a MCC foi descrita, defendida e aplicada por diversos autores em praticamente todas as áreas da indústria de bens e serviços. Contudo, pode-se dizer que, além de Nowlan e

Heap, seus precursores, os autores cujas abordagens da MCC mais contribuíram para o seu desenvolvimento são o inglês John Moubray e o norte-americano Anthony M. Smith, vastamente citados na literatura (EISINGER & RAKOWSKY, 2001; SU et al., 2000; CROCKER & KUMAR, 2000; HIPKIN & COCK, 2000; FLEMING, 2000; HAUGE et al., 2000; SHERWIN, 1999; BERGMAN, 1999; CAPLAN & BURROWS, 1999; ABDUL-NOUR et al., 1998; DUNN, 1998; MATA FILHO et al., 1998; VIZZONI, 1998; VATN, 1997; BEEHLER, 1997; TESDAHL & TOMLIGSON, 1997; PUJADAS & CHEN, 1996; GERAGHETY, 1996; SMITH et al., 1991). As principais diferenças entre as abordagens de Moubray e Smith serão discutidas na seqüência, nas seções 2.3.4 e 2.3.5.

### 2.3.1 PREPARAÇÃO PARA IMPLANTAÇÃO DA MCC

O processo de implantação da MCC inicia-se, basicamente, pelo correto entendimento da funcionalidade dos equipamentos no seu contexto operacional, ou seja, pela especificação e entendimento dos aspectos necessários ao seu funcionamento, da sua capacidade produtiva, das exigências de desempenho, definindo-se a função de cada equipamento em seu contexto operacional e os níveis esperados de desempenho, segundo os operadores e entidades normatizadoras.

A definição desses aspectos, entretanto, é bastante complexa, exigindo significativa quantidade de tempo; assim, a condução efetiva e racional das atividades exige a seleção e priorização de equipamentos. Em seqüência, descreve-se a evolução de sistemas de priorização de EMH e seus respectivos critérios de avaliação (RAMÍREZ et al., 2002; RIDGWAY, 2001; HIRAIWA, 2001; LUCATELLI, 1998; RAMÍREZ, 1996)

#### 2.3.1.1 Métodos de Priorização

**Método de Hertz (1990)** – foi o primeiro a recomendar a priorização de equipamentos médicos com base no nível de risco. Segundo o autor, os

equipamentos são avaliados considerando-se a probabilidade de, ao serem usados, provocarem lesões ao paciente por estarem com algum tipo de falha.

O risco de causar lesão pode ser estimado, segundo Hertz, através das seguintes constatações: uma peça do equipamento está quebrada; o operador não percebe que o equipamento está quebrado; o equipamento está quebrado, é usado e, por isso, causa lesão.

**Método de Martins (1990)** – propõe a confecção de uma matriz de prioridades em que são atribuídos índices que variam de 1 a 10 para cada critério. A priorização se dá na ordem decrescente da soma dos valores apresentados pelos equipamentos, os quais refletem os critérios de cada equipamento individualmente.

A avaliação dos equipamentos abrange os seguintes critérios (MARTINS et al., 1990): custo de manutenção corretiva, não-confiabilidade, grau de dependência, grau de utilização, não-existência de alternativas e grau de urgência.

**Método de Anderson (1992)** – baseado no trabalho de Hertz, este sistema, pela classificação dos equipamentos em quatro níveis, faz uma estimativa numérica do risco relativo que a ocorrência de uma falha de um equipamento pode acarretar ao paciente ou operador. Fatores adicionais, como necessidade de manutenção na prevenção de desgastes dos equipamentos, não são considerados neste esquema, a menos que uma falha catastrófica resulte em lesão ao paciente/operador. Esses códigos ou níveis são classificados em: *código I* - refere-se aos equipamentos cujas falhas teriam alta probabilidade de causar lesões graves ou até a morte ao paciente/operador, abrangendo os equipamentos de apoio à vida e de ressuscitação; *código II* - são relacionados aqui os equipamentos que causam danos com pouca probabilidade de morte ao paciente; *código III* - nesta categoria estão os equipamentos com pouca probabilidade de causar lesões ao paciente/operador, e *código IV* - constituído por equipamentos que não apresentam risco ao paciente/operador (ANDERSON, 1992).

**Método de Bronzino/Moussavi (1993)** – este método considera três fatores na elaboração da lista de equipamentos com prioridade: fator *risco*, que considera as possíveis conseqüências que podem afetar o paciente/operador; fator *função*, classificada em quatro categorias: diagnóstico, análise, terapia e variado, às quais são atribuídos valores que visam à quantificação do risco a que o paciente é exposto; e fator *manutenção exigida pelo equipamento*, que avalia a necessidade de manutenção requerida, classificada em três grupos: extensiva, média e mínima (Fennigkoh apud Moussavi & Whitmore, 1993).

**Método AHA (1996)** – avalia os riscos físicos e clínicos associados a cada tipo de equipamento. É baseado em critérios e pesos diferentes, tais como: *função*, determina em que área o equipamento é utilizado; *aplicação clínica*, determina os riscos a que pacientes/operadores e o equipamento estão sujeitos durante o uso; *exigência de manutenção preventiva*, descreve o nível e a freqüência das atividades preventivas do equipamento; *probabilidade de falha do equipamento*, determina a taxa do tempo médio entre falhas com base no histórico de falhas do equipamento; e *classificação do ambiente de utilização*, define a área principal onde o equipamento opera (AHA, 1996).

**Método Romsys (1996)** – é um sistema de gerenciamento de equipamentos médicos desenvolvido por Capuano e Koritko, dirigido a elementos baseados em risco. O nível de risco é calculado a partir da avaliação de seis critérios empregados na caracterização do equipamento, os quais são: *função* - refere-se à aplicação do equipamento em relação ao paciente; *conseqüências* - considera o efeito que um mau funcionamento teria sobre um paciente ou operador; *manutenção* - avaliam-se todos os aspectos que afetam a necessidade de intervenção técnica; *proteção* - determina os fatores relativos aos sistemas de prevenção de falhas contidos no equipamento; *letabilidade* - considera a possibilidade de saídas perigosas do equipamento; e, por fim, *uso* - aponta o quanto um equipamento é utilizado (CAPUANO & KORITKO, 1996).

**Método de Sánchez (1997)** – utiliza como fator decisivo a quantificação do nível de risco apresentado pelo equipamento. As categorias avaliadas por este autor

são baseadas nas do Romsys, porém incluem outros critérios de avaliação: *complexidade* - determinada a partir da avaliação da manutenção, do projeto e do grau de automação apresentado pelo equipamento; *regime de operação* - avalia, num determinado período de tempo, o tipo de funcionamento que determinado equipamento apresenta; *condições de utilização* - refere-se às condições necessárias ao funcionamento adequado do equipamento, bem como às condições adversas que prejudicam a sua funcionalidade; e *confiabilidade* - considerando a probabilidade de o equipamento operar durante um período de tempo sem apresentar qualquer tipo de falha funcional (BARRIOS & CERROLAZA, 1997).

### 2.3.1.2 Formação da Equipe

A formação do grupo de estudo para o desenvolvimento e aplicação da MCC é caracterizada pela multidisciplinaridade de profissionais atuantes do segmento avaliado. Segundo Moubray (1997), tipicamente, uma equipe de revisão é composta por um facilitador, supervisores de manutenção e operação e especialistas da área, conforme é mostrado na Figura 2.6.



Figura 2.6: Configuração clássica de componentes do grupo de revisão da MCC.

O objetivo do grupo de revisão é, por meio da aplicação do processo da MCC, determinar as exigências de manutenção de um ativo físico, tendo em vista suas funções, padrões de desempenho e seu contexto operacional. Para isso, o grupo deve ser heterogêneo e formado por membros com experiência e de diferentes setores, para que diversos pontos de vista sejam considerados.

A orientação quanto ao número de integrantes do grupo de revisão, dada por alguns autores (NAGAO, 2001; SAKURADA, 2001; SALES, 2000; KARDEC & NASCIF, 1999; MOUBRAY, 1997), é que varie entre quatro e seis participantes, sempre sob a coordenação do facilitador, para que os trabalhos tenham maior efetividade .

O facilitador, além de um bom conhecimento a respeito da metodologia e da familiarização com as características da área estudada, deve estar apto a: aplicar a lógica da MCC, coordenar a análise, conduzir as reuniões, gerenciar o tempo, coordenar a logística e avaliar os resultados.

## 2.3.2 ANÁLISE DO SISTEMA

### 2.3.2.1 Funções

A principal característica da metodologia MCC, que fornece um novo modo de definir os objetivos da manutenção, é a preocupação em manter aquilo que o item *faz* ao invés do que ele é. Desse modo, para a definição das suas funções, necessita-se, inicialmente, determinar quais são as exigências dos usuários quanto a sua funcionalidade e, posteriormente, assegurar-se de que os equipamentos sejam capazes de alcançar as expectativas dos usuários, levando-se em conta suas características construtivas e seu contexto operacional.

Com o objetivo de esclarecer qual seria, de seu ponto de vista, a diferença essencial entre a MCC (voltada para o sistema) e a visão tradicional da manutenção preventiva (voltada para o equipamento), Moubray apresenta a seguinte expressão (VIZZONI, 1998):

**Manutenção Tradicional:** foco no equipamento + prevenção de falhas

**MCC:** foco nas funções do equipamento + prevenção de consequência de falhas

Fleming (2000) acrescenta que, “em contraposição ao planejamento tradicional, o paradigma central da MCC é a preservação da função do sistema”. O autor complementa que “é importante frisar que preservar a função do sistema não é o mesmo que preservar a operação do equipamento”. Mas serão todos os equipamentos igualmente importantes?

Segundo os preceitos da MCC, mesmo equipamentos idênticos podem ter prioridades diferentes. Como exemplo (adaptado de Fleming, 2000), suponham-se três processadoras de raios-X idênticas (A, B e C), da mesma marca e modelo, trabalhando em dois setores de um hospital. No caso da processadora A, sua indisponibilidade resulta na parada do setor de tomografia; as processadoras B e C, por outro lado, atuam de forma redundante, ou seja, a indisponibilidade de uma delas não causa a parada dos exames de raios-X do setor de emergência do hospital. Nesse caso, não parece razoável que a processadora A tenha um plano de manutenção diferente daquele das processadoras B e C?

### **2.3.2.2 Análise de Falhas Funcionais**

Conhecidas as funções realizadas pelos itens, estabelecidos os padrões mínimos de desempenho esperados pelos operadores e exigidos por normas reguladoras, e respeitadas as características do contexto operacional em que o item está inserido, podem-se conduzir a definição e a determinação das falhas funcionais relativas aos itens analisados.

Falha, segundo o que estabelece a ABNT, “é o término da capacidade de um item desempenhar uma função requerida”. Essa definição, entretanto, não atende a todas as expectativas da MCC, pois trata a falha de modo genérico, considerando o item como um todo e ignorando as diversas funções que, freqüentemente, um mesmo item possui, as quais demandam mais de um padrão de desempenho (MOUBRAY, 1997). Tais padrões determinam o nível de manutenção pró-ativa necessário à prevenção da falha e são essenciais à definição de falha funcional.

Diante das considerações feitas, define-se *falha funcional* como “a incapacidade de qualquer item em executar uma função a um padrão de desempenho aceitável pelo usuário” (MOUBRAY, 1997).

A Figura 2.7 ilustra a ocorrência de uma falha funcional, caracterizada pela perda da capacidade inerente até o padrão de desempenho exigido em virtude da deterioração de um item (MOUBRAY, 1997).

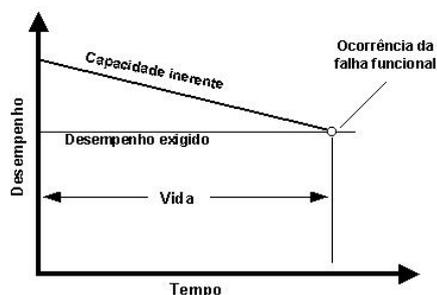


Figura 2.7: Representação da ocorrência de uma falha funcional.

### 2.3.2.3 Padrões de Desempenho

Não basta à manutenção manter o equipamento operando; ela deve, além disso, assegurar que o equipamento esteja funcional, ou seja, que mantenha os padrões de desempenho mínimos exigidos pelo operador ou por normas relacionadas. Isso significa que, quando qualquer item é colocado em serviço, ele deve, pelo menos, apresentar o padrão exigido pelo operador/norma. O máximo desempenho apresentado pelo item é conhecido como “confiabilidade inerente”.

No ambiente hospitalar, os valores-padrão que fazem a fronteira entre a operação e a funcionalidade (padrão de desempenho mínimo) são, em grande parte dos equipamentos, estabelecidos por normas nacionais e/ou

internacionais. Tais valores podem ser identificados pelos operadores com o equipamento em operação, por meio de mostradores, indicadores e alarmes; entretanto, muitas vezes é necessário a utilização de equipamentos de ensaio especializados e a realização de procedimentos-padrão para a determinação do nível de funcionalidade dos equipamentos.

Quando a determinação dos padrões de desempenho, como dito anteriormente, exigir equipamentos e procedimentos específicos, eles podem ou não ser realizados *in loco*, contudo, invariavelmente, necessitam estar fora de operação. Isso acarreta grande dificuldade de haver a aprovação e o consentimento do operador, visto que o equipamento, apesar de aparentemente estar funcionando, pode não estar atendendo aos seus padrões mínimos de desempenho e funcionalidade.

Outra dificuldade é o correto estabelecimento da freqüência de tais averiguações. Ressalta-se, assim, a importância da correta definição e controle dos padrões de desempenho na gestão da manutenção, especialmente no setor da saúde.

#### **2.3.2.4 Contexto Operacional**

O contexto operacional de qualquer item influencia todos os aspectos a ele relacionados, não afetando apenas as funções e expectativas de desempenho, mas também a natureza dos modos de falha possíveis de ocorrer, seus efeitos e conseqüências, a freqüência com que eles acontecem e o que deve ser feito para gerenciá-los. As diferenças de contexto operacional exercem influência direta sobre as causas, probabilidades e conseqüências das falhas.

A grande dificuldade encontrada na maior parte dos EAS quanto ao contexto operacional dos EMH são as não-conformidades das especificações de infra-estrutura e das normas de segurança. Por exemplo, instalações elétricas, ignoradas ou desconhecidas pelo corpo diretivo em adaptações e reformas, bem como pelo corpo técnico, tanto de operação como da manutenção.

Como exemplos dessa situação citam-se a falta do pino de aterramento em tomadas em que são ligados equipamentos que realizam eletrocardiografias, extensões múltiplas e adaptações nos CC e UTI, inadequação

do sistema de segurança nos diversos ambientes, principalmente nos das classes 0.5 e 15, os quais exigem o restabelecimento de energia em 0,5 ou 15 segundos, respectivamente.

O tempo de conserto também é parte integrante do contexto operacional, iniciando-se com o tempo transcorrido entre a constatação da falha, o tempo de relato da falha, mais o tempo de conserto propriamente dito, o qual, em caso de confirmação da falha, é função da disponibilidade de peças de reposição necessárias, do ferramental e da capacidade técnica de quem realizará o conserto. Assim, todos os fatores citados relacionados à realização do conserto são aspectos que devem ser considerados no processo de determinação das exigências de manutenção de determinado item em seu contexto operacional.

Funções e expectativas de desempenho não só abrangem a produção mas também dizem respeito a assuntos como qualidade do produto, atendimento ao consumidor, economia e eficiência de operação, controle, conforto, proteção, compatibilidade com regulamentos ambientais e, até mesmo, a aparência física do item.

### **2.3.2.5 Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos – Sistematizando o conhecimento**

O próximo passo do processo MCC, uma vez caracterizados o conceito de falha funcional, o contexto operacional e os padrões de desempenho para cada função do item, é a identificação dos modos de falhas, de suas causas e a determinação dos seus efeitos. A técnica utilizada nessa sistemática é a FMEA – Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos. Segundo a ABNT, FMEA é um método qualitativo de análise de confiabilidade que envolve o estudo dos modos de falhas que podem existir para cada item, a determinação dos efeitos de cada modo de falhas que podem existir para cada subitem e a determinação dos efeitos de cada modo de falha sobre os outros subitens e sobre a função requerida do item.

O modo de falha é a expressão utilizada para caracterizar o processo e o mecanismo de falha que ocorre nos itens. O efeito é a maneira como o modo de falha se manifesta. Um determinado modo de falha se tornará mais ou menos evidente dependendo da função que o item está desempenhando num caso específico. O efeito, por sua vez, segue a mesma sistemática (SAKURADA, 2001).

Muitas definições e bibliografias (SU et al., 2000; KARDEC & NASCIF, 1999; PALADY, 1997), entretanto, discutem erroneamente FMEA como uma técnica quanti-qualitativa que além de identificar os modos e efeitos das falhas funcionais, categoriza a priorização das falhas através da determinação da probabilidade ou criticidade da falha do item. Tal descrição representa, na verdade, o conceito de FMECA (SAKURADA, 2001).

A ABNT define a análise dos modos de falha, seus efeitos e sua criticidade – FMECA – como a análise de falha de seus efeitos, em conjunto com uma avaliação da probabilidade de ocorrência e do grau de criticidade das falhas (ABNT, 1994).

Analiticamente, diferenciam-se as aplicações e definições entre FMEA e FMECA conforme as Equações 2.1 e 2.2, mostradas a seguir (MOHR, 1994 apud SAKURADA, 2001):

$$\text{FMECA} = \text{FMEA} + \text{C} \quad (2.1)$$

onde

$$\text{C} = \text{Criticalidade} = (\text{Ocorrência}) \times (\text{Severidade}) \quad (2.2)$$

Ocorrência: Índice geralmente variável de 0-10, usado para estimar a probabilidade de a falha ocorrer;

Severidade: Índice variável de 0-10, usado para estimar o impacto dos efeitos da falha, a gravidade dos efeitos.

### 2.3.2.5.1 Análise do Modo de Falha

A partir da listagem das falhas funcionais prováveis para cada item, podem-se identificar e descrever os eventos que causam cada falha funcional. Tal descrição deve ser suficiente para permitir a correta seleção de uma política de gestão da falha. Descrições genéricas, muitas vezes encontradas no ambiente hospitalar, utilizadas para a identificação da falha, como “falhou”, “quebrou” ou “não funciona”, não fornecem nenhuma indicação das causas da falha. O Quadro 2.1 mostra uma aplicação da FMEA para modos de falha.

Quadro 2.1: Planilha de modos de falha de um sistema de ar comprimido medicinal.

		Sistema: Fornecimento de Ar Comprimido		
		Subsistema: Sistema de Ar Comprimido		
Função		Falha Funcional		Modo de Falha
1	Ar comprimido com pressão mínima de 4kgf/cm <sup>2</sup> à plena demanda	A	Pressão inferior a 4kgf/cm <sup>2</sup>	A Falha no sistema elétrico a) Falta de energia elétrica 1) Falha no sistema de proteção 2) Falha no fornecimento 3) Cabo rompido b) Falha no motor 1) Queima do induzido 2) Queima do capacitor 3) Desgaste mecânico (rolamentos)

Fonte: Primária

A identificação de cada modo de falha é uma tarefa que demanda considerável tempo e esforço. De qualquer modo, essa atividade, independentemente da estratégia adotada pela organização, é realizada a cada ocorrência de falha e exige uma análise para a tomada de decisão, mesmo que empírica. Assim, a sistematização dessas análises de forma organizada resultará em considerável economia de tempo para a realização das ações.

O processo de seleção de qualquer forma de gestão da falha, seja pró-ativa, a qual exige o conhecimento prévio dos eventos da falha (MP e MPd) seja reativa, a qual atua no projeto, na busca ou correção da falha, é realizado em nível de modo de falha. Os modos de falha especificados e listados devem ter, pelo menos, razoáveis chances de ocorrerem, critério esse que facilita e abrevia a listagem desses e das demais etapas do processo MCC.

#### 2.3.2.5.2 Identificação do Efeito de Falha

A continuidade da implementação da FMEA após a determinação dos modos de falha consiste na descrição de todas as informações necessárias à avaliação dos eventos e conseqüências de um modo de falha. Para a descrição dos efeitos de falha, os seguintes aspectos devem ser considerados:

- quais são os indícios de que a falha ocorreu;
- de que modo a falha ameaça a segurança ou o meio ambiente;
- de que forma a falha afeta a operação ou a produção.

O Quadro 2.2 ilustra um exemplo de planilha de informações FMEA de um sistema de ar comprimido medicinal.

A FMEA, por ser um registro, é uma fonte de consulta confiável e atualizada que pode e deve ser utilizado como material didático em programas de capacitação, proporcionando um melhor entendimento dos componentes e do sistema. Com isso, tem-se um maior conhecimento a respeito das falhas, o que facilita a escolha do tipo de manutenção (corretiva, preventiva, preditiva), garantindo a maior disponibilidade do equipamento (SAKURADA, 2001).

Quadro 2.2: Planilha de informações FMEA de um sistema de ar comprimido medicinal.

Sistema: Fornecimento de ar comprimido		Sistema Nº:	Realizado por:	Data: / /	Folha Nº: 1
Subsistema: Sistema de ar comprimido		Subsistema Nº:	Revisado por:	Data: / /	De: 3
Função	Falha Funcional	Modo de Falha	Efeito de Falha		
1 Ar comprimido com pressão mínima de 4kgf/cm <sup>2</sup> à plena demanda	A Pressão inferior a 4kgf/cm <sup>2</sup>	A Falha no sistema elétrico a) Falta de energia elétrica 1) Falha no sistema de proteção 2) Falha no fornecimento 3) Cabo rompido b) Falha no motor 1) Queima do induzido 2) Queima do capacitor 3) Desgaste mecânico (rolamentos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>danos físicos graves (pacientes dependentes de ventilação mecânica);</li> <li>suspensão de cirurgias específicas;</li> <li>fechamento de leito de UTI;</li> <li>indisponibilidade de equipamentos pneumáticos.</li> </ul>		

Fonte: Primária.

A Figura 2.8 representa dez categorias de FMEA utilizadas nas diversas fases da manufatura.

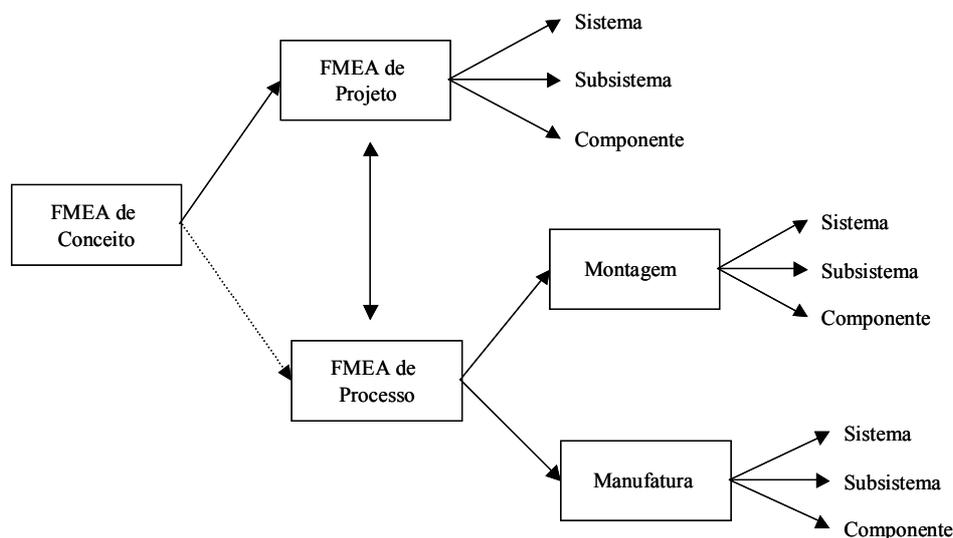


Figura 2.8: Categorização da aplicação da FMEA nas diversas fases da manufatura (FORD, 1997 apud SAKURADA, 2001).

A FMEA representa, na atualidade, uma das ferramentas mais utilizadas de análise da confiabilidade, presente na avaliação de produtos e

processos, no QFD (Quality Function Deployment), bem como em toda aplicação da MCC. A FMEA originou-se nos Estados Unidos como um padrão de avaliação da confiabilidade de equipamentos em operações militares ainda no final da década de 1940. Tem sua utilização ampliada atualmente para os diversos setores da indústria de bens e serviços: equipamentos, semi-condutores, sistemas hidráulicos e pneumáticos, circuitos elétricos, indústria siderúrgica, entre outros (SAKURADA, 2001).

Mais recentemente, a aplicação da FMEA vem sendo observada em diversos segmentos, incluindo a área da saúde, conforme registros encontrados na literatura consultada. Willis (1992) propõe a utilização da FMEA como um procedimento pró-ativo para melhoramento da qualidade em estruturas de engenharia clínica, por meio da análise de equipamentos médicos por seus usuários, no que se refere às suas características de projeto e funcionalidade específicas. Propunha o autor já naquela época que “uma política agressiva de garantia da segurança se faz necessária em cada hospital, em razão do aumento contínuo da quantidade e complexidade da instrumentação médica” (WILLIS, 1992).

Segundo Dolan (1999), a FMEA constitui uma ferramenta que serve de base para a identificação dos níveis de risco de equipamentos médicos, a qual se constitui no primeiro passo para a formulação de um programa de gerenciamento de risco.

McNally et al. (1997) relatam a utilização e aplicação da FMEA para a avaliação das falhas (taxa de erros de medicação) de um sistema de distribuição de medicamentos em um hospital na Austrália, bem como na avaliação de um novo sistema desenvolvido a partir dos modos de falhas identificados pela FMEA (MCNALLY et al., 1997).

Kieffer (1998) discute a utilização da FMEA na avaliação das causas e efeitos dos erros decorrentes da intervenção humana em processos da indústria farmacêutica, bem como as implicações do treinamento e da qualificação dos funcionários (KIEFFER, 1998).

Por fim, mais recentemente, Passey (1999) ressaltou a precisão da FMEA como técnica aplicada na avaliação dos riscos de produtos e processos,

bem como sua capacidade de relacioná-los às responsabilidades legais (PASSEY,1999).

### 2.3.2.6 Conseqüências de Falhas

Na prática, o resultado de eventos não-detectados e não-evitados de itens são falhas funcionais, as quais originarão resultados de menor ou maior relevância – as conseqüências. As conseqüências de falhas nada mais são que a maneira utilizada pela MCC para priorizar e tratar as falhas funcionais.

O processo de avaliação das conseqüências procura centrar a atenção apenas nas atividades de manutenção com maior efeito no desempenho da organização, refutando a premissa tradicional de que todas as falhas devem ser prevenidas e evitadas. A ênfase da metodologia MCC em relação às conseqüências de falha funcionais foi dada, primeiramente, por Nowlan e Heap, em 1978 (VIZZONI, 1998), os quais as classificaram em quatro categorias (MOUBRAY, 1997):

- **conseqüências de falhas ocultas** – são aquelas que, por si próprias, não são evidentes em condições normais de operação; não possuem um impacto direto, entretanto expõem a organização a falhas múltiplas ou catastróficas; estão normalmente associadas a dispositivos e sistemas de proteção;
- **conseqüências de segurança e meio ambiente** – são as falhas que podem, de algum modo, ferir, machucar ou matar alguém (operadores, mantenedores ou pacientes), ou causar a violação de algum padrão ambiental, seja ele corporativo, regional, nacional ou internacional. Nesse caso, uma ação pró-ativa só é justificada se pode reduzi-las a níveis aceitáveis; não sendo possível a redução ou eliminação da falha funcional, o item deverá ser reprojetoado;
- **conseqüências operacionais** – são falhas que afetam a capacidade operacional, a produção, a qualidade do produto, os custos operacionais, além dos custos diretos de conserto. Assim, uma ação pró-ativa é realizada para evitá-las ou preveni-las se os custos totais para isso forem menores que os custos de suas conseqüências e do seu conserto; aqui, a ação é avaliada puramente de um ponto de vista econômico;

- **conseqüências não-operacionais** – são falhas evidentes que envolvem apenas os custos diretos de conserto ou conseqüências secundárias, que não originem riscos ambientais e de segurança.

### 2.3.3 TOMADA DE DECISÃO

Uma grande vantagem da MCC é a maneira simples, precisa e fácil como ela estabelece as ações pró-ativas tecnicamente viáveis no contexto operacional, assim como a frequência e a orientação de quem deveria realizar a tarefa.

Outro benefício da MCC na seleção das políticas de manutenção, em relação às abordagens tradicionais, é o reconhecimento de que as conseqüências da falha são mais relevantes que apenas as suas características técnicas. Em programas tradicionais, essa seleção é oriunda da avaliação ou suposição das características técnicas de um item e extrapoladas para itens similares, não considerando as diferenças de contexto e conseqüências inerentes a cada item.

#### 2.3.3.1 Seleção das Tarefas de Manutenção

O diagrama lógico de determinação das tarefas de manutenção é a fase fundamental do processo de implantação da MCC, o qual sistematiza e aplica todos os aspectos analisados anteriormente. Ele visa indicar as tarefas de manutenção mais adequadas, eficazes e custo-efetivas, segundo as conseqüências das falhas funcionais de cada item. Dentre as diferentes formas de diagramas de decisão aplicados na MCC apresentados pela literatura, destacam-se os de Moubray (1997) e Smith (1993), os quais serão discutidos em detalhes nas seções 2.3.4 e 2.3.5, respectivamente.

### 2.3.4 PROCESSO DA MCC – Segundo Moubray

Para Moubray (1997), MCC é “um processo usado para determinar as exigências de manutenção de um item físico no seu contexto operacional atual”. O processo de aplicação da MCC, segundo o mesmo autor, constitui, sumariamente, a determinação das funções, dos padrões de desempenho desejados/exigidos e das falhas funcionais; a análise dos modos de falhas e seus efeitos (FMEA); a classificação das conseqüências de cada falha funcional em quatro classes e a determinação das tarefas pró-ativas ou *default* por meio do diagrama de decisão (HIPKIN & COCK, 2000). As fases iniciais do processo, já analisadas, e as fases subseqüentes são ilustradas na Figura 2.9.

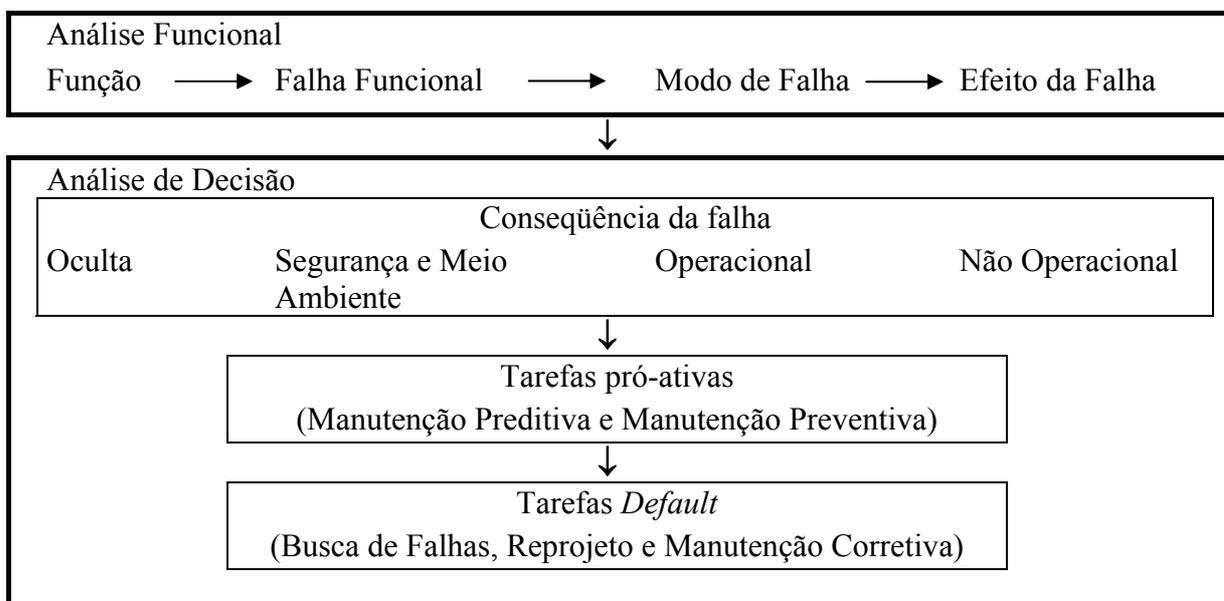


Figura 2.9: Processo da MCC segundo Moubray.

#### 2.3.4.1 Estratégias de Manutenção

Com o intuito de esclarecer e facilitar o entendimento desta proposta de trabalho, adotou-se como *estratégia de manutenção* a maneira pela qual a manutenção é planejada/orientada segundo a sua linha de atuação. Conforme

cita Moubray (SIQUEIRA, 2000), “a tecnologia de manutenção é tudo sobre encontrar e aplicar modos apropriados de gerenciar a falha”.

Com base nisso, as estratégias de manutenção, ou técnicas de gerenciamento da falha, podem ser classificadas nas seguintes categorias: reativa/default e pró-ativa. Cada categoria contém uma variedade de opções, sendo algumas mais efetivas que outras; necessita-se, portanto, não apenas conhecê-las, mas também efetuar a escolha correta da estratégia, segundo as características dos itens, das falhas, das suas conseqüências e da organização.

Dessa escolha resultará o sucesso, através do melhoramento do desempenho dos equipamentos, da contenção e posterior redução dos custos de manutenção e do aumento da segurança de operadores e pacientes; em caso contrário, advirá o fracasso, que, além de não atender aos propósitos iniciais, originará problemas ainda maiores, pois as falhas somente atraem a atenção por acarretarem conseqüências (SIQUEIRA, 2000).

#### 2.3.4.1.1 Pró-ativa

A estratégia de manutenção pró-ativa busca, através do conhecimento das funções, modos e efeitos de falha dos itens, identificar a causa da falha funcional. A partir disso, ações são tomadas antes que a falha ocorra, visando evitá-la.

As ações pertinentes a esse contexto incluem a manutenção preditiva, que se caracteriza pelo acompanhamento das condições dos itens físicos ao longo de sua vida útil até que alcancem ou ultrapassem limites mínimos aceitáveis de desempenho, quando, então, são substituídos, recuperados ou restaurados a condições satisfatórias, de forma a impedir o desenvolvimento da falha.

Outra política de manutenção adotada segundo uma estratégia pró-ativa é a manutenção preventiva, que consiste em um conjunto de procedimentos, rotinas e ações pré-estipuladas, realizadas em períodos ou número de ciclos também determinados previamente.

#### 2.3.4.1.2 Reativa

Uma estratégia de manutenção reativa/*default* é caracterizada pela realização de ações secundárias, caso uma estratégia pró-ativa, por qualquer motivo, não seja justificada. Ou seja, se, de acordo com as conseqüências de falhas funcionais de um item, nenhuma ação pró-ativa for tecnicamente realizável ou economicamente viável, ações reativas serão tomadas. As ações reativas constituem três grupos distintos, quais sejam:

- **busca de falhas** – realizada quando ações pró-ativas não resultem na redução do nível de risco de conseqüências de falhas múltiplas, associadas a um modo de falha oculto. Nesse caso, a primeira ação reativa aplicada é a busca de falha; em se tendo resultado insatisfatório, o item deve ser encaminhado para reprojeto em razão da possibilidade de conseqüências catastróficas;
- **mudança de projeto** – falhas funcionais com conseqüências que afetam, ainda, a segurança e a integridade física de operadores/mantenedores, ou que violem padrões ambientais; quando uma estratégia pró-ativa não reduza o risco a níveis aceitáveis, o item deve, necessariamente, ser reprojeto;
- **não programadas/corretiva** – são indicadas quando a falha não resulta em conseqüências de segurança ou ao meio ambiente e os custos operacionais e de conserto sejam menores que a realização de uma estratégia pró-ativa; neste caso, o item opera até falhar.

#### 2.3.4.2 Manutenção Preventiva

A representação clássica da MP desde o seu surgimento é a “curva da banheira”, a qual caracteriza revisões/descartes programados, assumindo-se que a probabilidade de falha é proporcional à idade do item. Isso, porém, abrange equipamentos/itens em que há contato direto entre as partes, tendo como resultado desgaste, fadiga, oxidação, corrosão e evaporação.

Contudo, ao contrário do que a MP tradicional assume, como mostrado anteriormente, a deterioração de itens proporcionalmente a sua idade

representa apenas a décima parte dos modos de falhas existentes, cerca de 11% (padrões A, B e C, como mostrado na Figura 2.2). As mudanças nos padrões de falhas dos equipamentos são devidas, sobretudo, ao aumento da sua complexidade nas últimas duas décadas, somando 89% dos modos de falhas existentes (representados pelos padrões D, E e F) (MOUBRAY, 1998a) (SILVA, 1998) (DUNN, 1998).

Apesar de a abordagem clássica da MP ainda representar a maioria dos textos relacionados à manutenção, especialmente na área hospitalar, as constatações relatadas por Nowlan e Heap (1978) contradizem a crença de que sempre há uma relação entre confiabilidade e idade operacional. Na prática, isso quase nunca é verdadeiro. A menos que haja um modo de falha dominante relacionado à idade, melhoram pouco ou nada a confiabilidade de itens complexos em virtude de representarem modos de falha randômicos (MOUBRAY, 1998b).

A generalização da MP, como feito até agora, torna-se agressiva à organização por ocasionar a indisponibilidade do equipamento, a possibilidade de retirada antecipada do item e a indução de falhas, tal como ilustrado na Figura 2.10.

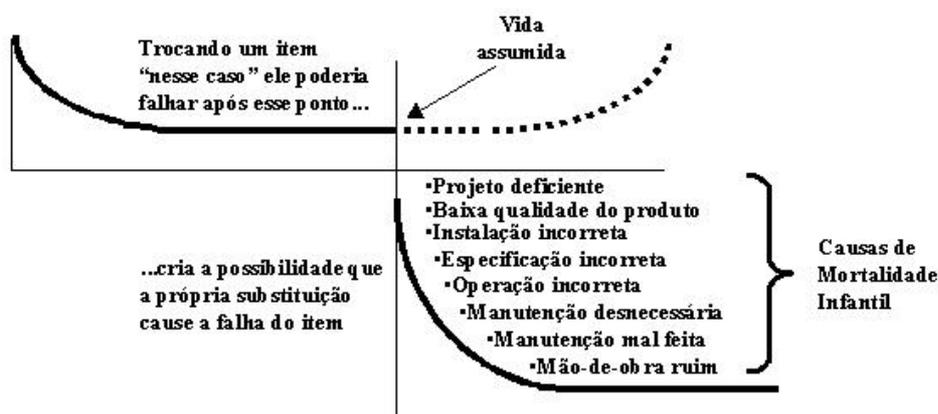


Figura 2.10: “Mortalidade infantil” induzida.

Entretanto, a MP, quando viável tecnicamente e custo-efetiva no processo de manutenção, em razão das limitações da MPd, pode ser classificada

em tarefas de restauração programada ou tarefas de descarte programado, que possuem restrições e aplicações específicas.

#### 2.3.4.2.1 Restauração Programada

Como mostrado anteriormente, a realização de ações preventivas só é viável tecnicamente se, primeiro, o modo de falha analisado possui características semelhantes aos padrões A, B e C, os quais caracterizam o desgaste e, segundo, atender aos seguintes aspectos:

- o item é caracterizado pela probabilidade de crescimento acentuado da probabilidade de falha com a idade, conforme Figura 2.11;
- a sua restauração restabelece a sua resistência original à falha.

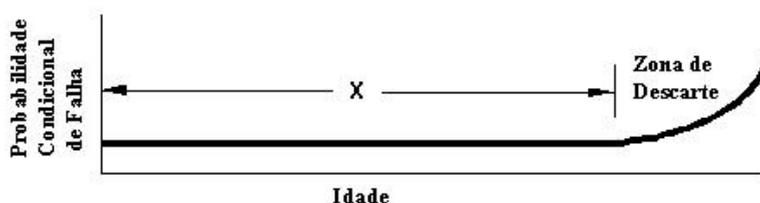


Figura 2.11: Padrão de modo de falha (caracterizando desgaste).

Assim como a viabilidade técnica, a frequência de restaurações programadas é regida pelas características dos modos de falha. No caso dos padrões A e B, a frequência é função da idade, com o que o item começa a apresentar um aumento da probabilidade condicional de falha. Já, para o padrão C, pelo menos quatro diferentes intervalos de restauração devem ser analisados para se determinar o seu intervalo ótimo.

Todavia, a identificação ou determinação das características dos modos de falha, as quais embasam as restaurações programadas, exigem um histórico de falhas confiável, o que dificulta em muito o processo.

A partir disso, se a falha resultar, invariavelmente, em conseqüências de segurança ou ambientais, ou em conseqüências operacionais

críticas, a determinação da freqüência de restaurações programadas deve garantir que a falha não ocorra antes do período-limite de vida do item admitido.

#### 2.3.4.2.2 Descarte Programado

Assim como em restaurações programadas, o descarte programado é indicado apenas aos gráficos A, B e C da Figura 2.2. O descarte programado visa garantir a continuidade das funções pela substituição de itens com idade limite especificada ou antes, independentemente das suas condições atuais.

Contudo, a MCC impõe considerações às atividades de descarte programado e estabelece dois tipos diferentes de final de vida dos itens. Às atividades que visam prevenir falhas que causam conseqüências à segurança ou ao ambiente denomina-se Limite de Vida Segura; às falhas com outros tipos de conseqüências denomina-se Limite de Vida Econômica (MOUBRAY, 1997).

**Limite de Vida Segura** – visa prevenir todas as falhas; desse modo, não pode ser aplicado aos itens regidos pelo padrão A (Figura 2.2), em razão da probabilidade de falhas prematuras (mortalidade infantil), como também a itens com probabilidade inicial de falha maior que zero. Uma vez conhecida a vida útil do item, uma fração preservativa dessa vida (dividindo-se o valor da vida útil por um fator de segurança, três ou quatro) é usada como limite de vida segura, conforme mostra a Figura 2.12 (JOHNSTON, 2001).

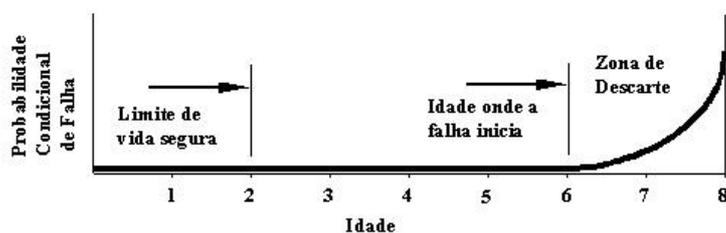


Figura 2.12: Curva característica de limite de vida segura.

**Limite de Vida Econômica** – sua aplicação é indicada caso seja possível evitar ou reduzir as conseqüências operacionais ou riscos secundários significantes das

falhas. Assim como qualquer atividade preventiva, deve-se conhecer o padrão do modo de falha que é compatível com as atividades.

### 2.3.4.3 Manutenção Preditiva

A MPd visa determinar o estado real de um item (peça/equipamento/sistema) com base nos dados coletados por meio de diversas técnicas, em inspeções realizadas numa frequência determinada. Entretanto, essa frequência não depende, como normalmente se preconiza, da frequência da falha ou da criticidade do item (MOUBRAY, 1998a).

A frequência da MPd é baseada na premissa que reconhece que a maioria das falhas não acontece instantaneamente e que a sua ocorrência pode ser detectada. Assim, a determinação do período entre o início da deterioração (falha potencial) e o ponto que culmina com a falha funcional é chamado intervalo P-F, conforme mostrado na Figura 2.13 (MOUBRAY, 1998a).

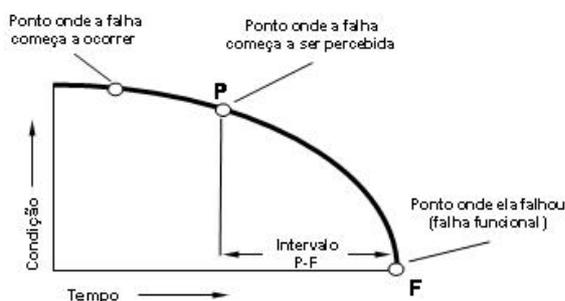


Figura 2.13: Representação da curva P-F.

O intervalo P-F orienta, indiretamente, a frequência com a qual as tarefas preditivas devem ser realizadas, determinando o intervalo de verificação, normalmente medido em termos de tempo, como também ciclos de máquina ou unidades produzidas.

A definição do valor do intervalo de inspeção e, conseqüentemente, da sua frequência pode variar de, pelo menos, a metade do valor do intervalo P-F até frações desse, de acordo com o tempo necessário para atuação na programação e correção da falha potencial (intervalo líquido). Dentre as ações que merecem ser planejadas estão: evitar as conseqüências da falha; planejar as ações corretivas visando minimizar os transtornos aos setores envolvidos e

disponibilizar os recursos necessários à correção da falha funcional. A Figura 2.14 é um exemplo de intervalo de inspeção e intervalo líquido (MOUBRAY, 1997).

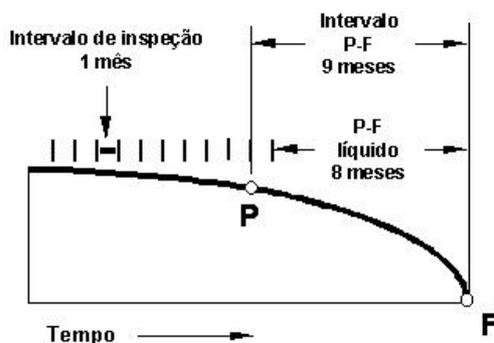


Figura 2.14: Intervalo líquido de inspeção.

Se, entretanto, o intervalo P-F for muito pequeno, impossibilitando o planejamento e a tomada de decisão para correção da falha, o modo de falha considerado não viabiliza tecnicamente a realização de tarefas baseadas na condição. Nesse sentido, avalia-se que, em uma planta industrial moderna, a viabilidade técnica de ações preditivas limita-se apenas a 20% do total de modos de falhas existentes (DUNN, 1998) (MOUBRAY, 1997).

A um mesmo modo de falha podem ser aplicadas diferentes técnicas para a detecção da falha. A Figura 2.15 apresenta um exemplo de modos de falhas de um rolamento, os quais são precedidos por diversas falhas potenciais, detectadas por diferentes técnicas de monitoramento da condição (MOUBRAY, 1998a).

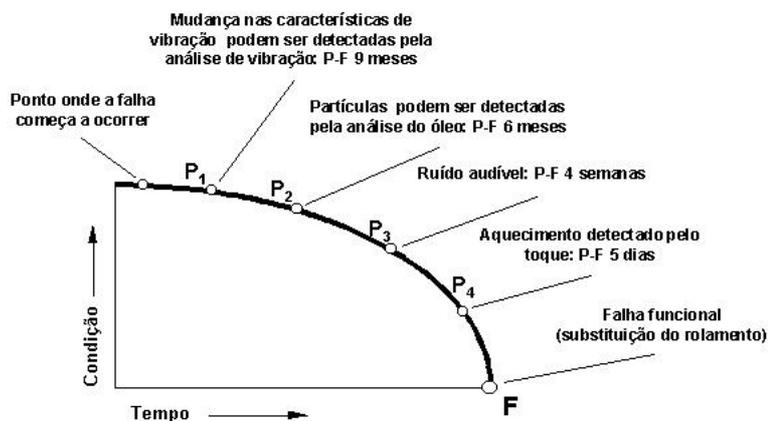


Figura 2.15: Falhas potenciais que podem preceder um modo de falha.

#### 2.3.4.4 Manutenção Detectiva

Manutenção Detectiva, como foi denominada por Jonh Moubray, é uma política de manutenção que visa atender a toda uma gama de equipamentos e modos de falhas que não se enquadram em qualquer uma das políticas tradicionais. “Manutenção detectiva ou de busca de falhas, somente se aplica a falhas ocultas e falhas que afetam dispositivos protetores” (DUNN, 1998). Ou seja, são falhas ocultas que, por si próprias, não são evidentes em condições normais, caracterizadas principalmente em dispositivos e sistemas de proteção em regime de espera *standby* (DUNN, 1998). A denominação *detectiva* foi sugerida por Moubray para se manter a mesma terminologia das demais políticas.

A adoção dessa política é reforçada quando conhecido que, em sistemas industriais modernos e complexos, 40% dos modos de falhas ocorridos são classificados na categoria “ocultas” e 80% desses requerem a averiguação da falha, o que resulta em que, aproximadamente, um terço das tarefas sejam detectivas (MOUBRAY, 1997).

Moubray cita ainda que programas de manutenção tradicionais existentes realizam algum tipo de cuidado a apenas um terço dos dispositivos protetores existentes e, normalmente, em intervalos inadequados. Desse modo, tornam-se fundamentais o estudo e a implementação de soluções para essa significativa porção de equipamentos relegados ao desleixo, o que é possível mediante a implementação dos princípios da MCC.

#### 2.3.4.5 Diagrama de Decisão

O diagrama de decisão, característica exclusiva da metodologia MCC, estabelece as políticas de gerenciamento da falha a serem utilizadas, viáveis tecnicamente e mais custo-efetivas, a partir de respostas do tipo *sim* ou *não* (FLEMING & FRANÇA, 1997) (FLEMING, 2000).

Moubray, o autor escolhido no desenvolvimento deste trabalho, propõe o processo mostrado na Figura 2.16. A primeira linha de blocos classifica, a partir das respostas a perguntas, as conseqüências dos modos de falha. São

elas: H – *hidden* (oculta), S – *safety* (segurança), E – *environment* (ambiental) e O – *operation* (operacional).

Uma vez que a determinação das conseqüências esteja definida e a coluna referente tenha sido especificada (H, S, E ou O), os passos seguintes avaliam a viabilidade técnica e econômica de tratamento da falha, conforme os blocos X1, X2,.....,Xn, resultando na política de manutenção especificada para cada item. Se, por meio da avaliação, resultar, entretanto, que nenhuma ação pró-ativa seja viável tecnicamente ou custo-eficiente, uma ação reativa/*default*, ou alguma de suas variações (busca de falhas, reprojeto ou MC), deverá ser realizada.

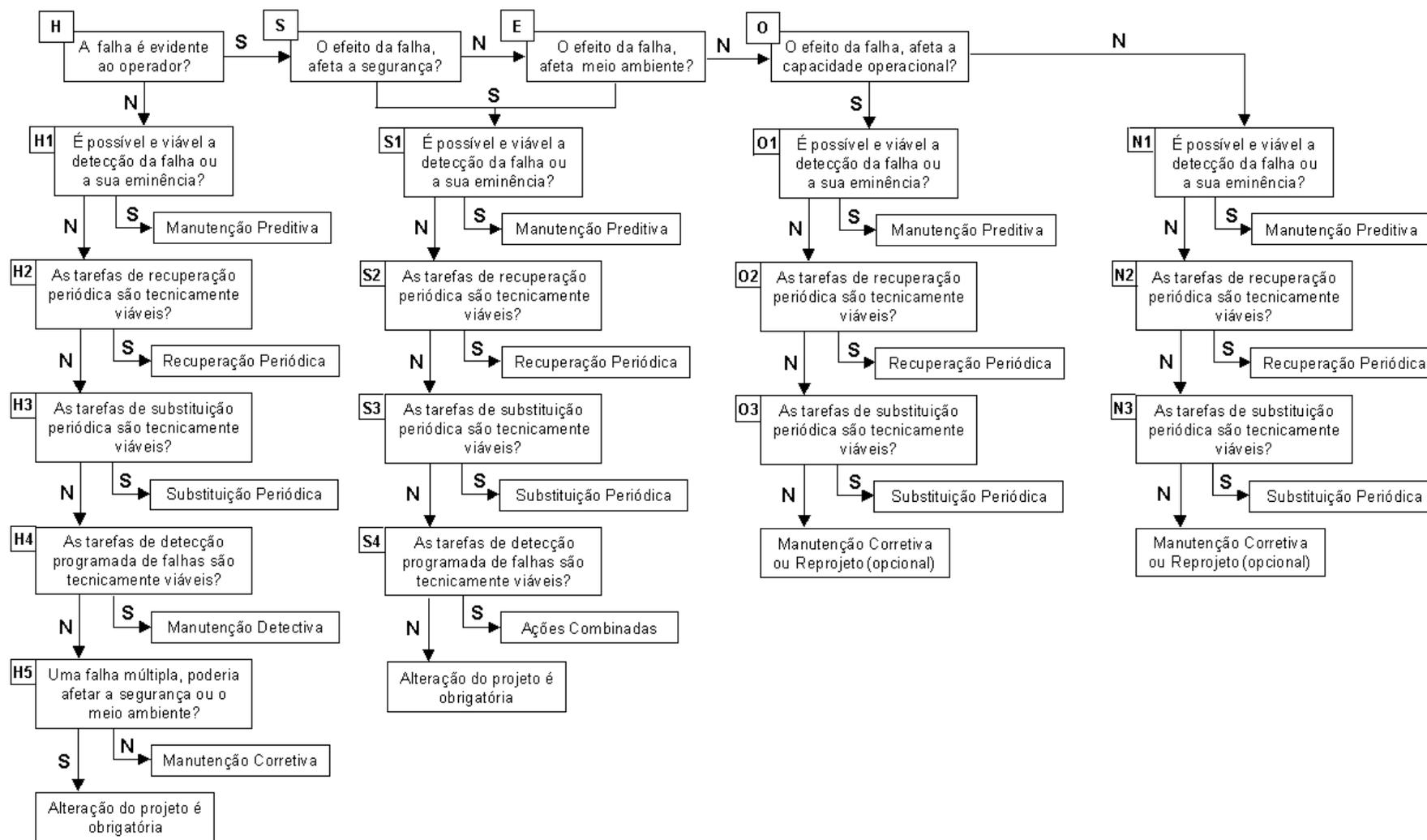


Figura 2.16: Diagrama de Decisão (MOUBRAY, 1997).

#### 2.3.4.6 Planilha de Decisão

A planilha de decisão é formada por um cabeçalho geral de identificação do item e controle da planilha, além de 16 colunas relativas ao plano de decisão, conforme apresenta o Quadro 2.3. Ela promove a sistematização de todas as fases da MCC para cada sistema/subsistema.

As colunas F – função, FF – falha funcional e MF – modo de falha caracterizam e identificam o item analisado, relacionando-o a uma planilha FMEA. Por sua vez, os cabeçalhos das seguintes dez colunas referem-se a questões do diagrama de decisão, tais como:

- as colunas H, S, E, O e N são usadas para registrar as respostas às questões com respeito às conseqüências de cada modo de falha;
- as colunas H1, H2, H3, S1 etc. registram se uma ação pró-ativa foi selecionada e o seu tipo;
- as respostas às questões reativas/default são registradas nas colunas H4 e H5 ou S4.

As três colunas restantes registram as ações que devem ser tomadas, a freqüência de realização e o responsável por fazê-las. A coluna “ação proposta” registra, ainda, os casos em há necessidade de mudança de projeto ou de manutenção corretiva.

Freqüência Inicial: O intervalo das ações é registrado na planilha de decisões na coluna “Freqüência Inicial”. Como já visto, o intervalo de ações é baseado nos seguintes aspectos:

- o intervalo de ações baseadas na condição é regido pelo intervalo P-F;
- o intervalo de ações de restauração e descarte programado depende da vida útil do item considerado;
- o intervalo de ações de busca-de-falhas é regido pelas conseqüências das falhas múltiplas, as quais ditam a eficiência necessária e o tempo médio entre falhas da falha oculta.

Exemplos de planilhas de decisão desenvolvidas neste trabalho são mostrados no Quadro 4.5 e nos Anexos 1.2, 2.2 e 3.2.

Quadro 2.3: Planilha de decisão da MCC.

Sistema:							Sistema Nº:		Realizado por:			Data: / /		Folha Nº: 1	
Subsistema:							Subsistema Nº:		Revisado por:			Data: / /		De: 3	
Referência da Informação			Avaliação das Conseqüências				H1	H2	H3	Ações Reativas			Ação Proposta	Frequência Inicial	Execução
							S1	S2	S3						
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			

Fonte: Moubray, 1997.

### 2.3.5 PROCESSO DA MCC – Segundo Smith

Anthony M. Smith, um dos precursores da aplicação da MCC em usinas nucleletricas norte-americanas na década de 1980 (VIZZONI, 1998), propunha que “o objetivo principal da MCC é estabelecer um processo racional e sistemático de análise que permita a definição de tarefas de manutenção de qualquer item físico, visando a garantia da confiabilidade e da segurança operacional ao menor custo possível” (SMITH, 1993). Ou seja, em essência: preservar as funções do sistema, identificar os modos de falha, determinar a importância das falhas e selecionar as atividades de MP mais eficazes e aplicáveis.

Para o estabelecimento de tais objetivos, o autor propõe a aplicação de sete passos, conforme ilustrado na Figura 2.17 a seguir.

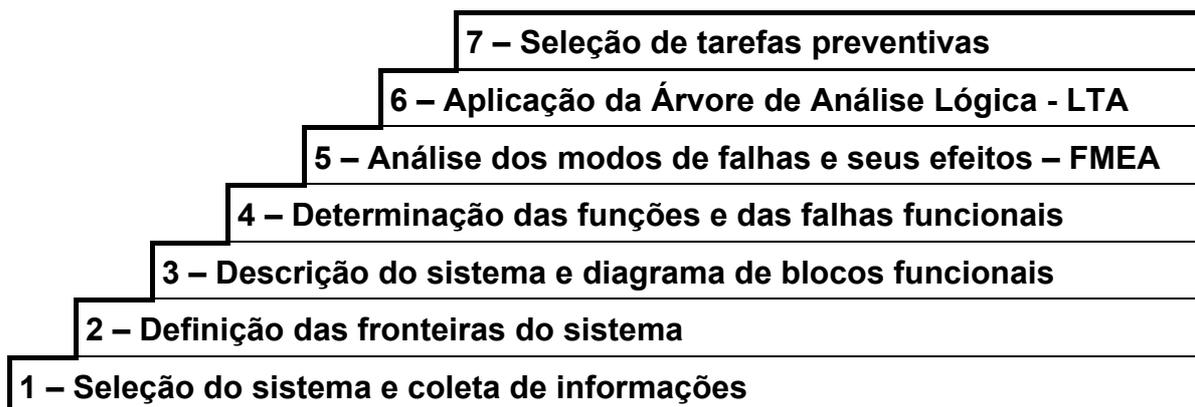


Figura 2.17: Os sete passos básicos para a aplicação da MCC segundo Smith.

Fleming (2000) divide a aplicação das etapas da MCC, segundo a análise da relação entre cada tarefa e as características de confiabilidade dos modos de falha do equipamento, em duas classes: *essencial* – do ponto de vista de segurança e ambiental, e *desejável* – do ponto de vista de custo-benefício (perda da capacidade operacional e indisponibilidade são consideradas custos). O autor sintetiza os sete passos da aplicação da MCC propostos por Smith, conforme a Figura 2.18.

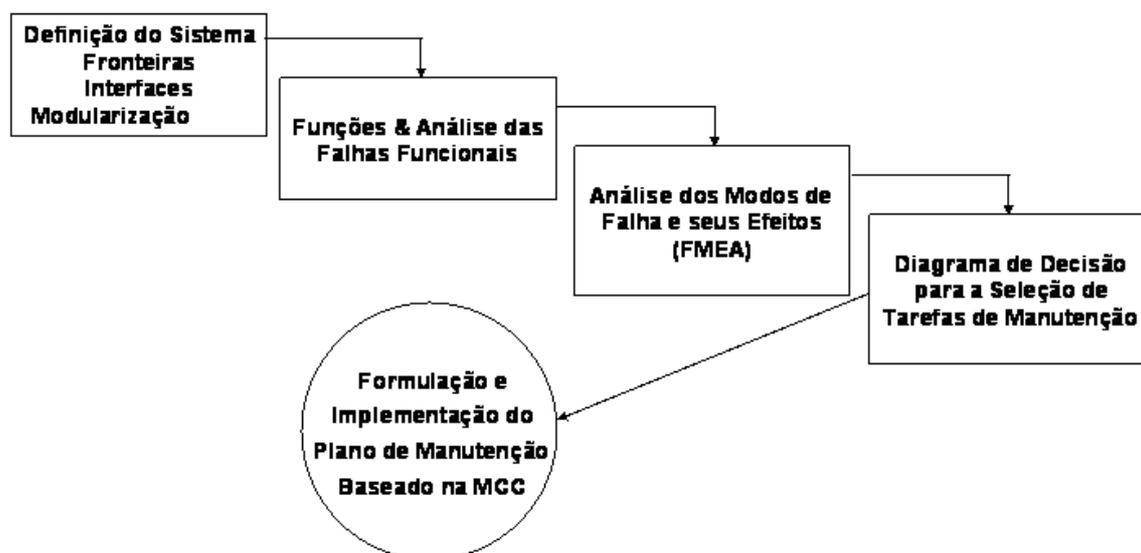


Figura 2.18: Visão geral do processo de aplicação da MCC segundo Fleming (2000).

Os objetivos da MCC defendidos por Smith, bem como o seu processo de aplicação, são, de modo geral, similares aos propostos por Moubray, vistos anteriormente, salvo algumas diferenças quanto à percepção das políticas de manutenção, à priorização das falhas e em relação ao algoritmo de determinação das tarefas de manutenção. Tais aspectos serão sinteticamente tratados a seguir.

### 2.3.5.1 Tarefas de Manutenção

Smith, contrapondo-se à abordagem proposta por Moubray, denomina e classifica como tarefas de manutenção preventivas três formas básicas de atuação: manutenção Baseada no Tempo (BT), manutenção Baseada na Condição (BC) e tarefa de Descoberta de Falhas (DF) (SMITH, 1993):

**Baseada no tempo** – ocorre em intervalos de tempo fixos, contados cronologicamente (tempo de calendário) por marcadores de tempo ou número de ciclos; visa à prevenção das falhas;

**Baseada na condição** – realizada por meio do monitoramento de parâmetros, os quais, com base na avaliação dos dados coletados, determinam o melhor momento para se intervir;

**Descoberta de falhas** – tarefas destinadas a verificar a ocorrência de falhas não reveladas (geralmente, equipamentos de proteção e de reserva), focadas na descoberta de falhas não reveladas antes de uma demanda operacional.

### 2.3.5.2 Classificação das Conseqüências dos Modos de Falhas

O diagrama de classificação das conseqüências dos modos de falhas ou de priorização das falhas, também conhecido como *Árvore de Análise Lógica/Decisão* (*logic (decision) tree analysis* – LTA), é uma ferramenta típica da MCC, resultado da evolução de uma técnica simples de diagrama de decisão lógico para a elaboração e revisão de programas de manutenção preventiva, desenvolvido por Nowlan e Heap na década de 1960 (VIZZONI, 1998).

O propósito do diagrama de classificação das conseqüências dos modos de falha é a priorização dos esforços e dos recursos materiais dispensados para cada modo de falha. Além de permitir uma análise rápida e precisa dos modos de falha, classifica-os por meio de respostas lógicas tipo “sim” ou “não”, em uma das quatro categorias de conseqüências: *Categoria A* – relativas à segurança ou ao ambiente; *Categoria B* – relacionadas à operação; *Categoria C* – relacionadas aos custos de reparos; e *Categoria D* – falhas não reveladas. A Figura 2.19 mostra o diagrama lógico empregado por Smith (1993).

Serão considerados prioritários os modos de falha que envolverem aspectos de segurança ou que tenham impacto sobre a disponibilidade dos sistemas. Assim, a prioridade de manutenção deve ser dada às falhas classificadas como: 1<sup>o</sup> A ou D/A, 2<sup>o</sup> – B ou D/B e 3<sup>o</sup> C ou D/C (VIZZONI, 1998).

Vizzoni ressalta ainda que as falhas classificadas como C (ou D/C) não serão incluídas no programa de manutenção preventiva, sendo objeto de manutenção corretiva, quando necessário. Essa recomendação, sobretudo, é que leva às maiores resistências contra a MCC (VIZZONI, 1998).

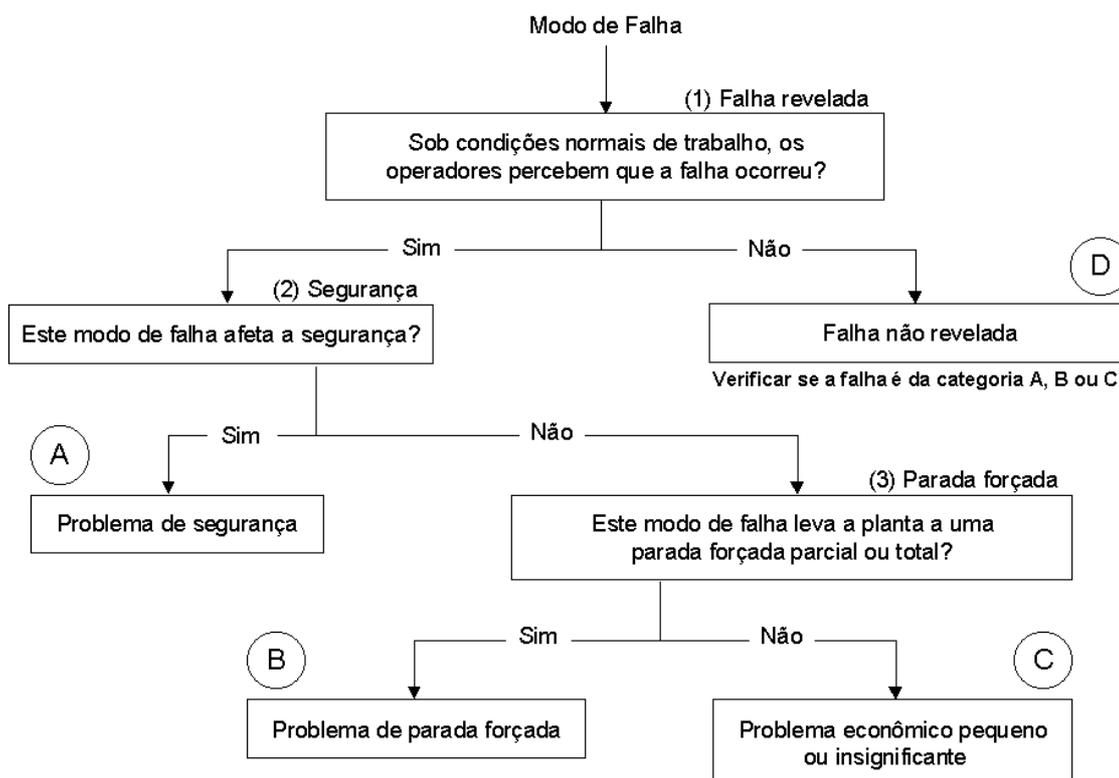


Figura 2.19: Estrutura da árvore lógica de análise segundo Smith.

### 2.3.5.3 Seleção das Tarefas Preventivas

Uma vez identificados os modos de falha e classificados com base nas suas conseqüências, a metodologia MCC estabelece que sejam identificadas as tarefas de manutenção mais adequadas à prevenção de tais conseqüências de falhas. No contexto da MCC, tomando-se por base seus preceitos, entende-se por tarefas de manutenção mais adequadas as tarefas que sejam: *aplicáveis* – significa que, se a tarefa for executada, ela resulte na prevenção ou mitigação da falha, ou na descoberta do início do processo da falha; e *eficazes* – significa compensar o investimento dos recursos necessários para executá-la (VIZZONI, 1998; SMITH, 1993).

A ferramenta utilizada pela MCC para a seleção das tarefas mais aplicáveis e eficazes, levando em conta as características de confiabilidade dos modos de falha, é o Diagrama Lógico de Seleção (equivalente ao Diagrama de

Decisão proposto por Moubray). Podem-se estabelecer as características desse processo pela análise dos elementos componentes de sua denominação: *diagrama* – estrutura e documenta o processo de seleção, constituindo uma das qualidades da MCC, a documentação de cada etapa do processo (VIZZONI,1998); *lógico* – utiliza-se de respostas lógicas do tipo sim/não para a condução do fluxograma e determinação das tarefa; *seleção* – determina a tarefa mais adequada a partir das conseqüências de falha.

Essa sistemática de seleção de tarefas de manutenção (como já visto, baseadas no tempo - BT, baseadas na condição - BC, descoberta de falhas - DF e manutenção corretiva - MC) é uma característica ímpar da MCC e é proposta por Smith (1993), conforme a Figura 2.20.

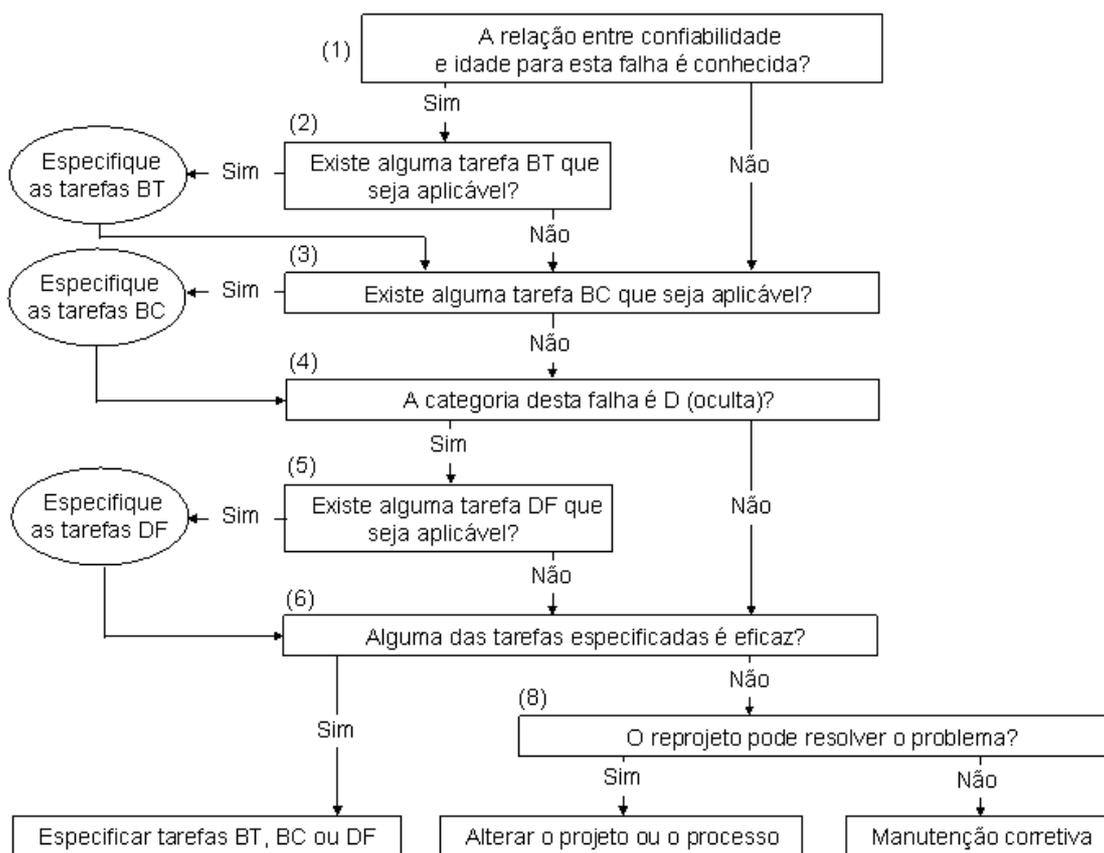


Figura 2.20: Diagrama lógico para seleção de tarefas de manutenção segundo Smith (1993).

### 2.3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o autor desta tese, com base no levantamento bibliográfico realizado, na participação em debates específicos sobre o tema e no conhecimento adquirido com a aplicação prática da metodologia, “MCC traduz-se em uma metodologia investigativa, lógica e estruturada, a qual fornece argumentos, rastreados e baseados no conhecimento, para a tomada de decisão relativa aos procedimentos de manutenção mais viáveis e custo-efetivos para cada item”.

A sistematização do conhecimento, ora tratada neste item, focaliza o posicionamento da MCC no cenário mundial, tratando de seus preceitos, abordagens e requisitos. No contexto atual deste estudo, destacaram-se dois autores, sobretudo por melhor retratarem o aspecto metodológico de aplicação da MCC: John Moubray e Anthony Smith.

Após avaliação de ambas, optou-se pela abordagem proposta por Moubray, o RCM 2, como fundamentação teórica necessária para a obtenção do objetivo principal deste trabalho, ou seja, a formulação de uma proposta de aplicação da MCC para EMH em EAS.

A obra de Moubray tem como características marcantes o embasamento teórico profundo dos temas de que trata e o detalhamento das informações, o que a torna mais didática e rastreável, aspectos essenciais segundo as pretensões desta tese de doutorado, apesar de, segundo Vizzoni (1998), enveredar pela criação de novas terminologias e associar a aplicação da MCC a altos custos iniciais de treinamento dos participantes.

Smith, por outro lado, enfatiza em suas publicações a face mais prática e simplificada da aplicação da metodologia, sem, entretanto, fragilizar ou empobrecer os preceitos fundamentais de aplicação da MCC, o que não inviabiliza sua aplicação na área hospitalar.

Ressalta-se, entretanto, que a validação e a comparação de resultados de ambas as metodologias estão fora do escopo dos objetivos deste trabalho.

Dessas abordagens principais, consideradas as mais conhecidas e utilizadas em todo o mundo, diversas aplicações derivadas foram adaptadas às

circunstâncias específicas de cada área. Dentre uma vasta gama de exemplos descritos na literatura (DURÁN, 2001; EISINGER & RAKOWSKY, 2001; JOHNSON, 2001; HAUGE & JOHNSON, 2001; PEREIRA & SENA, 2001; CROCKER & KUMAR, 2000; GOODFELOW, 2000; REDER & FLATEN, 2000; HIPKIN & COCK, 2000; ABDUL-NOUR et al., 1998; VATN, 1997; PUJADAS & CHEN, 1996; LePree, 1996; HOLLICK & NELSON, 1995; KLEIN, 1993), incluem-se Rajotte & Jolicoeur (2000) em sistemas de transmissão de energia, os quais limitaram as considerações da abordagem clássica da MCC apenas à revisão do programa de MP visando a maior agilidade na aplicação da metodologia. Outros exemplos são dados por D'Addio et al. (1998) e D'Addio et al. (1997), os quais incorporaram o modelo Estocástico das Redes de Petri no auxílio à avaliação da relação custo/benefício das diferentes políticas de manutenção empregadas pela MCC, além da estimativa de sobressalentes da equipe de manutenção.

### **3. PROPOSTA DE APLICAÇÃO DA MCC A EMH – Metodologia Desenvolvida**

Este capítulo visa, com base no referencial teórico estabelecido no capítulo 2 – o qual detalha a sistemática desenvolvida e aplicada no setor industrial – estruturar uma proposta original de gestão da manutenção em EAS pela aplicação da MCC a EMH como contribuição ao processo de GTMH em EEC.

A investigação conduzida acerca da MCC, contemplando as nuances dos diversos setores da produção de bens e serviços, e a participação efetiva em EEC propiciaram as condições necessárias ao modelamento da MCC ao ambiente hospitalar e a sua formatação às necessidades da gestão de tecnologia desse setor.

Conforme já discutido (item 2.3), a aplicação do processo MCC, em qualquer ambiente, é balizada, sobretudo, pela resposta seqüencial das sete questões fundamentais (NETHERTON, 2001; SAE, 1999). Desse modo, para dar respostas a essas perguntas, a metodologia desenvolvida como proposta de aplicação da MCC a EMH foi sistematizada em quatro fases – *planejamento, análise técnica, análise qualitativa e avaliação* – compostas por etapas distintas e cuja configuração caracteriza um processo sistêmico. A Figura 3.1 mostra as quatro fases do processo MCC para EMH, bem como representa, de forma ilustrativa, a sua correlação e interdependência com as diversas etapas do processo de GTMH.

A ilustração torna evidente a necessidade da fundamentação do processo MCC sobre a base sólida de desenvolvimento de atividades de GTMH, as quais suprem informações para o seu desenvolvimento como também são realimentadas e qualificadas com os resultados derivados da MCC.

A Figura 3.2, por sua vez, especifica as várias etapas pertencentes às fases do processo MCC e mostra a correlação dessas fases ao método PDCA.

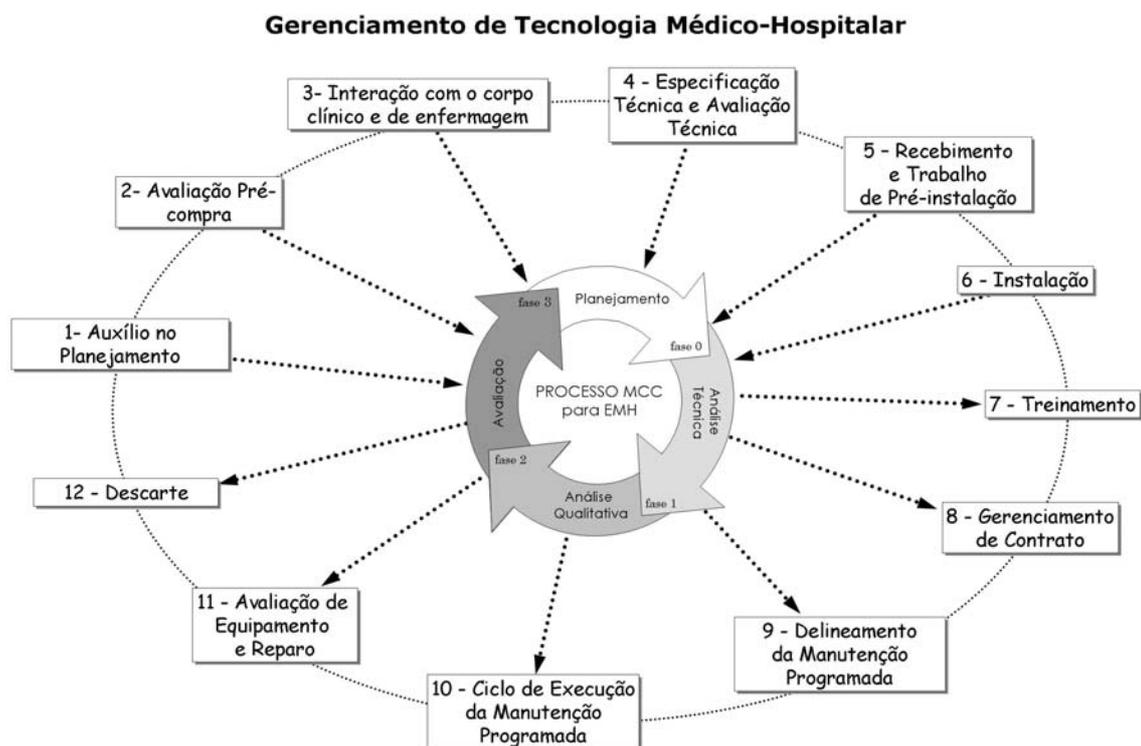
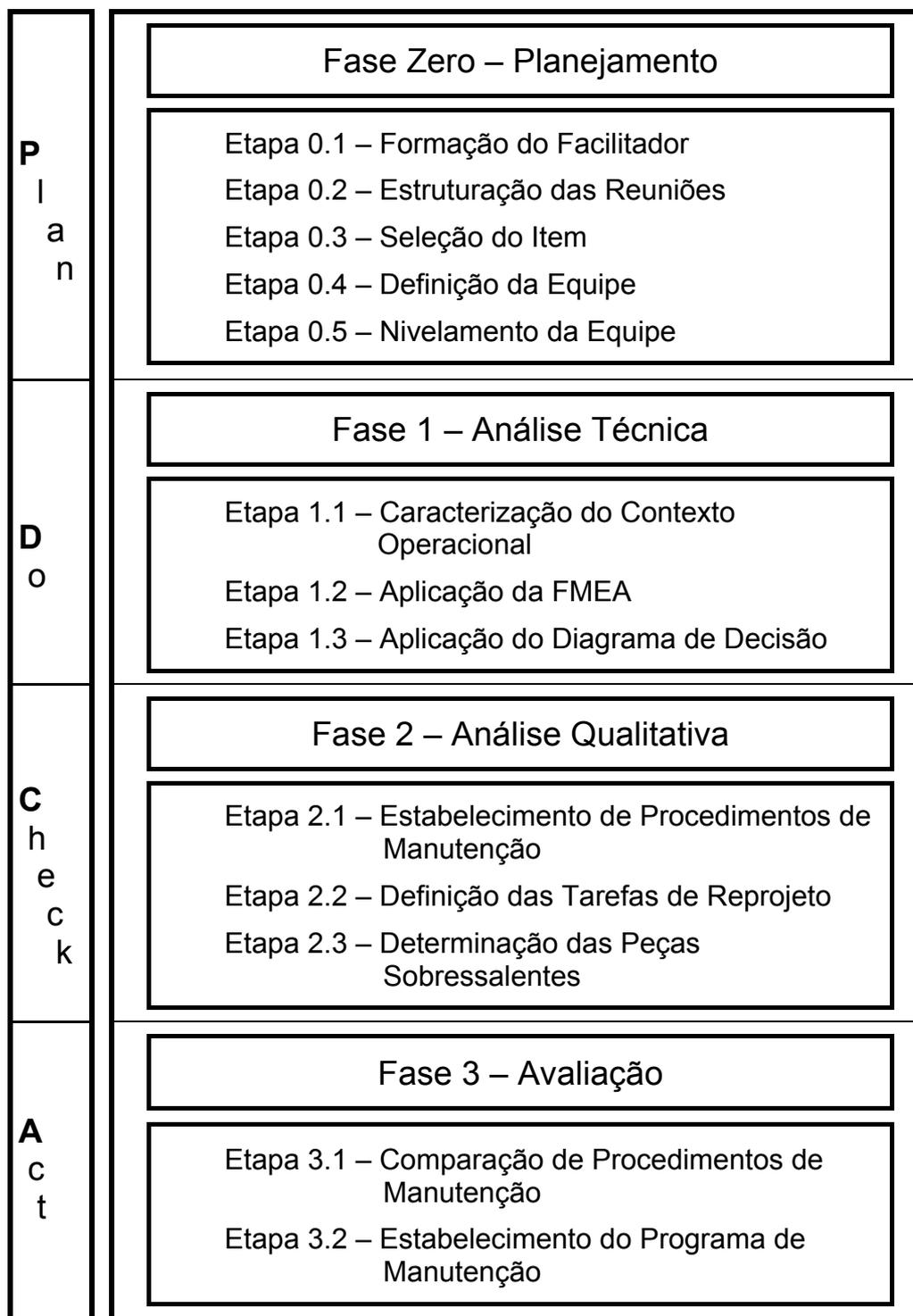


Figura 3.1: Processo de aplicação da MCC em EAS para EMH nas suas diversas fases e a sua correlação e interdependência com as atividades desenvolvidas no processo de GTMH.

## PROCESSO MCC PARA EMH



Fonte: Primária

Figura 3.2: Processo de aplicação da MCC em EAS para EMH passo-a-passo *versus* o Método PDCA.

### 3.1

### **FASE ZERO – PLANEJAMENTO**

A aplicação da MCC em EAS, assim como em outros setores cujas características tecnológicas são peculiares e particulares a cada ambiente, prescinde, fundamentalmente, do estabelecimento de ações preparatórias, as quais estabelecem a fase de planejamento no processo da MCC, podendo ser classificadas em cinco etapas.

### 3.1.1 ETAPA 0.1 - FORMAÇÃO DO FACILITADOR

O facilitador é o componente mais importante no processo de revisão da MCC, responsável por garantir o entendimento e a aplicação da filosofia da MCC pela equipe de revisão. Ele deve assegurar que os itens sejam claramente definidos, que aspectos importantes não sejam esquecidos e que os resultados da análise sejam sistematizados.

O facilitador deve estabelecer o consenso das questões divergentes sem prejuízos ao entusiasmo e comprometimento individual dos membros da equipe.

Moubrey (1997) defende que a formação do facilitador deve garantir uma grande diversidade de aspectos, 45 no total, os quais são reunidos em cinco prerrogativas básicas para o estabelecimento de um padrão mínimo do processo da MCC, sejam eles:

- garantir a aplicação da lógica da MCC;
- gerenciar a análise dos resultados;
- estruturar e conduzir as reuniões;
- administrar o tempo;
- interagir com outros setores.

Entretanto, a dependência de que haja treinamento formal por empresas especializadas na formação de equipes de MCC para que se atinja um grau de conhecimento adequado, conforme propõe Moubrey, é contestada por Vizzoni (1998). Com isso, os custos da implantação crescem sobremaneira, muitas vezes não justificando a implantação (PURUCKER apud VIZZONI, 1998). Vizzoni comenta ainda:

*[...]em razão da simplicidade da metodologia, sua racionalidade, estruturação e ênfase na documentação a tornam facilmente assimilável através do autotreinamento de engenheiros e técnicos, cuja formação profissional os capacita a lidar com questões muito mais complexas que a seleção de tarefas de manutenção.*

Este trabalho caracterizou-se, numa primeira fase, pela atuação na área predeterminada, objeto deste estudo, em estruturas de gerenciamento da manutenção em EAS. Essa experiência, que caracterizou grande parte do primeiro ano de pesquisas, forneceu os subsídios necessários à determinação do processo ao qual a manutenção dos EMH está submetida. Nesse sentido, pôde-se caracterizar *in loco* como se comporta uma estrutura de manutenção, a sua organização, os diversos elementos a ela ligados, como, por exemplo, o relacionamento entre setores e empresas terceirizadas, as dificuldades e considerações necessárias à programação e execução da manutenção, a importância da disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, a limitação de recursos nos diversos setores do hospital, entre muitos outros fatores intrínsecos à área da saúde. Entretanto, cabe ressaltar que as características identificadas nos ambientes estudados formam apenas parte da realidade do setor, o que exigiu a análise de aspectos genéricos encontrados na maioria dos EAS para a elaboração de uma metodologia consistente, realizada por meio da revisão bibliográfica.

De outro modo, a formação necessária à aplicação da MCC em EAS, por parte do autor e facilitador deste trabalho, foi fundamentada na revisão bibliográfica em obras nacionais e especialmente em internacionais para a contextualização da manutenção, bem como dos seus rumos, nos setores industriais e de saúde. A autoformação do facilitador, além da investigação sobre o tema, passa, necessariamente, pela participação em eventos e cursos relacionados à MCC. Citam-se, nesse sentido, a publicação de trabalhos técnicos e a participação em três edições do Congresso Brasileiro de Manutenção, no Seminário Brasileiro de Manutenção e no *Workshop* – Manutenção Centrada em Confiabilidade.

### 3.1.2 ETAPA 0.2 – ESTRUTURAÇÃO DAS REUNIÕES

Uma vez reunidas as características intrínsecas ao perfil e funções do facilitador necessárias à aplicação da MCC para EMH, conforme discutido no item 3.2.1, seja pela sua formação seja por contratação, o início dos trabalhos exige o planejamento e a estruturação das reuniões de revisão. Nesta etapa, são definidos todos os aspectos relacionados à logística das reuniões, ou seja, definição do local de realização das reuniões; acomodações e material audiovisual necessário; documentos de apoio (planilhas FMEA e de decisão; diagrama de decisão, apostilas).

Outro aspecto relacionado ao planejamento das reuniões é a definição da sua frequência de realização e duração. Tais parâmetros são variáveis e dependentes do contexto funcional de cada EAS. Entretanto, para a obtenção de um padrão mínimo de efetividade, a relação duração/frequência das reuniões não deve ser inferior a duas horas por semana, nem deve ser superior à doze horas semanais.

### 3.1.3 ETAPA 0.3 – SELEÇÃO DO ITEM

O tema seleção/priorização de EMH para a realização de programas de MP tradicionais tem recebido especial atenção em textos referendados pela comunidade científica da área, desde o surgimento das primeiras práticas de MP nesse meio, conforme discutido nos itens 2.2.2 e 2.3.1.1, os quais constituem uma excelente alternativa para a aplicação da MCC. A adoção da metodologia mais adequada, dependerá das características do EAS e da capacidade técnica da EEC local.

A nova abordagem proposta pela MCC para programas de MP adota, entretanto, a função do item como objeto de estudo e análise, o qual pode representar qualquer parte, componente, equipamento ou sistema (um item pode, eventualmente, incluir pessoas), conforme a norma NBR 5462 (ABNT, 1994) e já abordado anteriormente. Nesse sentido, e em complemento aos métodos de seleção de EMH propostos, a aplicação da MCC pode contemplar parte de equipamento, equipamentos, sistemas (conjunto de equipamentos) e, com as devidas considerações, setores, no caso de uma análise do processo.

A contextualização desempenha um papel determinante na aplicação da MCC e, por conseqüência, na seleção do item para análise, não invalidando, portanto, a escolha de itens com base na percepção dos atores do processo (diretores, operadores/usuários ou mantenedores) pela identificação de necessidades críticas/crônicas nos EAS.

#### 3.1.4 ETAPA 0.4 – DEFINIÇÃO DA EQUIPE

A definição dos membros componentes da equipe de revisão para aplicação da MCC a EMH é baseada na participação e coordenação do facilitador, de acordo com as especificidades tratadas na Etapa 0.1 deste processo, bem como no item selecionado Etapa 0.3, o qual determinará, dentre os potenciais participantes (engenheiros, técnicos e operadores), quais os perfis, segundo sua formação e qualificação, mais indicados.

A formação do grupo de revisão, entretanto, pode contemplar o objetivo secundário, ou principal, de treinamento multidisciplinar ou dirigido, o que não exige a necessidade de especialistas no item abordado. Ao grupo de revisão podem ser integrados operadores/mantenedores com o intuito de aprimorar o seu conhecimento quanto ao funcionamento e funcionalidade do EMH, facilitadores em formação (para a prática e interação com o processo), bem como administradores/gestores/diretores (visando à obtenção de argumentos confiáveis e rastreáveis de auxílio à decisão, no caso de análise de processo).

#### 3.1.5 ETAPA 0.5 – NIVELAMENTO DA EQUIPE

A última etapa da fase de planejamento das atividades do processo MCC visa ao nivelamento da equipe/grupo de revisão, de modo que um nível mínimo de conhecimentos básicos relacionados seja assegurado. Nesse sentido, o estabelecimento desta etapa resultará no reforço de aspectos já conhecidos, na correção e esclarecimento de pontos duvidosos, bem como na formação de novos conceitos, preceitos e aspectos operacionais relacionados à manutenção, à MCC

e aos seus procedimentos operacionais (preenchimento de planilhas, por exemplo).

### **3.2 FASE 1 – ANÁLISE TÉCNICA**

O processo da MCC, em sua estrutura funcional, pode ser comparado, salvo as devidas adaptações, ao Método de Gerenciamento PDCA – Plan, Do, Check e Act –, como ilustrado na Figura 3.2. Tomando-se esta assertiva como linha-base, a fase de execução (Do) do método PDCA pode ser correlacionada à análise técnica do processo da MCC.

Essa fase congrega todos os preceitos fundamentais da MCC quando executada plenamente, o que a torna a mais importante e trabalhosa fase do processo, exigindo a contribuição efetiva de todos os membros da equipe/grupo de revisão, sobretudo da condução do facilitador, atuando como elemento catalisador do conhecimento gerado, além da efetiva execução da fase de planejamento.

#### **3.2.1 ETAPA 1.1 – CARACTERIZAÇÃO DO CONTEXTO OPERACIONAL**

Assim como os elementos, função do item e conseqüências de falha, contexto operacional constitui uma das palavras-chave na aplicação da MCC. Conforme discutido no item 2.3.2.4, a identificação do contexto operacional significa determinar todos os aspectos que afetam não apenas as funções e expectativas de desempenho relacionadas ao item analisado, mas também a natureza dos modos de falha, seus efeitos e conseqüências, bem como o que deve ser feito para gerenciá-los.

Da observância do processo de aplicação da MCC em EAS para EMH, constatou-se que a caracterização do contexto operacional nesses ambientes está relacionada à observação de três aspectos preponderantes, a saber:

- técnicos – engloba os aspectos intrínsecos ao funcionamento e à funcionalidade do item; à infra-estrutura utilizada; às recomendações, normas e portarias pertinentes; à manutenibilidade e confiabilidade do item;
- operacionais – associa os procedimentos, rotinas, exigências e necessidades do setor às características contextuais do item;
- gerenciais – incorpora os aspectos administrativos corporativos relacionados ao item (por exemplo, o processo de empenho de peças ou serviços).

Cabe ressaltar que muitos dos aspectos relacionados ao contexto operacional são natural e automaticamente levantados, considerados e incorporados em meio à aplicação da análise FMEA e do diagrama de decisão.

### 3.2.2 ETAPA 1.2 – APLICAÇÃO DA FMEA

A aplicação da FMEA é parametrizada pelo levantamento coordenado e ordenado das informações relativas à análise, segundo os aspectos assinalados na planilha FMEA. Com base nas explicações feitas pelo especialista sobre o item analisado, inicia-se o processo de análise, partindo-se da determinação das funções do item e seus padrões de desempenho; das suas falhas funcionais, as quais podem ser representadas como a expressão negativa da função; de seus modos, efeitos e conseqüências de falha. Todas essas informações são reunidas e registradas na planilha FMEA.

A confiabilidade e efetividade das informações reunidas na planilha FMEA e, conseqüentemente, no processo da MCC como um todo, exigem diversidade, qualidade, objetividade e profundidade de informações. Este grau de exigência só é suprido quando se dispõe de uma equipe diversificada e especializada (SAKURADA, 2001), conforme já discutido no item 3.1.4.

Nesse contexto, três elementos merecem especial destaque pela sua importância no desenvolvimento das atividades da FMEA em EAS para EMH, o facilitador, os especialistas e do operador:

- facilitador – seleciona os níveis de análise e define as suas fronteiras; detém o conhecimento de quando parar a listagem dos modos de falha; interpreta e

registra as decisões com o mínimo de jargões; reconhece quando o grupo não sabe; completa as planilhas do processo; responde às questões da MCC ordenadamente; assegura que cada questão seja corretamente entendida; encoraja a participação de todos; assegura o consenso, motiva o grupo; instrui o grupo ou membros individualmente (MOUBRAY, 1997);

- especialistas – são os atores principais no cenário da análise técnica do processo da MCC, conduzidos e orientados pelo facilitador; são os responsáveis pelas informações técnicas pertinentes à determinação das funções e falhas funcionais do item, bem como das suas causas e efeitos, as quais serão concatenadas e sistematizadas com vistas ao modelamento funcional do item analisado. Podem fazer parte do corpo de especialistas desta etapa no ambiente hospitalar: técnicos em EMH, especialistas com formação em engenharia biomédica ou experiência em GTMH e fabricantes/representantes do EMH analisado;
- operadores – sua maior contribuição no processo da MCC está na complementação das informações levantadas pelos especialistas na aplicação da FMEA. A atuação em EAS frente à operação de EMH capacita-os a fornecer uma leitura do contexto de operação do EMH, dos procedimentos operacionais e, de modo especial, das conseqüências oriundas dos efeitos das falhas funcionais levantadas pelos especialistas. Esta última constitui o elemento fundamental para o prosseguimento da metodologia com a aplicação do diagrama de decisão.

A análise que geralmente é feita na FMEA é denominada *bottom-up*, porque parte do estudo dos modos de falhas dos componentes e se estende até os efeitos causados no sistema (SAKURADA, 2001, LAFRAIA, 2001). Entretanto, a abordagem feita na aplicação da FMEA no processo MCC, segundo proposto por Moubray (1997), é do tipo *top-down*, na qual, após a escolha do evento topo (falha funcional), é feita a determinação de como os eventos de níveis inferiores, individuais ou combinados, causaram a falha. Esta configuração, no entanto, é mais bem representada, segundo Sakurada (2001), pelo Método de Análise da Árvore de Falhas, do inglês, (FTA).

A Figura 3.3 ilustra parte de uma análise FMEA do tipo *top-down* realizada neste trabalho.

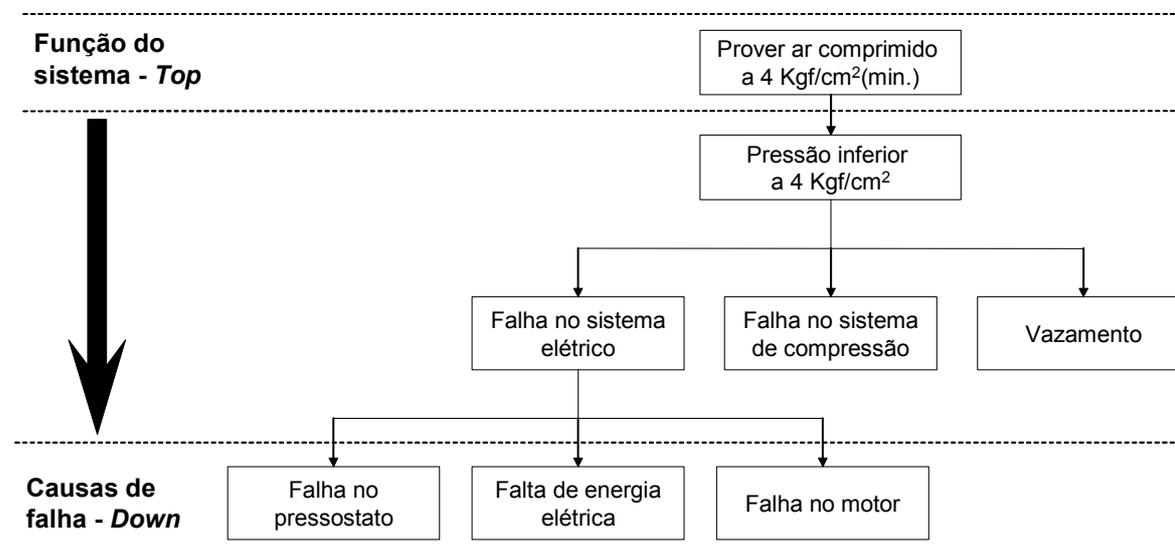


Figura 3.3: Análise FMEA do tipo *top-down*, inspirada em Sakurada (2001).

### 3.2.3 ETAPA 1.3 – APLICAÇÃO DO DIAGRAMA DE DECISÃO

O processo da MCC, sobretudo até o final desta fase e para a execução desta etapa, constitui o encadeamento de ações de planejamento e execução, como também de requisitos mínimos de conhecimento. A classificação das conseqüências de falha, mediante o seu levantamento resultante da aplicação da FMEA, constitui um dos elos principais no processo da MCC, sem o qual se torna impraticável a aplicação do diagrama de decisão (mostrado na Figura 2.17), o qual é mais qualificado quando da participação de operadores, conforme discutido no item anterior.

Outra exigência para a aplicação do diagrama de decisão é o entendimento e total clareza, por parte dos participantes do grupo de revisão, das técnicas, conceitos e preceitos associados às políticas de manutenção adotadas pela MCC (MD, MPd, MP e MC), de modo que, da análise de cada modo de falha,

resulte aquela que for mais custo-efetiva e viável tecnicamente, o que caracteriza a necessidade de qualificação/experiência técnica em EMH.

O atendimento a tais pré-requisitos, aliado à condução conciliadora e harmoniosa do facilitador, resulta em uma fácil adaptação e incorporação da sistemática da MCC por parte dos membros participantes do grupo de revisão, permitindo o registro ordenado e sistematizado das informações na planilha de decisão (ilustrada no Quadro 2.3), a qual é a fonte dos dados técnicos necessários à execução das demais fases do processo.

### **3.3 FASE 2 – ANÁLISE QUALITATIVA**

#### **3.3.1 ETAPA 2.1 – ESTABELECIMENTO DE PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO**

O programa de manutenção resultante da aplicação da MCC é obtido com base no alinhamento das informações registradas na planilha de decisão.

A seleção e o agrupamento das atividades de manutenção podem ser realizados sob diversos aspectos, dentre os quais os mais indicados para o estabelecimento do programa de manutenção planejada para EMH com base na aplicação da MCC são: o executor da tarefa (operador, manutenção, engenharia clínica, empresa representante/terceirizada, limpeza) e periodicidade de execução, que pode ser dividida em dois grupos, procedimentos de manutenção planejada de alta periodicidade (diária, semanal, quinzenal) e de baixa periodicidade (mensal, semestral, anual).

#### **3.3.2 ETAPA 2.2 – DEFINIÇÃO DAS TAREFAS DE REPROJETO**

Ao longo da condução dos trabalhos de aplicação da MCC, são apontados modos de falha, cujas possíveis conseqüências não são controladas por meio da aplicação de qualquer política de manutenção proposta pela

metodologia ou da combinação delas. Nesses casos, os preceitos da MCC obrigam que sejam feitas modificações de projeto. Tais alterações são atividades pontuais, que visam eliminar características indesejadas do projeto atual que afetam o desempenho do sistema. As alterações de projeto devem ser preponderantemente embasadas em critérios técnicos consistentes, a fim de que se evitem erros de avaliação e o dispêndio de recursos.

Dessa forma, com base nos resultados obtidos com a aplicação da FMEA e nos registros da planilha de decisão, realizam-se o levantamento e a listagem dos itens que devem ser introduzidos no projeto atual, visando, assim, à eliminação das conseqüências ou à sua mitigação a níveis aceitáveis.

Segundo Moubray (1997), não é rara a constatação de que, ao final da aplicação da MCC, entre 2% e 10% dos modos de falha redundam em reprojeto. O autor acrescenta que as mudanças podem ocorrer em três áreas distintas: mudanças quanto à configuração física de um ativo ou sistema, mudanças quanto ao processo ou procedimento operacional e mudança quanto à capacidade de uma pessoa, geralmente por meio de treinamento.

Particularmente em ambientes de EAS, as necessidades de reprojeto de um item, seja um EMH, seja um sistema, podem denotar um enfoque distinto, resultando na realimentação de possíveis não-conformidades, deficiências ou restrições de projeto de uma determinada tecnologia, as quais podem levar a conseqüências de falha graves. Tais não-conformidades, devidamente confirmadas e embasadas tecnicamente, podem ser compiladas e anexadas a um sistema de informação na forma de alertas em dois níveis principais, de acordo com a sua pertinência:

- local – as não-conformidades de projeto são levadas ao operador do EMH, esclarecendo-o sobre as restrições e os riscos envolvidos; como também à direção do EAS, justificando os investimentos de qualquer ordem (equipamentos, infra-estrutura ou treinamento) para a realização das tarefas de reprojeto necessárias a sua correção, e/ou;
- macro – envolvem a participação de fabricantes de EMH, aos quais as não-conformidades e as suas respectivas tarefas de reprojeto são apresentadas visando ao melhoramento do projeto original do equipamento; e também de uma rede nacional/internacional de informações, tal como propõe a Agência

Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) por meio da Tecnovigilância, a qual seria responsável pela divulgação das não-conformidades, se necessário, pela punição dos fabricantes, caso haja a ocorrência de um efeito adverso com conseqüências, e pela exigência do enquadramento das não-conformidades levantadas.

### 3.3.3 ETAPA 2.3 – DETERMINAÇÃO DAS PEÇAS SOBRESSALENTES

É possível usar o processo da MCC para otimizar o estoque de peças sobressalentes, associando-o às políticas de gerenciamento de falha. Isso se baseia no fato de que a única razão para se manter um estoque de peças é evitar ou reduzir as conseqüências de falha (MOUBRAY, 1997). A relação entre conseqüências de falha e peças sobressalentes é proporcional ao tempo necessário para a obtenção dessa peça, ou seja, o tempo para a aquisição de uma peça que não está em estoque determina o tempo necessário para o conserto da falha e, portanto, a gravidade das conseqüências.

Por outro lado, grandes estoques de peças representam altos custos de armazenagem e capital imobilizado; por isso, necessita-se determinar um ponto intermediário em relação às peças mantidas em estoque e a sua quantidade.

O estabelecimento das fases anteriores do processo da MCC, as quais contemplam a determinação das funções do sistema, suas falhas funcionais e seus modos de falha, assim como as políticas de manutenção, possibilita a identificação das peças sobressalentes e estimativa da sua quantidade, necessárias à continuidade operacional do sistema, por meio da execução das atividades de manutenção, seja corretiva, seja preventiva, preditiva ou detectiva.

### **3.4 FASE 3 – AVALIAÇÃO**

#### **3.4.1 ETAPA 3.1 – COMPARAÇÃO DE PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO**

A avaliação geral dos resultados da aplicação do processo da MCC deve ser realizada com o intuito de que sejam evitadas possíveis descon siderações ou erros do processo. Nesse sentido, mediante o estabelecimento dos procedimentos de manutenção para o item analisado com base na aplicação da MCC, deve-se realizar a comparação das tarefas especificadas pela MCC com os procedimentos em vigor, caso existirem regulamentações ou cláusulas contratuais pertinentes. Smith (1993) classifica o resultado dessa comparação em quatro categorias:

- coincidência de tarefas dos procedimentos;
- alterações às tarefas levantadas pela MCC;
- implantação de tarefas pela MCC;
- descaracterização de tarefas existentes pela aplicação da MCC.

O autor reforça a necessidade de comparação especialmente nos casos em que a aplicação da MCC caracterizou tarefas de MC, pois, segundo ele, “há a possibilidade de que haja razões válidas para fazer uma tarefa preventiva, mesmo que o modo de falha não esteja direta ou unicamente relacionado com uma função de alta prioridade” (SMITH apud VIZZONI, 1998). As seguintes razões devem ser observadas: conflitos com dados dos fabricantes, que podem implicar questões relativas à garantia do EMH; conflitos com a cultura de manutenção existente; conflitos com regulamentos, visto que se devem manter as atividades exigidas por entidades reguladoras; e conflitos com seguradoras, em razão de atividades estabelecidas por cláusulas contratuais, as quais devem ser mantidas e revistas posteriormente.

Vizzoni (1998) comenta que a decisão final sobre a implementação das tarefas de manutenção oriundas da aplicação da MCC cabe à gerência, a qual é suportada por uma farta documentação sobre cada etapa de aplicação,

facilitando a sua tomada de decisão em relação aos ajustes necessários à implementação do programa de manutenção.

#### 3.4.2 ETAPA 3.2 – ESTABELECIMENTO DO PROGRAMA DE MANUTENÇÃO

Finalmente, o programa de manutenção global de EMH é estabelecido mediante a aplicação da sistemática da MCC, discutida neste capítulo (caracterizada pelas suas diversas fases e etapas), aos demais equipamentos do EAS. O balizamento para a escolha dos próximos EMH aos quais será aplicada a metodologia é feito segundo os critérios levantados e discutidos no item 3.1.3.

Ressalta-se, entretanto, que os procedimentos de manutenção estabelecidos pela aplicação da MCC para um determinado EMH somente poderão ser estendidos, na íntegra, a outro equipamento caso ambos sejam idênticos (mesma marca e modelo) e estejam submetidos ao mesmo contexto operacional.

A generalização de procedimentos de manutenção para uma mesma linha de equipamentos, que caracteriza um aspecto inovador na aplicação da MCC, exige, além da coincidência de funções e de contexto operacional, a correspondência e caracterização tecnológicas. Tais aspectos serão abordados em maiores detalhes na seção 4.3 deste trabalho.

## **4. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DESENVOLVIDA**

### **4.1 ESTUDO DE CASO 1 – Sistema de Ar Comprimido**

Este estudo de caso visa apontar as necessidades para a adequação da MCC – até então somente aplicada no setor industrial – a EAS, por meio da aplicação da metodologia a EMH, contemplando, inicialmente, o sistema de ar comprimido de um hospital público estadual de Santa Catarina de médio porte; e, com base nos resultados alcançados, validar a metodologia para as tecnologias encontradas nesses ambientes, além de sistematizar o conhecimento para a sua aplicação e implementação a qualquer EMH.

#### **4.1.1 FASE ZERO – PLANEJAMENTO**

##### **a) Etapa de Nivelamento da Equipe**

A MCC, assim como conceitos gerais e preceitos relacionados à manutenção, estes últimos apesar de empregados “empiricamente” no dia-a-dia na execução das suas atividades, são aspectos pouco conhecidos e difundidos entre a equipe técnica do IEB-UFSC atuante nos hospitais públicos estaduais de Santa Catarina. O cenário neles encontrado, que se acredita não ser destoante da realidade da maior parte das instituições de saúde do país, motivou uma convocação geral dos membros da equipe para a explanação, introdução e nivelamento frente à MCC e aos conceitos básicos de manutenção.

Nesta primeira reunião geral, 18 participantes, com diferentes níveis de formação (engenheiros, técnicos e acadêmicos), contemplando, na ocasião, todos os hospitais atendidos pela estrutura, receberam informações sobre os seguintes aspectos (a equipe da engenharia clínica do IEB-UFSC é formada por 44 profissionais no total):

- evolução da manutenção;
- histórico da confiabilidade e da MCC;

- conceitos básicos de manutenção (falha, disponibilidade, manutenibilidade, confiabilidade), cuja base teórica é apresentada, resumidamente, no Anexo 5;
- políticas de manutenção (corretiva, preventiva, preditiva e detectiva);
- objetivos da MCC;
- FMEA;
- conseqüências de falha;
- diagrama de decisão;
- planilhas de informação e decisão;
- processo da MCC;
- resultados e benefícios da MCC.

A etapa de nivelamento, fundamental ao processo MCC segundo Sales (2000), Lafraia (2001), Moubray (1996) entre outros, teve duração de duas horas e meia. Os custos associados a essa atividade estão diretamente relacionados ao período de envolvimento de cada profissional, a análise dos custos é apresentada no item 4.4.2. Ressalta-se, entretanto, que, neste caso, o nivelamento ocorreu depois do horário de trabalho e que o envolvimento dos participantes foi voluntário, motivados pela oportunidade de aumentar seus conhecimentos, o que explica o grande número de participantes (considerando-se que o número ideal seria entre quatro e seis).

#### **b) Etapa de Seleção do Item**

Ao final dessa reunião, escolheu-se como objeto do primeiro estudo de caso o sistema de ar comprimido medicinal de um hospital de Florianópolis, por se tratar de um problema crônico, segundo a avaliação da equipe de engenharia clínica dessa instituição; por resultar, em caso de falha, em conseqüências graves; por ser considerado de baixa complexidade pelo facilitador do grupo, o que propicia a incorporação e solidificação gradual dos conceitos e procedimentos operacionais da metodologia, e, principalmente, por ser parte do tema de uma dissertação de mestrado em andamento, cujo autor, pela participação na aplicação da MCC, teria aumentado o seu conhecimento a respeito do sistema, de sua importância no processo, de suas práticas

operacionais e padrões de desempenho desejados/exigidos, o que contribuiria para o desenvolvimento do trabalho.

### **c) Etapa de Definição da Equipe**

A seleção e determinação dos membros componentes da equipe de aplicação da metodologia MCC em EMH foram baseadas no perfil, experiência, conhecimento técnico e segundo o hospital de atuação, os quais são descritos pelos seguintes perfis:

- (01) engenheira em curso de mestrado, em processo de elaboração da dissertação, cujo tema é “Sistemas Centralizados de Gases e Vácuo Medicinais – Uma Abordagem para o GTMH”;
- (04) engenheiros eletricitas com mestrado em Engenharia Biomédica, atuantes em quatro diferentes hospitais;
- (04) engenheiros eletricitas com mestrado em Engenharia Biomédica com, pelo menos, sete anos de experiência;
- (02) técnicos em mecânica e elétrica, especialistas em EMH, com, pelo menos, dez anos de experiência.

O número de participantes da equipe de revisão, doze no total incluindo o facilitador, pode, inicialmente, ser considerado demasiado, como sugerem alguns autores (SALES, 2000; SINKOC & AMARAL, 2000; FLEMING & FRANÇA, 1997; PALADY, 1997). Entretanto, um dos principais objetivos dessa equipe é formar multiplicadores, conhecedores da metodologia e disseminadores do conhecimento nos diferentes hospitais em que atuam.

Como a realização deste primeiro estudo de caso visa, essencialmente, à consolidação e solidificação da metodologia, optou-se por não envolver, inicialmente, operadores do item analisado.

### **d) Etapa de Estruturação das Reuniões**

Escolhido o sistema de ar comprimido como objeto de análise e definida a equipe de revisão para a aplicação da MCC, estabeleceu-se a

periodicidade das reuniões – uma vez por semana – e sua duração – duas horas e meia por encontro, com horário de início preestabelecido.

A estruturação das reuniões de revisão exige, ainda, a elaboração e confecção dos formulários necessários à efetivação dos trabalhos. Dentre esses documentos, foram utilizados para este estudo de caso os seguintes: lista de presença dos participantes, planilha FMEA, diagrama de decisão, planilha de decisão e sistema operacional do objeto de estudo (mostrado na Figura 4.1).

Outra atividade prévia a ser considerada, fundamental para a efetivação das reuniões, é o planejamento e programação da participação dos membros da equipe de revisão junto aos seus supervisores diretos. No contexto da EEC do IEB-UFSC, quando da realização deste estudo de caso e dos seguintes, ressalta-se a necessidade de uma forte integração entre o facilitador do grupo de revisão, responsável pelo planejamento das atividades, e o coordenador do Centro de Referência Estadual, no sentido da busca do entendimento acerca dos horários e datas mais adequados à realização dos trabalhos.

#### 4.1.2 FASE 1 – ANÁLISE TÉCNICA

##### **a) Etapa de Caracterização do Contexto Operacional**

A contextualização do problema foi feita pelo técnico especialista, pelo engenheiro coordenador da equipe local de engenharia clínica e pela engenheira cuja dissertação de mestrado abrange parte do tema estudado. A descrição do sistema, do funcionamento individual de cada uma de suas partes e a definição dos seus padrões de desempenho, foram feitas, com base nos itens 4.4, 5.3 e 6 da Norma NBR 12188/2002, em conjunto pelos especialistas, tendo-se, desse modo, uma visão ampliada do sistema, proporcionada pelas diferentes percepções, de acordo com o nível de conhecimento individual de cada um.

O sistema de ar comprimido analisado é composto por quatro elementos básicos: um compressor, dois reservatórios, um secador de ar (desumidificador) e um filtro tipo armadilha de água, conforme mostrado na Figura 4.1. A equipe de revisão optou por “olhar” o sistema como um item único, formado pelas diferentes partes, denotando uma abordagem de processo à análise.

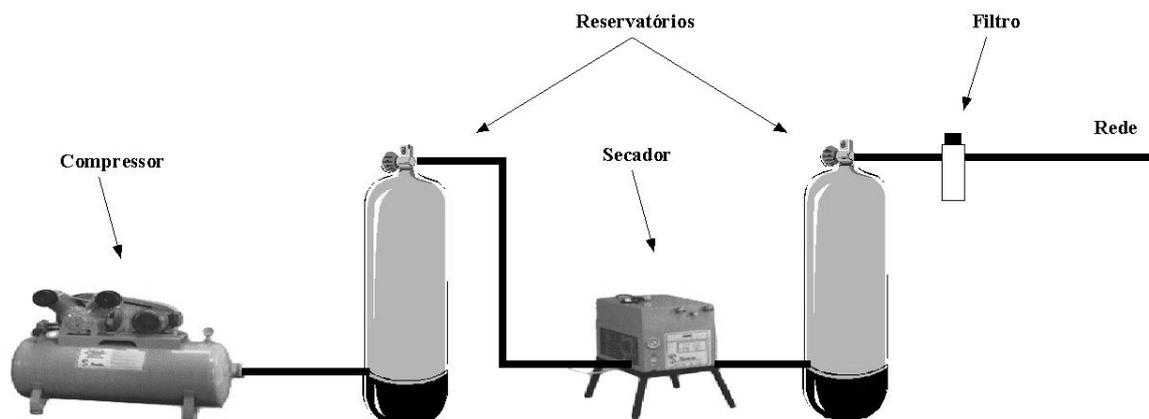


Figura 4.1: Diagrama operacional do sistema de ar comprimido.

A conotação sistêmica dada ao item analisado destacou o elo existente entre as diferentes partes na disponibilização das funções principais, pela necessidade de atendimento dos seus padrões de desempenho esperados, aliados às exigências e recomendações normativas, estabelecidas por portarias e normas relacionadas ao tema.

#### b) Etapa de Aplicação da FMEA

Para a efetivação do método de análise dos modos de falhas e seus efeitos, foram confeccionadas planilhas e distribuídas aos participantes do grupo de revisão. Com base nas explanações feitas pelos especialistas acerca do item estudado, iniciou-se o processo de análise partindo da determinação das funções e de seus padrões de desempenho; seguida das falhas funcionais resultantes da perda de cada função, até os modos, efeitos e conseqüências de falha. Tais informações foram reunidas e registradas na planilha FMEA, conforme ilustrado no Quadro 4.1.

Com o andamento dos trabalhos, ao final da análise FMEA para a “função 1” do sistema (Figura 4.1), detectou-se a necessidade de prosseguimento do processo para essa função, ou seja, a aplicação das fases subseqüentes (classificação das conseqüências, aplicação do diagrama de decisão e elaboração da planilha de decisão) para a função 1.

Quadro 4.1: Planilha de informações FMEA para o sistema de ar comprimido.

PLANILHA DE INFORMAÇÕES FMEA		Unidade: Fornecimento Ar Comprimido		Nº:	Coordenador:	Data:
		Sistema: Sistema de Ar Comprimido		01	Marcos Vinicius Lucatelli	31/05/01
		Equipamento:		Rev:	Equipe:	Folha
		Conjunto/Componente:		01	GPEB – Eng. Clínica	01/02
FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA ( <i>Causa da Falha</i> )		EFEITO DA FALHA ( <i>O que acontece quando falha</i> )		
1	Ar comprimido com pressão mínima de 4Kgf/cm <sup>2</sup> à plena demanda	A	Pressão inferior a 4Kgf/cm <sup>2</sup>	1	Falha no sistema elétrico a) Falta de energia elétrica 1) Falha no sistema de proteção 2) Falha no fornecimento 3) Cabo rompido b) Falha no motor 1) Queima do induzido 2) Queima do capacitor 3) Desgaste mecânico (rolamentos) c) Falha no pressostato	
				2	Falha no sistema de compressão a) Desgaste da correia b) Falta de lubrificação (condição do óleo) c) Desgaste no sistema mecânico	- danos físicos graves; - suspensão de cirurgias específicas; - fechamento de leito de UTI; - indisponibilidade de equipamentos pneumáticos.

Fonte: Primária.

Ressalta-se que o levantamento e a classificação das conseqüências de falha durante a FMEA, conforme realizado neste estudo de caso, constituem aspectos essenciais para a continuidade do processo MCC, exigidos para a aplicação do diagrama de decisão e definição do plano de manutenção.

As informações reunidas e registradas na planilha FMEA, resultantes da análise de todas as funções do sistema de ar comprimido, são apresentadas no Anexo 1.1.

### c) Etapa de Aplicação do Diagrama de Decisão

A determinação das políticas de manutenção mais custo-efetivas e viáveis tecnicamente para este estudo de caso, por meio da classificação das conseqüências de falha e da aplicação do diagrama de decisão, após um período inicial de incertezas quanto a sua condução, foi bem assimilada e, com o andamento dos trabalhos, endossada pela equipe de revisão.

Entretanto, o sincronismo/sintonização e a eficiência (tempo de realização) das atividades constituíam aspectos inicialmente dificultados, sobretudo em razão do grau de inovação das atividades, como também do número de participantes. Como ação de contorno, adotou-se a ampliação das dimensões dos documentos e diagramas utilizados (de tamanhos A4 para

cartazes, 65x85 cm), de modo que os trabalhos pudessem ser mais bem coordenados e centralizados pelo facilitador.

Com essa estratégia, a atualização (preenchimento) dos documentos, antes feita por todos conforme a evolução dos trabalhos, passou a ser realizada pelo facilitador, por meio de edição eletrônica, repassada aos membros no início de cada reunião. Esse procedimento resultou numa maior simultaneidade das ações durante os trabalhos, em razão do decréscimo da dispersão dos membros, aliada ao ganho de tempo, proporcionado pela dispensa do preenchimento individual de formulários e pelo aprimoramento do aspecto didático no processo operacional da aplicação da MCC.

O resultado final da aplicação do diagrama de decisão, somado ao estabelecimento da aplicação da FMEA, é a sistematização dos dados levantados, registrados e ordenados na planilha de decisão, conforme mostrado no Anexo 1.2.

#### 4.1.3 FASE 2 – ANÁLISE QUALITATIVA

##### **a) Etapa de Estabelecimento de Procedimentos de Manutenção**

Com base nas informações levantadas com a aplicação da FMEA, do diagrama de decisão e dos registros da planilha de decisão, elaborou-se o plano de manutenção programada para o objeto de estudo. Nele está contido um cabeçalho geral de identificação do sistema; o código da tarefa, relacionado à função, à falha funcional e ao modo de falha, extraídos da FMEA; a descrição detalhada da tarefa a ser realizada; a frequência de realização da tarefa; um campo de registro e controle da data da realização da tarefa, bem como um campo proposto para observações, que permite ao executor o registro de informações relevantes observadas durante a execução das atividades.

Ressalta-se que o formato do protocolo de manutenção programada proposto, inicialmente, para o sistema de ar comprimido contempla as atividades necessárias para o período de um mês, conforme mostrado no Anexo 1.3. Em razão da existência de atividades de manutenção programada com frequência trimestral, é necessário que se estabeleça um plano anual de manutenção

contemplando tais atividades, em consenso com o período proposto. A frequência das atividades de manutenção foi estabelecida com base na experiência dos especialistas, participantes do grupo de revisão, e nas recomendações da empresa terceirizada prestadora de serviços de MC.

#### **b) Etapa de Definição das Tarefas de Reprojeto**

Ao longo da condução dos trabalhos, foram apontadas diversas situações em que a confiabilidade admissível do sistema não é satisfeita por meio da aplicação de qualquer política de manutenção proposta pela metodologia ou pela combinação das políticas. Nesses casos, os preceitos da MCC **obrigam** a que sejam feitas modificações de projeto. As tarefas de reprojeto são atividades pontuais, que visam eliminar características indesejadas do projeto atual que afetam o desempenho do sistema. São consideradas intoleráveis pela MCC as características do projeto e do contexto operacional complacentes com a ocorrência de conseqüências classificadas como de segurança, operacionais ou ocultas.

O levantamento e listagem dos itens que devem ser introduzidos no projeto atual, visando, assim, à eliminação das conseqüências ou a sua mitigação a níveis aceitáveis, são apresentadas no Anexo 1.4.

#### **c) Etapa de Determinação das Peças Sobressalentes**

O estabelecimento das funções do sistema, de suas falhas funcionais e modos de falha, assim como das políticas de manutenção (mostadas na Tabela 4.1), possibilitou a identificação de quais eram as peças sobressalentes e sua quantidade necessária à continuidade operacional do sistema, por meio da execução das atividades de manutenção, sejam corretivas, preventivas ou preditivas. Portanto, considera-se que tais itens, mostrados no Quadro 4.2, representam elementos necessários à conservação da operacionalidade do sistema e ao controle das conseqüências de falha em níveis aceitáveis.

Quadro 4.2: Relação de sobressalentes determinados pela aplicação da MCC para o sistema de ar comprimido medicinal.

<b>Código</b>	<b>Qtde</b>	<b>Descrição</b>
---------------	-------------	------------------

1-A-1a1	03	Fusível de proteção
1-A-1b1		
1-A-1b2	01	Motor de mesma especificação
1-A-1b3		
1-A-2a	02	Correia – motor x compressor
1-A-2b		Óleo lubrificante
1-A-4a		Filtro de captação do ar
		Elementos filtrantes dos filtros: bacteriológico, de partículas e de carvão ativado Obs.: Caso sejam instalados.

Fonte: Primária.

#### 4.1.4 FASE 3 – AVALIAÇÃO

##### a) Etapa de Comparação de Procedimentos de Manutenção

O comparativo entre os procedimentos de manutenção resultantes da aplicação do processo MCC e os utilizados pela equipe de manutenção do hospital, seja próprio, seja recomendado pelo fabricante, não foi possível, uma vez que não havia e não se fazia uso de procedimentos definidos para a manutenção do sistema de ar comprimido.

##### b) Etapa de Estabelecimento do Programa de Manutenção

As tratativas para a implementação dos procedimentos revelados (mostrados no Anexo 1.3) pela aplicação da MCC foram conduzidas, inicialmente, com o chefe dos serviços gerais (responsável pela manutenção do sistema) e, posteriormente, com a direção do hospital, visando-se a sua efetivação.

#### 4.1.5 RESULTADOS

A aplicação da MCC a EMH, em especial ao sistema de ar comprimido, objeto deste estudo de caso, resultou em aspectos distintos que podem ser classificados em quantitativos e qualitativos.

#### **4.1.5.1 Quantitativos**

Tomando como base a ótica da aplicação da MCC, considerando-se os elementos resultantes da execução do seu processo, composto por suas diferentes fases e etapas (discutidas pontualmente no capítulo 3), citam-se os seguintes resultados quantitativos: os registros da planilha FMEA e da planilha de decisão; os procedimentos de manutenção programada e a listagem das tarefas obrigatórias de reprojeto e das peças sobressalentes. Tais informações são apresentadas, na íntegra, nos Anexos 1.1, 1.2, 1.3 e 1.4, respectivamente.

Os registros da planilha FMEA, mostrados no Anexo 1.1, resultantes da análise do sistema de ar comprimido, apontam que o item em questão é responsável por cinco funções distintas, a saber:

- fornecer ar comprimido à pressão de, pelo menos,  $4 \text{ kgf/cm}^2$  (a pressão de trabalho para a maioria dos equipamentos pneumáticos em EAS (por exemplo: ventiladores pulmonares e aparelhos de anestesia) é de, no mínimo,  $3 \text{ kgf/cm}^2$ );
- fornecer ar comprimido isento de umidade (NBR 12188, 2001);
- fornecer ar comprimido isento de óleo (NBR 12188, 2001);
- fornecer ar comprimido isento de contaminação (por partículas, odor ou bactérias) (NBR 12188, 2001);
- fornecer ar comprimido à pressão de, até,  $8 \text{ kgf/cm}^2$  (segundo Santos (2002), o ar medicinal tem a pressão aumentada até cerca de  $7 \text{ kgf/cm}^2$ ).

A análise mostra, ainda, que a ocorrência de uma falha funcional, pela perda de qualquer uma das funções, em razão da ocorrência de um dos 27 modos de falhas levantados (mostrados no Anexo 1.1), pode resultar, na maior parte das vezes, em conseqüências de segurança (presentes em decorrência de 96,3% dos modos de falha), as quais expõem os pacientes a riscos, e/ou

operacionais (possíveis em 100,0% dos modos de falha), levando a custos relativos à paralisação de atividades e/ou a reparos consideráveis.

A aplicação da MCC constitui um processo lógico e estruturado que depende do encadeamento de diversas fases. Como tal, analisando-se os dados obtidos pela aplicação do diagrama de decisão, sistematizados na planilha de decisão (mostrada no Anexo 1.2), observa-se que, das 33 tarefas de manutenção propostas, apenas uma corresponde a tarefas de MC (deixar que o item falhe para, então, consertar). Esse fato é consequência dos resultados obtidos pela aplicação da FMEA, a qual classificou 100% das consequências de falhas como sendo do tipo operacionais e 96,3% dessas, como de segurança, o que impossibilita, segundo os preceitos da MCC, a aplicação da MC como estratégia para o tratamento de uma falha funcional. A exceção apontada nesta análise é o modo de falha de código 1A3b, vazamento na rede de gases, onde nenhuma ação pró-ativa pôde ser justificada tecnicamente e também porque um vazamento de grandes proporções, a ponto de reduzir a pressão da rede a baixo de 4 kgf/cm<sup>2</sup>, seria de fácil detecção. A Tabela 4.1 aponta, com base na análise dos registros da planilha de decisão do sistema de ar comprimido, a distribuição das tarefas propostas para o controle/gerenciamento das consequências de falha.

Tabela 4.1: Classificação das tarefas de manutenção propostas pela aplicação da MCC ao sistema de ar comprimido.

<b>Política de Manutenção</b>				
MPd	MP	CT	MC	TR
8	7	6	1	11

Fonte: Primária.

Para os casos cuja gestão da falha não foi possível pela aplicação de qualquer política de manutenção pró-ativa, o processo identificou a necessidade de reprojeto. Quanto à caracterização e ao estabelecimento das tarefas de reprojeto, a aplicação da MCC apontou onze não-conformidades (que, agrupadas, configuram seis tarefas de reprojeto distintas) relativas à confiabilidade exigida para o sistema de ar comprimido, conforme mostrados no

Anexo 1.4, as quais não puderam ser corrigidas pela implementação de qualquer política de manutenção proposta, ou da combinação destas.

A implementação deste estudo de caso oportunizou, mediante o estabelecimento das tarefas de manutenção programada, o planejamento da relação de peças sobressalentes e suas quantidades, como mostrado no Quadro 4.2. Destaca-se que, apesar de a MCC indicar os itens básicos necessários à continuidade operacional do sistema, a determinação de um estoque ótimo de sobressalentes não constitui um dos objetivos principais da aplicação da MCC, o qual pode ser complementado com estudos específicos adicionais.

#### **4.1.5.2 Qualitativos**

Este primeiro estudo de caso forneceu subsídios para diversas considerações relativas à inserção da MCC em EAS, conforme tratado a seguir.

A partir do início dos trabalhos, em 25 de maio de 2001, com a palestra de nivelamento dos conceitos, observou-se que os conceitos abordados constituíam aspectos pouco conhecidos pela maior parte dos participantes nos diferentes níveis de formação. Nesse sentido, especial debate foi levantado a respeito da manutenção preventiva, realizada até então, quanto a sua definição. A questão levantada foi:

*A avaliação periódica de parâmetros de funcionalidade/desempenho de EMH, caracteriza uma atividade de manutenção preventiva ou preditiva? Já que, de certa forma, são avaliadas as condições do equipamento!*

A realização da verificação periódica de parâmetros de EMH, seja de segurança, seja de desempenho, obtidos por meio de equipamentos analisadores/simuladores, e a sua comparação com padrões estabelecidos por norma constitui uma atividade de monitoramento das condições desses parâmetros. Tal premissa, segundo os aspectos discutidos e defendidos nesta tese de doutorado, respaldados por Pedroso & Ferreira Filho (2000), caracteriza a utilização de uma técnica de MPd, ao contrário do proposto por Calil & Teixeira (1998), que a denominam de MP; Ridgway (2001) e AHA (1996), os quais a qualificam como calibração e verificação de desempenho/teste de segurança; e

do ECRI (1995), que a denomina inspeção. Um exemplo característico desta assertiva é a verificação da funcionalidade de equipamentos de fototerapia pela medição periódica da irradiância espectral das lâmpadas e pela substituição dessas mediante a constatação de níveis inferiores a  $4 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\eta\text{m}$ .

Com o início das discussões sobre o estudo de caso, dificuldades foram sendo constatadas, sobretudo em relação à pontualidade para o início das reuniões, pela diversidade de hospitais em que os membros atuam, e ao controle dos debates relativos ao tema, em razão da quantidade de participantes, prejudicando a objetividade dos encontros. Ressalta-se que o alto número de participantes da equipe de revisão – 12 no total – teve como objetivo formar multiplicadores, conhecedores da metodologia e disseminadores do conhecimento nos diferentes hospitais em que atuam.

Dentre os resultados alcançados neste estudo de caso, o estabelecimento de procedimentos de manutenção (Anexo 1.3) e das tarefas de reprojeto (Anexo 1.4), em especial, constitui o mais significativo, uma vez que não havia nenhuma estratégia de gestão e prevenção de falhas. Esses resultados ressaltam e confirmam a viabilidade, a validade e a importância da MCC e, por conseqüência, desta tese no contexto dos EAS do estado de Santa Catarina e do Brasil, pelo menos.

Diferentemente do proposto por alguns autores (SALES, 2000; FLEMING, 1997; SILVA, 1998), neste estudo de caso, cada função foi analisada integralmente, antes do início da função subsequente, tornando, desse modo, a análise mais efetiva, uma vez que as informações levantadas (o conhecimento), relativas à função analisada, são mais bem sistematizadas.

Se, de outro modo, a análise da FMEA fosse estendida às demais funções do sistema consecutivamente, a aplicação do diagrama de decisão e o preenchimento da planilha de decisão demandariam um tempo maior de execução, em virtude da necessidade de resgate das informações relativas às análises passadas.

A aplicação da MCC ao sistema estudado ressaltou e evidenciou, ainda, com base numa análise aprofundada por meio da FMEA, a sua grande importância no processo operacional do hospital. O sistema é o responsável pelo fornecimento de um insumo básico, o qual exige severas condições de

desempenho, que, quando não garantidas, expõem os seus usuários a conseqüências de segurança graves e acarreta ao EAS custos operacionais elevados. Outra constatação evidenciada (pela não realização de procedimentos planejados/programados de manutenção) é o aparente “descaso” com o sistema, sobretudo em razão do desconhecimento, por parte da direção, equipe de manutenção do hospital (responsável pelo sistema) e de usuários desse insumo, das conseqüências de falhas potenciais a que está exposto. Como exemplos dessas conseqüências podem-se citar: a presença de óleo e umidade na rede e a ausência de uma segunda fonte de ar comprimido.

Outra constatação foi que especial atenção deve ser dada ao fato de que grande parte das possíveis conseqüências de falha do sistema pode resultar em danos graves, ou até em morte de pacientes; em suspensão de cirurgias, indisponibilidade de leitos de UTI e de equipamentos; enfim, tanto conseqüências sociais como institucionais. Tudo isso reforça a idéia de que a fronteira entre as conseqüências de segurança e operacionais na área da saúde é bastante estreita.

## 4.2 ESTUDO DE CASO 2 – Ventilador Pulmonar

### 4.2.1 FASE ZERO - PLANEJAMENTO

A efetivação da fase de planejamento, ora aplicada a um ventilador pulmonar de marca e modelo específicos, valeu-se, em parte, da utilização de etapas estabelecidas no primeiro estudo de caso, tais como: formação do facilitador; estruturação das reuniões – manteve-se a mesma sistemática desenvolvida – e nivelamento da equipe, dado que os integrantes deste estudo de caso participaram da reunião geral de nivelamento – realizou-se, no entanto, uma rápida revisão dos conceitos já abordados. Nesse sentido, a seguir, são tratadas as duas etapas restantes.

#### a) Etapa de Seleção do Item

A escolha do item objeto de análise para este estudo de caso foi feita pelo facilitador do grupo de revisão, o qual, após a ponderação de diversos aspectos intercomplementares, elegeu o ventilador pulmonar (VTP) de marca e modelo específicos pertencente a um hospital de médio porte de Florianópolis. Os parâmetros que fundamentaram a seleção do VTP são oriundos da observação de três aspectos principais, a saber:

- classificação do equipamento – os VTP, diferentemente do primeiro estudo de caso, que contemplou um item classificado como um **sistema** de **apoio** à operacionalidade de EAS (CALIL & TEIXEIRA, 1998), são EMA de suporte à vida e de alto risco. Segundo os sistemas de priorização referendados por literaturas nacionais e internacionais, o VTP constitui um EMA com índice de risco médio (AHA, 1996) a alto (LUCATELLI & GARCIA, 1998), além de possuir uma das taxas de tempo médio entre falhas (TMEF) mais baixas, aproximadamente três meses, de acordo com Calil & Teixeira (1998). Além disso, o VTP possui um papel determinante na efetivação das rotinas realizadas nas unidades de terapia intensiva de qualquer EAS que ofereça estes cuidados. Outro aspecto ponderado diz respeito às características tecnológicas do VTP, o qual é considerado um equipamento de média

complexidade e provido de sistemas mistos (eletrônicos, eletromecânicos e pneumáticos);

- especificação do equipamento – a opção pelas características técnicas, representadas pela marca e modelo específicos, do VTP selecionado deu-se em função da grande difusão desses nos hospitais atendidos pelo IEB-UFSC, por esses compatibilizarem a utilização de parâmetros pediátricos e adultos e por envolverem custos de manutenção considerados altos;
- contexto operacional – considerou-se a disponibilidade de uma equipe técnica local altamente especializada em VTP e de cinco VTP de mesma especificação, atuando sob as mesmas condições operacionais, como os principais critérios na seleção do contexto operacional do Hospital X, o qual se caracteriza pelo atendimento de pacientes infantis e por uma infra-estrutura com disponibilidade de 160 leitos, 6 salas cirúrgicas e 21 leitos de UTI.

#### **b) Etapa de Definição da Equipe**

A configuração da equipe de revisão do VTP baseou-se, essencialmente, na qualificação técnica acerca do objeto de estudo, congregando a ótica do projeto, da manutenção e da operação do equipamento. Nesse sentido, fizeram parte dessa equipe de revisão os seguintes perfis profissionais:

- (01) engenheiro eletricista com mestrado em Engenharia Biomédica, especialista em VTP;
- (01) engenheiro eletricista com mestrado em Engenharia Biomédica com cinco anos de experiência;
- (01) tecnóloga com mestrado em Engenharia Biomédica com três anos de experiência;
- (01) engenheiro eletricista com mestrado em Engenharia Biomédica;
- (01) engenheiro eletricista cursando o mestrado em Engenharia Biomédica;
- (03) técnicos em mecânica e elétrica, especialistas em VTP, com dez anos de experiência;
- (01) técnico eletricista, especialista em EMH, com quatro anos de experiência;
- (01) médico intensivista no terceiro ano de residência.

#### 4.2.2 FASE 1 – ANÁLISE TÉCNICA

Ao contrário da fase anterior, que permitiu a reutilização de algumas das etapas do primeiro estudo, esta fase do VTP exigiu a efetivação completa das suas etapas, conforme tratado a seguir.

##### **a) Etapa de Caracterização do Contexto Operacional**

As condições operacionais a que os VTP estão submetidos são informações conhecidas por todos os participantes da equipe de revisão, na medida em que todos já gerenciaram, ou gerenciam, essa tecnologia nos hospitais onde executam suas funções, com exceção do médico, que, apesar de conhecer a tecnologia, atua em um hospital não atendido pelo IEB-UFSC.

As funções do VTP e seus padrões de desempenho, foram estabelecidos a partir dos requisitos da norma NBR 13763 (ABNT, 1996), dos manuais de operação e de serviço do fabricante do VTP e da apresentação do diagrama funcional do VTP (mostrado na Figura 4.2) realizada pelo engenheiro especialista, por meio de um debate no qual todos tiveram a oportunidade de argüir e de participar. Além disso, especial atenção foi dispensada à diferenciação e à configuração dos diferentes modos ventilatórios contemplados pelo VTP.

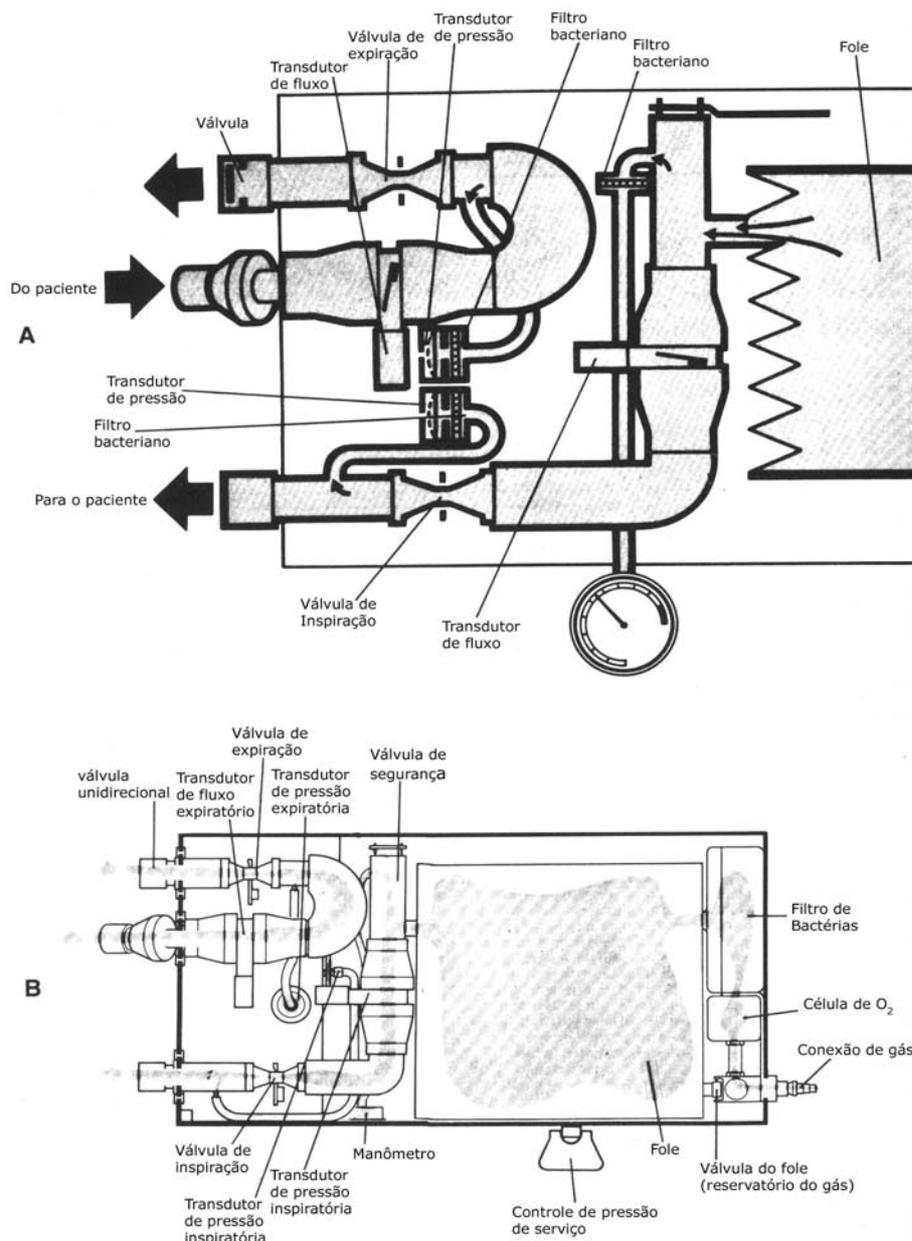


Figura 4.2: A) diagrama pneumático; B) seção pneumática, do VTP (MCPHERSON, 1995)

## b) Etapa de Aplicação do FMECA

A caracterização da sistemática da implementação da MCC em EMH permitiu a condução de estudos-piloto com a incorporação gradual de mecanismos para a análise do item. Nesse sentido, para o estudo do VTP, incorporou-se à aplicação da FMEA a estimativa do índice de risco para cada modo de falha, por meio da ponderação da gravidade do modo de falha e da sua frequência. O cômputo do índice de risco estabelece uma escala de priorização

para a realização das tarefas, além de representar um dos indicadores da eficiência da metodologia, quando comparados os índices obtidos na implantação da MCC aos da revisão (após a implementação dos procedimentos e melhorias levantadas).

Ressalta-se, entretanto, que, apesar de os índices de risco estarem baseados na planilha FMEA, neste trabalho, eles foram registrados na planilha de decisão, em virtude do melhor acesso e manuseio dos dados e por esta constituir a base para o desenvolvimento da fase subsequente, a Análise Qualitativa.

Com o início da aplicação do FMECA ao VTP, mediante o levantamento das funções do item, percebeu-se a necessidade de seccionamento da análise do VTP em subitens, em razão da diversidade das funções. Desse modo, classificaram-se as funções do VTP em quatro seções, conforme mostrado no Quadro 4.3.

A observação da seção controle dos gases, mostrada no Quadro 4.3, caracteriza as funções levantadas com base nos modos ventilatórios disponíveis no VTP, quais sejam:

- pressão controlada;
- volume controlado;
- pressão de suporte;
- SIMV (ventilação mandatória intermitentemente controlada);
- SIMV + pressão de suporte;
- CPAP (pressão positiva contínua nas vias aéreas).

O estudo dos modos ventilatórios (funções primárias) apontou uma concomitância de funções (funções secundárias), ou seja, é necessário se ter em vista funções secundárias comuns para o atendimento a diferentes modos ventilatórios. O Quadro 4.4 ilustra as funções secundárias relacionadas a cada modo ventilatório.

Quadro 4.3: Relação entre a seção analisada e suas respectivas funções.

SEÇÃO ANALISADA	FUNÇÃO
<b>Entrada de Gases</b>	Fornecer gás (O <sub>2</sub> + Ar) ao paciente Fornecer a mistura correta de gás (O <sub>2</sub> + Ar) (21%≤O <sub>2</sub> ≤100%) Fornecer gás isento de óleo e bactérias
<b>Controle dos Gases</b>	Pressão inspiratória controlada Frequência respiratória controlada Tempo inspiratório controlado Pausa inspiratória PEEP (positive end expiratory pressure) controlado Volume minuto controlado Disparo por pressão Ciclagem por fluxo Frequência SIMV controlada Pressão positiva contínua nas vias aéreas
<b>Monitoração</b>	Volume expiratório Pressão do circuito pneumático Apnéia Concentração de O <sub>2</sub> Pressão de entrada dos gases Alimentação elétrica
<b>Saída de Gases</b>	Controlar a temperatura e a umidade do gás (32-39° C) Conduzir gás ao paciente (traquéias)

Fonte: Primária.

Quadro 4.4: Modos ventilatórios disponíveis no VTP e suas respectivas funções.

FUNÇÃO	MODOS VENTILATÓRIOS					
	Pressão Controlada	Volume Controlado	Pressão de Suporte	SIMV	SIMV + Pressão de Suporte	CPAP
Pressão inspiratória controlada	XXX	XXX	XXX		XXX	
Frequência respiratória controlada	XXX	XXX		XXX	XXX	
Tempo inspiratório controlado	XXX	XXX		XXX	XXX	
Pausa inspiratória	XXX	XXX		XXX	XXX	
PEEP controlado	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Volume minuto controlado		XXX		XXX	XXX	
Disparo por pressão			XXX		XXX	
Ciclagem por fluxo			XXX		XXX	
Frequência SIMV controlada				XXX	XXX	

Fonte: Primária.

Os registros das informações resultantes da aplicação da FMEA ao VTP são mostrados na íntegra no Anexo 2.1 – Planilha FMEA.

### c) Etapa de Aplicação do Diagrama de Decisão

A aplicação do diagrama de decisão, orientada pelo levantamento das funções primárias e secundárias resultantes da análise FMEA, resultou na sistematização de informações essenciais ao processo da MCC, tais como: tarefas propostas, frequência, executor e índice de risco. O registro de tais informações constitui a planilha de decisão MCC, mostrada no Anexo 2.2, a qual contempla a descrição de todas as funções do VTP. A opção pela consideração de todos os modos de falha, e não apenas de um de cada modo coincidente, resulta numa abordagem mais didática, do ponto de vista metodológico, porém mais trabalhosa.

Os registros da planilha de decisão para o VTP são apresentados na sua totalidade no Anexo 2.2. Ilustrativamente, entretanto, o Quadro 4.5 apresenta uma parcela desse conteúdo.

Quadro 4.5: Exemplo da planilha de decisão de VTP.

Referência da Informação		Avaliação das Conseqüências										Índice			Tarefa Proposta	Frequência Inicial	Responsável Execução	
		H1	H2	H3	Ações Default			G	F	R								
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4						
α	1	A1	N	S	N	S	N	N	N				10	1	10	Disponibilizar fonte de gases reserva/ renovação tecnológica com ventiladores com compressores internos	Única	Celec
α	1	A2a	N	N	N	N	N	N	N				1	2	2	Manutenção corretiva (providenciar sobressalente) quantidade (02) O2 + AR	Ocasional	Operador
α	1	A2b	N	N	N	N	N	N	N				1	1	1	Manutenção corretiva (providenciar sobressalente) quantidade (01) O2 + AR	Ocasional	Celec
α	1	A2c	N	N	N	N	N	N	N				5	1	5	Manutenção corretiva (providenciar sobressalente) quantidade (01)	Ocasional	Celec
A	1	A	S	S	N	S	N	N					3	1	3	Calibração através de um oxímetro de linha (5% admissível )	1000 horas	Celec
A	1	B	S	S	N	S	N	N					3	2	6	Calibração das válvulas reguladoras (0,5 Kgff cm <sup>2</sup> admissível )	1000 horas	Celec
B	1	A	N	N	N	N	S	N					1	2	2	Verificação periódica do cabo de força, do plug e da tomada (providenciar sobressalente quantidade (05) plugs 2P+ T)	1000 horas	Celec eletrecista
B	1	B	S	S	N	S	N	N					8	1	8	Calibração da temperatura do aquecedor (X°C admissível)	1000 horas	Celec
B	1	C	N	S	N	N	N	N	N	N	S		3	2	6	Verificação de vazamentos e da integridade do copo	A cada troca de circuito	Operador (enfermagem)
C	1	A	N	S	N	N	N	N	N	N	S		8	4	32	Verificação do circuito pneumático segundo o protocolo recomendado	A cada troca do circuito	Operador (enfermagem)
C	1	B	S	N	N	N	N	N	N	N	S		1	1	1	Verificação da funcionalidade das válvulas dos retentores de água	1000 horas	Celec

Fonte: Primária.

## 4.2.3 FASE 2 – ANÁLISE QUALITATIVA

a) **Etapa de Estabelecimento de Procedimentos de Manutenção**

A planilha de procedimentos de manutenção do VTP, mostrada no Anexo 2.3, foi elaborada com base no formato proposto no primeiro estudo de caso, sendo orientada, porém, pela identificação da frequência (a cada troca de paciente ou semanal, 1.000 horas ou 3.000 horas) e do executor (operador ou Celec) das tarefas, as quais são ordenadas decrescentemente, de acordo com o seu respectivo índice de risco. O Quadro 4.6 ilustra um exemplo dos procedimentos elaborados.

Quadro 4.6: Exemplo de procedimento de manutenção do VTP.

PLANILHA DE  
MANUTENÇÃO  
MCC

Equipamento: Ventilador Pulmonar		Setor: Unidade de Tratamento Intensivo		Folha: 01/04	Cód.Celec: VTP001
Marca:	Modelo:	Nº de Série:	Patrimônio:	Data: ___/___/___	Frequência: 1.000 horas
					Executor: Celec

CÓDIGO	TAREFA PROPOSTA	ÍNDICE	OBSERVAÇÕES
F2-1-A	Calibração e ajuste dos transdutores de fluxo inspiratório e expiratório, conforme recomendação do fabricante	15	
E1-1-A E1-1-B	IDEM F2-1-A	15	
F4-1-A	IDEM F2-1-A	15	
D1-1-F	Inspeção visual dos elementos em silicone das válvulas inspiratória e expiratória	10	
D5-1-C	IDEM D1-1-F	10	
E1-1-H	IDEM D1-1-F	10	
L3-1-A	Manutenção detectiva: verificação da indicação do alarme de apnéia	10	
B-1-B	Calibração do controlador de temperatura do aquecedor	08	

Fonte: Primária.

Ressalta-se ainda que a planilha de manutenção MCC é proveniente da avaliação qualitativa das informações registradas, sobretudo, na planilha de decisão. Nesse sentido, visando-se evitar a repetição da compilação de tarefas idênticas, em virtude da concomitância de funções, realizou-se a seleção de tarefas a partir das funções genuínas dos modos ventilatórios, conforme o Quadro 4.4.

### b) Etapa de Definição das Tarefas de Reprojeto

Diferentemente do estudo do ar comprimido medicinal, a análise do VTP destacou a necessidade de poucas tarefas de reprojeto, apenas duas tarefas autênticas, conforme mostrado no Quadro 4.7.

Quadro 4.7: Tarefas de reprojeto levantadas pela MCC para o VTP e os respectivos índices de risco.

<b>Código</b>	<b>Índice</b>	<b>Tarefa Proposta</b>
α-1-A1	10	Disponibilizar fonte reserva de gases na forma de cilindros ou renovação tecnológica (ventiladores com compressor interno)
D1-1-C	07	Necessidade de um ventilador sobressalente
D1-1-D1	07	IDEM D1-1-C
D1-1-D2	07	IDEM D1-1-C
D1-1-E1	07	IDEM D1-1-C
D1-1-E2	07	IDEM D1-1-C
D2-1-A	04	IDEM D1-1-C
D3-1-A	04	IDEM D1-1-C
D4-1-A	04	IDEM D1-1-C
D5-1-A	04	IDEM D1-1-C
D5-1-B	04	IDEM D1-1-C
E1-1-D	07	IDEM D1-1-C
G6-1-A	07	IDEM D1-1-C

Fonte: Primária.

### c) Etapa de Determinação das Peças Sobressalentes

A relação das peças sobressalentes, levantada a partir dos registros da planilha de decisão resultantes da aplicação da MCC no VTP, é apresentada no Anexo 2.4. Novamente, os índices de risco, estimados e atribuídos às tarefas de manutenção, são utilizados como um classificador, indicando, nesse caso, a priorização, se necessária, na aquisição das peças sobressalentes.

#### 4.2.4 FASE 3 – AVALIAÇÃO

##### **a) Etapa de Comparação de Procedimentos de Manutenção**

Com o propósito de se evitar possíveis descon siderações ou erros, os quais possam acarretar conseqüências de falha não previstas, como também de se ter um comparativo entre as abordagens do fabricante e da MCC para o item em questão, realizou-se o confronto dos procedimentos de manutenção propostos por ambos. Nesse sentido, as principais diversidades observadas no estudo foram o escalonamento dos procedimentos em três freqüências predominantes (1.000 e 3.000 h e a cada troca de paciente), conforme proposto pela MCC e mostrado no Anexo 2.3, ao contrário do que o fabricante orienta, uma única (1.000 horas), e a vinculação de dois perfis de executores das tarefas, envolvendo, além de uma equipe técnica (Celec), a enfermagem.

##### **b) Etapa de Estabelecimento do Programa de Manutenção**

Com base nas informações obtidas no estabelecimento dos procedimentos de manutenção (tarefas, freqüências e executores) provenientes da Fase 2 e considerando a existência de cinco VTP de mesma marca e modelo, utilizados sob as mesmas condições operacionais, pôde-se estabelecer um programa de manutenção periódico para esses equipamentos.

O Anexo 2.5 ilustra o programa de manutenção de VTP estabelecido para um período de 6.000 horas, o qual está atrelado aos procedimentos apresentados no Anexo 2.3, cuja execução compete à equipe técnica (Celec).

## 4.2.5 RESULTADOS

### 4.2.5.1 Quantitativos

Os resultados quantitativos obtidos pela aplicação da MCC ao VTP, em tese, são semelhantes aos do primeiro estudo, a saber: as planilhas FMEA e de decisão; os procedimentos de manutenção programada; as listagens de tarefas de reprojeto e de sobressalentes; além do programa de manutenção, este último como uma inovação deste estudo de caso, em virtude da disponibilidade de equipamentos idênticos atuando sob as mesmas condições operacionais. Ressalta-se, entretanto, que as análises dos resultados apresentados neste item, nos parágrafos subseqüentes, consideram apenas as informações primárias resultantes, em alguns casos, da sua concomitância.

A análise das informações obtidas pela aplicação da FMEA e registradas na planilha, mostrada, na íntegra, no Anexo 2.1, dá conta de que o VTP estudado, para cumprir as atribuições a que se dispõe, depende do atendimento de 20 funções distintas, interdependentes ou não, cuja perda soma 24 falhas funcionais, originadas por 62 modos de falha possíveis. Cabe ressaltar que os padrões de desempenho das funções levantadas foram baseados na norma NBR 13763 (ABNT, 1996), conforme indicado nas planilhas do Anexo 2.1.

O estudo mostra ainda que, com referência às possíveis conseqüências oriundas da ocorrência dos 62 modos de falha: 41 conjugam conseqüências de segurança e operacionais; 8 unicamente de segurança; 5 operacionais; 2 ocultas e 6 não-operacionais. Ou seja, dos modos de falha levantados, aproximadamente 80% deles podem resultar em danos ao paciente; 75%, em prejuízos à instituição e, apenas, em 10% dos casos as conseqüências referem-se unicamente ao reparo do VTP.

O levantamento das ações de reprojeto, necessárias à eliminação das conseqüências de falha ou à sua redução a níveis admitidos pela MCC, resumiu-se, em razão da coincidência de tarefas, à determinação de apenas duas, conforme constatado no Quadro 4.7. A realização dessas tarefas, segundo os preceitos da MCC, é de caráter obrigatório, apesar do baixo índice de risco que

lhes foi atribuído, dez e sete, respectivamente. Tais valores são decorrentes da combinação da estimativa de altas taxas de gravidade das conseqüências de falha com baixas freqüências de ocorrência dos respectivos modos de falha.

Em relação à computação das tarefas de manutenção, obtidas mediante a aplicação do diagrama de decisão e registradas na planilha de decisão apresentada no Anexo 2.2, o estudo indicou a implementação de 78 tarefas, as quais são classificadas como: 3 de MPd, caracterizadas por atividades de calibração de parâmetros; 8 de MP, representadas por ações de substituição ou restauração periódica de itens; 6 de MD, sugerindo a inspeção de dispositivos de alarmes; 25 de MC, resultante, em grande parte, dos modos de falha, que acarretaram como tarefas de reprojeto a disponibilização de um VTP de reserva; 19 de combinação de tarefas e 17 tarefas de reprojeto.

A definição de procedimentos de manutenção para o gerenciamento de cada modo de falha de qualquer item, baseada na avaliação das suas conseqüências no seu contexto operacional, constitui o principal resultado do processo de aplicação da MCC. Os procedimentos apresentados no Anexo 2.3, resultantes da aplicação da metodologia ao VTP, demonstram essa afirmação na medida em que estabelecem requisitos de manutenção particulares às características do contexto operacional do EAS envolvido neste estudo de caso.

Essa clarividência é acentuada mediante a comparação dos procedimentos propostos pela MCC com os do fabricante. Além dos aspectos levantados no item 4.2.4 a), o confronto dos procedimentos leva à seguinte configuração:

- 7 coincidências de tarefas;
- 8 alterações de tarefas;
- 7 implementações de tarefas pela MCC;
- 20 descaracterizações de tarefas propostas pelo fabricante.

Salientam-se, dessa comparação, as alterações de tarefas, fruto, sobretudo, da variação da freqüência de realização das tarefas, e a descaracterização de tarefas, as quais resultaram, principalmente, da falta de balizamento de estratégias ou políticas de manutenção – não há, por parte do fabricante, a especificação de nenhuma ação de manutenção que garanta o

controle das conseqüências de falha, as tarefas descaracterizadas são inócuas, do ponto de vista da gestão de falhas. Tais procedimentos foram suplementados pelo estabelecimento e definição das tarefas de reprojeto propostas pela MCC.

Exemplos de descaracterização de tarefas propostas pelo fabricante é a verificação qualitativa dos seletores eletrônicos (taxa respiratória, tempo de inspiração e expiração, tempo de pausa, PEEP e etc.). A simples verificação qualitativa de tais itens não fornece subsídios para a prevenção e conseqüente gestão da falha, exigindo, segundo os preceitos da MCC, nos casos de conseqüências de segurança ou operacionais, a execução de ações de reprojeto (neste caso, a disponibilização de um ventilador sobressalente).

#### **4.2.5.2 Qualitativos**

A aplicação da MCC em EMH, vencidos os receios e dificuldades iniciais relacionados à incorporação de novos conceitos e à formatação de uma metodologia inovadora e original em EAS, foi naturalmente facilitada e teve sua eficiência aprimorada à medida que se utilizava a sistemática estabelecida no primeiro estudo de caso. Nesse sentido, o conhecimento agregado na implementação das fases da MCC do estudo anterior foi considerado, sobretudo, na fase de planejamento da análise do VTP. Essa fase compunha-se de etapas previamente estabelecidas, tais como a formação do facilitador, a estruturação das reuniões e de uma equipe nivelada acerca dos conceitos da MCC.

A seleção do VTP, como novo estudo de caso, atendeu a uma expectativa multipropósito que conciliou aspectos relacionados às suas necessidades contextuais, conforme discutido no item 4.2.1a, como também à validação desta tese, por meio da agregação de aspectos complementares aos até então abordados, o que constituiu um avanço em relação ao primeiro estudo de caso.

A disponibilidade de uma equipe especializada em VTP, um dos aspectos considerados na seleção do equipamento, permitiu a formação de uma equipe coesa, multifuncional e disciplinar, abrangendo as áreas de projeto,

manutenção e operação, além de facilitar a administração de eventuais ausências nas reuniões de revisão.

A seleção dos membros da equipe deu-se mediante um convite dirigido segundo o perfil profissional, entretanto a participação de cada membro caracterizou-se como de caráter voluntário, cuja motivação foi renovada, direta ou indiretamente, pelos resultados gradativamente alcançados. Entretanto, a incorporação do profissional médico apresentou severas dificuldades, especialmente em razão do distanciamento existente entre esses profissionais e os da área técnica; da sua formação, essencialmente focada na medicina e na prática clínica, e da não-disponibilidade de horários para as reuniões.

A equipe de revisão contou, ainda, com a participação espontânea de três membros, estimulados, sobretudo, pelos resultados alcançados no primeiro estudo e ou pela perspectiva de aprimoramento do conhecimento a respeito do VTP.

Em relação à Fase 1 – Análise Técnica, do processo de aplicação da MCC ao VTP, destacam-se: a divisão das funções, segundo a seção analisada (Quadro 4.3) e a caracterização dos modos ventilatórios, de acordo com as funções exigidas (Quadro 4.4), como ações que contribuíram significativamente para o aprimoramento da organização dos trabalhos, para uma maior coerência na análise do VTP, bem como para o incremento da efetividade na aplicação da FMEA, do diagrama de decisão e, por conseqüência, na metodologia como um todo.

Outro aspecto merecedor de destaque no estudo do VTP é a fácil e rápida incorporação do índice de risco por parte da equipe de revisão. Derivado da análise FMECA, atua como elemento ranqueador de prioridades, mediante a ponderação da gravidade das conseqüências de falha e da freqüência de ocorrência do respectivo modo de falha, na execução de procedimentos de manutenção e na aquisição de peças sobressalentes. Ressalta-se, entretanto, que, apesar de as tarefas de reprojeto estarem vinculadas a respectivos índices de risco, a sua realização é compulsória.

### **4.3 ESTUDO DE CASO 3 – Ventilador Pulmonar Segunda Geração**

Uma vez estabelecida a sistemática do processo de aplicação da MCC para EMH, conforme descrito no capítulo 3 e discutido nos itens 4.1 e 4.2, e na medida em que a mecânica de implementação deste estudo de caso é a mesma utilizada para o VTP, serão abordadas no item 4.3.1 somente as etapas que, de alguma forma, diferem dos outros estudos; as demais serão tratadas nos resultados deste estudo de caso. Destaca-se, nesse sentido, que os padrões de desempenho das funções levantadas foram baseados na norma NBR 13763 (ABNT, 1996), conforme mostrado nas planilhas do Anexo 3.1.

Nesse sentido, com base no estudo do VTP, mediante a delimitação das características tecnológicas mínimas e de um contexto operacional comum, aplicou-se o processo da MCC a uma família de VTP, caracterizados neste estudo como ventiladores pulmonares de segunda geração, denominados VTP2.

#### **4.3.1 APLICAÇÃO DA MCC AO VTP2**

##### **a) Etapa de Seleção do Item**

Neste trabalho abordaram-se as diferenças de especificidades e características intrínsecas peculiares aos contextos industrial e hospitalar. Tais aspectos vêm à tona novamente, agora, em razão da necessidade de investigação da viabilidade da aplicação de uma abordagem mais abrangente da MCC para EMH.

A MCC Simplificada, também conhecida como MCC Retroativa ou Reversa, representa uma tentativa de reduzir o tempo e os recursos necessários para a aplicação da MCC, por meio da utilização de listas genéricas de modos de falhas (FMEA), dentre outras abordagens (MOUBRAY, 2000).

A aplicação de análises genéricas em processos industriais constitui o foco de intensas discussões entre seus defensores e críticos. Segundo Moubray (2000), uma prática que deve ser rechaçada em virtude da possibilidade de acarretar severas conseqüências tanto econômicas como de segurança.

Entretanto, contrapondo-se à afirmação do mesmo autor, o qual relata “[...] ser pouco provável que processos produtivos semelhantes estejam submetidos ao mesmo contexto operacional”, em EAS há um alinhamento maior nos processos operacionais, o que fomenta a necessidade de investigação do tema.

A realização deste estudo visa, desse modo, promover uma maior abrangência de aplicação da tese, na medida em que propõe uma abordagem diferenciada em relação aos casos anteriores, bem como pela definição de requisitos de manutenção fundamentais que garantam os níveis mínimos de confiabilidade aos EMH congregados na denominação VTP2.

#### **b) Etapa de Definição da Equipe**

Completado o processo da MCC para o VTP e contando-se com uma equipe especializada, detentora de larga experiência na gestão desses equipamentos, definiram-se os membros da equipe de revisão do VTP2 com base na formação instituída no estudo anterior, porém racionalizada ao máximo. Assim, fizeram parte da abordagem do VTP2 um engenheiro com mestrado em Engenharia Biomédica e dois técnicos em manutenção de EMH, além do facilitador.

#### **c) Etapa de Caracterização do Contexto Operacional**

A caracterização do contexto operacional, juntamente com as demais etapas da análise técnica, compõe a fase mais importante no processo de aplicação da MCC. Essa importância é ainda mais destacada quando focada a “abordagem” do VTP2, cuja especificação do contexto operacional e das características tecnológicas dos EMH delimita a faixa de validação da aplicação da MCC, neste caso dos VTP2.

Os VTP, desde o seu surgimento em meados da década de 1920 (ABNT, 1996 apud SILVA, 2001), passaram por diversas modificações ao longo do seu processo evolutivo, as quais acompanharam a tendência de incorporação de inovações técnicas e tecnológicas em EMH. Para VTP, em especial, essa evolução pode ser caracterizada por três gerações distintas, conforme mostrado a seguir (ESPERANÇA, 1996):

- Primeira Geração – é a que apresenta menos recursos ventilatórios, os equipamentos são puramente pneumáticos e de pequeno porte, representada exclusivamente por VTP do tipo pressométricos (VTP ciclados por meio do controle da pressão). O VTP que caracteriza esta geração é o modelo Mark 7, da Bird;
- Segunda Geração – os VTP modelo MA1, da Bennett, e o Ohio 560, da Monaghan Company, são considerados o marco desta geração (PETTY apud ESPERANÇA, 1996). Caracterizam-se por serem volumétricos (ciclados por meio do controle de fluxo), além de incorporarem circuitos eletrônicos de controle, monitorização e alarme; misturador de gases externo; válvulas eletromecânicas de controle de entrega de gases ao paciente e um sistema equalizador de pressão;
- Terceira Geração – representada pelos modelos Evita, da Dräger; 7200, da Bennett; e E100, da Newport, esta geração é caracterizada por realizar o controle de fluxo inspiratório por meio de duas válvulas eletromagnéticas de precisão, juntamente com a mistura do gás (uma para o ar comprimido e outra para o oxigênio); possuem uma gama maior de modos ventilatórios em razão das maiores possibilidades tecnológicas e de circuitos microprocessados.

Os VTP classificados como de segunda geração, objeto deste estudo, são caracterizados, basicamente, pela estrutura representada na Figura 4.3, dos quais se destacam: misturador de gases externo, válvulas eletromecânicas de controle de entrega de gases ao paciente e utilização de sistema equalizador de pressão. Além dessas especificações, os VTP englobados devem atender às seguintes compatibilidades: ser de uso adulto e disponibilizar os modos ventilatórios de pressão controlada, volume controlado, pressão de suporte, SIMV e CPAP. Fazem parte do escopo dos VTP de segunda geração os seguintes modelos: Servo 900C, da Siemens; MA1, da Bennett; Inter 5, da Intermed; E 200, da Newport, e 8400, da Bird.

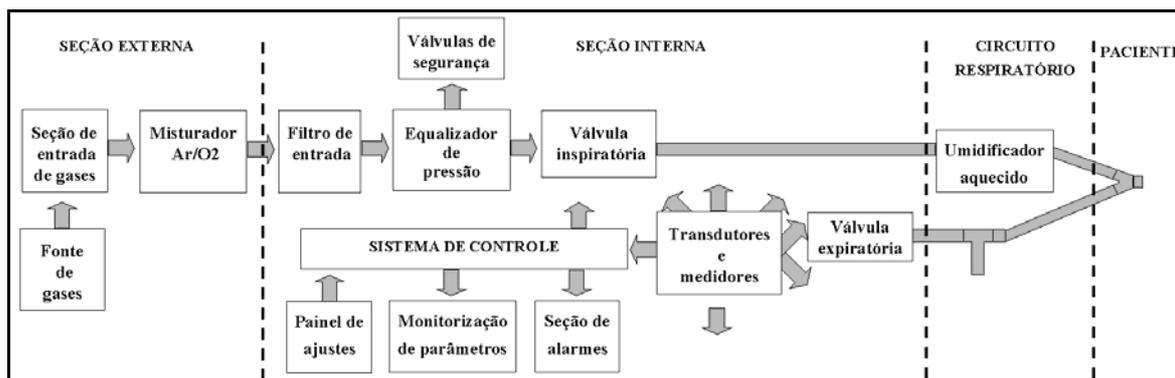


Figura 4.3: Diagrama funcional do VTP2.

## 4.3.2 RESULTADOS

### 4.3.2.1 Quantitativos

Os resultados obtidos pela aplicação da MCC ao VTP2 provêm da utilização da mesma sistemática empregada no estudo do VTP, ou seja, consideraram-se, no resgate das informações dos registros da FMEA e de decisão, para a análise e estabelecimento dos procedimentos de manutenção programada e das listagens de tarefas de reprojeto e de sobressalentes, apenas as funções primárias (que não se repetem) e as concomitantes (que se manifestam em diferentes modos ventilatórios).

A planilha de informações FMEA do VTP2, apresentada no Anexo 3.1, é resultado da análise de funções, padrões de desempenho e contexto operacional estabelecidos com base em características tecnológicas inespecíficas que congregam diferentes marcas e modelos de VTP, conforme representado na Figura 4.3. Entretanto, apesar de inferir modos e efeitos de falha “genéricos”, a FMEA do VTP2 reproduz uma noção fidedigna da rastreabilidade dos efeitos e da caracterização das conseqüências, sem comprometer o emprego do diagrama de decisão, bem como a identificação dos modos de falha, o que permite, ainda que de forma menos específica, a correta definição dos requisitos de manutenção.

Em relação aos procedimentos de manutenção, mostrados no Anexo 3.3, as principais peculiaridades reveladas em relação ao estudo anterior

foram a generalização das freqüências de realização das tarefas da equipe técnica para seis meses e a delimitação menos específica dada aos elementos protagonistas das tarefas de manutenção (por ex.: sistema equalizador de pressão ao invés de fole do circuito pneumático).

A condução deste estudo revelou, também, uma nova ótica na utilização da listagem de peças sobressalentes, na medida em que passa a representar apenas um referencial para a orientação das aquisições. Ou seja, todos os sobressalentes listados devem ser caracterizados segundo as especificidades da marca e modelo do VTP2 em questão, conforme mostrado no Quadro 4.8.

Quadro 4.8: Relação de peças sobressalentes determinadas pela aplicação da MCC ao VTP2.

<b>Código</b>	<b>Descrição</b>
A-1-A2a	Válvula reguladora de O <sub>2</sub> Válvula reguladora de ar comprimido
A-1-A2b	Mangueira de O <sub>2</sub> Mangueira de ar comprimido
A-1-A2c	Misturador de gases
F1-1-B	Transdutor de pressão
F1-1-C1	Válvula inspiratória
F1-1-D1	Válvula expiratória
G1-1-A	Transdutor de fluxo
E-1-B	Filtro bacteriano
L4-1-A	Célula de O <sub>2</sub>

Fonte: Primária.

#### **4.3.2.2 Qualitativos**

O processo de aplicação da MCC ao VTP2, assim como no estudo do VTP, contou com membros da equipe, cujo nivelamento foi instituído ainda quando da realização da análise do ar comprimido medicinal. A consideração de etapas preestabelecidas pôde ainda ser estendida à estruturação das reuniões, uma vez que a sistemática de organização das reuniões e os formulários adotados para a prática da MCC foram os mesmos utilizados nos estudos anteriores. Tais elementos, somados ao conhecimento sistematizado por meio da

análise do VTP e à definição dos parâmetros que caracterizaram, técnica e tecnologicamente, os VTP2 contribuíram, sobremaneira, para a simplificação do processo e redução do tempo de aplicação da MCC, bem como para ampliação das fronteiras de abrangência desta tese.

Optou-se por ventiladores pulmonares caracterizados como de segunda geração por estes representarem a configuração de VTP mais difundida nos hospitais públicos estaduais de Santa Catarina e, julga-se, em nível nacional. Conforme discutido no item 4.3.1. b, a análise do VTP2 contou com uma equipe altamente qualificada acerca desses equipamentos e com experiência na aplicação do processo da MCC em EMH, o que possibilitou a racionalização da equipe sem, no entanto, comprometer a qualidade dos resultados do estudo.

Este estudo de caso mostrou, ainda, resultados bastante semelhantes aos obtidos na análise do VTP, quando comparados os registros FMEA, de decisão e a listagem de sobressalentes dos dois estudos. Destaca-se, nesse sentido, apenas uma maior simplificação no nível de especificação dos resultados do VTP2 em relação ao VTP. Entretanto, um elemento destoou desta constatação – as tarefas de reprojeto instituídas pela aplicação da MCC para a configuração genérica do VTP2, mostradas no Quadro 4.9, foram, em essência, idênticas às resultantes do VTP específico – constituindo um indicativo consistente da contribuição do processo da MCC em EAS, mesmo mediante a aplicação de uma abordagem inespecífica.

Quadro 4.9: Tarefas de reprojeto levantadas pela MCC para o VTP2.

<b>Código</b>	<b>Tarefa Proposta</b>
A-1-A1	Disponibilizar fonte reserva de gases na forma de cilindros ou renovação tecnológica (ventiladores com compressor interno)
F1-1-B	Necessidade de um ventilador sobressalente

Fonte: Primária.

A semelhança dos resultados das duas análises é ainda mais destacada quando comparadas as seções de entrada de gases, de monitoração e de saída de gases, caracterizadas no Quadro 4.3, as quais representam aspectos

que podem ser encontrados, de modo geral, nos VTP de segunda e terceira gerações.

#### **4.4 VALIDAÇÃO DA PROPOSTA**

##### **4.4.1 PADRÃO SAE JA1011**

A MCC, conforme tratado no item 2.3, traduz-se em uma metodologia investigativa, lógica e estruturada; desenvolvida para fornecer argumentos, rastreados e baseados no conhecimento, para a tomada de decisão relativa aos procedimentos de manutenção mais viáveis e custo-efetivos para cada ativo físico. A partir do seu desenvolvimento em 1968 por Nowlan e Heap, diversos aprimoramentos foram agregados ao documento original que culminou com a segunda revisão do MSG3 em 1993. Esse documento orienta o desenvolvimento de programas de manutenção programada para os novos aviões comerciais norte-americanos até hoje (NETHERTON, 2001).

No entanto, desde o início dos anos de 1990, a metodologia, impulsionada pelos bons resultados obtidos pela indústria aeronáutica, passou a ser conduzida em praticamente todas as áreas de empreendimentos humanos organizados, originando inúmeras variações derivadas do processo original, todos chamados de “MCC” por seus proponentes, mas que freqüentemente têm muito pouca ou nenhuma semelhança com o processo de Nowlan e Heap (NETHERTON, 2001).

Esse cenário revelou a necessidade de criação de um padrão que estabelecesse os critérios mínimos que um processo deve atender para poder ser chamado de MCC. Por essa razão, em 1996, a Society of Automotive Engineers (SAE) – Sociedade Internacional de Engenheiros Automotivos – começou a trabalhar em um padrão relacionado com a MCC e, em agosto de 1999, aprovou o SAE JA1011 – *Evaluation Criteria for Reliability-centered Maintenance (RCM) Processes* (Critérios de Avaliação para Processos de Manutenção Centrada em Confiabilidade (RCM)).

Conforme descrito no prefácio desse documento, as referências de MCC mais amplamente aceitas e utilizadas, as quais constituem a base para o estabelecimento dos critérios do Padrão SAE, são: (1) o livro de Nowlan e Heap de 1978, *manutenção centrada em confiabilidade*, (2) o MIL-STD-2173(AS) (Requisitos de Manutenção Centrada em Confiabilidade de Aviões da Marinha, Sistemas de Armamentos e Equipamentos de Suporte) e o seu sucessor, *manual 00-25-403 de gerenciamento do comando de sistemas aero-navais dos Estados Unidos* (Diretrizes de Processos de Manutenção Centrada em Confiabilidade para a Aviação Naval) e (3) *manutenção centrada em confiabilidade* (RCM2) de John Moubray.

O padrão SAE JA1011 constitui um documento que define quais os critérios que devem ser atendidos para que um processo de manutenção centrada em confiabilidade seja denominado “MCC”. É composto por seis itens, além de um prefácio e de referências bibliográficas, abordando, no item 5, a definição dos critérios do processo da MCC.

Com o propósito de avaliar e validar o processo de MCC aplicado a EMH em EAS, segundo os critérios estabelecidos pelo padrão SAE JA1011, no Anexo 4 são listados os parâmetros exigidos pelo padrão e confrontados com a respectiva avaliação em relação ao processo proposto para EMH.

#### 4.4.2 ANÁLISE DE CUSTOS

A avaliação da proposta de aplicação da MCC a EMH, além dos critérios metodológicos confrontados no item anterior e mostrados no Anexo 4, passa pela necessidade de verificação da análise de custos relativos a aplicação da metodologia. Nesse sentido, a seguir, o tema estudo de avaliação econômica da aplicação da MCC em EMH é sinteticamente tratado.

##### 4.4.2.1 Estudos de Avaliação Econômica

Um estudo de avaliação econômica, também conhecido como análise econômica, é uma análise comparativa de cursos de ação alternativos em termos de seus custos e conseqüências. Na área da saúde, o propósito de uma análise econômica é estudar a relação entre os custos e as conseqüências de uma tecnologia sanitária comparada a uma ou mais alternativas (KRISTENSEN et al, 2001).

Um estudo de avaliação econômica deve, ao longo do seu processo, definir a perspectiva da análise. Em geral, a preferência dos estudos de avaliação econômica é a adoção da perspectiva social, na qual se incluem os custos indiretos e de oportunidade. Porém, existem outras perspectivas, como a do paciente/usuário, a do provedor e a do financiador (AETS, 1999).

Existem quatro tipos de estudos de avaliação econômica completos, isto é, que comparam as alternativas aos seus custos, sejam eles: a minimização de custos, a análise de custo-efetividade, a análise de custo-utilidade e a análise de custo-benefício (AETS, 1999).

- a) **Minimização de custos** – os resultados não são medidos em nenhuma unidade, porque se pressupõe que as intervenções comparadas produzem aproximadamente os mesmos resultados. É utilizada quando se pretende minimizar custos de opções distintas que permitem alcançar os mesmos resultados, embora com custos diferentes.
- b) **Análise de custo-efetividade** – os resultados são medidos em unidades naturais, unidades de efeito sanitário, tais como unidades de pressão arterial, incidência da enfermidade, casos evitados, mortalidade ou aumento de sobrevida. Este tipo de análise serve para a comparação dos custos de duas ou mais alternativas de intervenção sanitária que visam ao mesmo objetivo. A análise permite a determinação do procedimento que apresenta uma relação custo-efetiva mais adequada na conquista de um objetivo específico.
- c) **Análise de custo-utilidade** – é uma variante da análise de custo-efetividade, na qual um componente importante dos resultados medidos é a qualidade de vida. Os resultados são medidos, geralmente, em anos de vida ajustados por qualidade (*Quality Adjusted Life Year* – QALY). Caracteriza um estudo mais

amplo que a análise de custo-efetividade, apropriada quando a qualidade de vida é relevante como resultado das intervenções comparadas (AETS, 1999).

**d) Análise de custo-benefício** – é o único tipo de avaliação econômica em que tanto os custos quanto os resultados são medidos em unidades monetárias. O objetivo é determinar se os benefícios excedem os custos. Para a valorização monetária da saúde e da vida humana utilizam-se os enfoques do capital humano e da disponibilidade de pagar. O primeiro baseia-se na valorização econômica de prevenir a morte de um sujeito; o segundo valoriza a vida e a saúde baseando-se no dinheiro que os sujeitos estariam dispostos a pagar para uma melhora na saúde.

No Quadro 4.10 são indicados os critérios que orientam a eleição do tipo de análise econômica mais conveniente (KRISTENSEN et al., 2001).

Quadro 4.10: Critérios para eleição do tipo de análise econômica.

<b>Tipo de análise econômica</b>	<b>Critério para escolha de um tipo específico de análise</b>
Minimização de Custos	Quando se comparam tecnologias igualmente efetivas e, portanto, só seja necessária a informação de custos.
Custo-Efetividade	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Quando a efetividade das tecnologias seja diferente.</li> <li>2) Quando uma tecnologia domine as outras, isto é, é mais barata e mais efetiva que a tecnologia comparada.</li> <li>3) Quando são comparadas tecnologias com os mesmos objetivos e unidades de efetividade.</li> </ol>
Custo-Utilidade	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Quando a qualidade de vida relacionada à saúde é um resultado de saúde importante.</li> <li>2) Quando devem ser comparadas atividades de especialistas ou departamentos no setor do cuidado à saúde</li> </ol>
Custo-Benefício	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Quando efeitos que não estão relacionados à saúde também são importantes.</li> <li>2) Quando só uma tecnologia é avaliada.</li> <li>3) Quando existe o desejo que as vidas individuais sejam valorizadas em unidades monetárias.</li> <li>4) Quando as atividades da sociedade devem ser comparadas</li> </ol>

Fonte: Kristensen et al., 2001.

#### 4.4.2.2 Perspectivas de Análise

A análise econômica pode ser efetuada de diferentes perspectivas. A eleição da perspectiva determinará a amplitude da análise, isto é, os custos e conseqüências que devem ser incluídos e as análises e resultados que podem ser adotados na tomada de decisão.

Na perspectiva social, todos os custos e conseqüências das tecnologias consideradas devem ser identificados, mensurados e avaliados. Outras perspectivas de avaliação, mais restritas são a do hospital, a do plano de saúde ou a do paciente (KRISTENSEN et al, 2001).

#### **4.4.2.3 Análise dos Estudos de Caso**

Tomando-se por premissa que o estudo da viabilidade econômica é formado por uma composição dos itens a, b, c e d, conforme tratado no item anterior, a análise para os estudos de caso implementados neste trabalho é realizada sob as seguintes considerações:

- a perspectiva escolhida para a ponderação da análise será a do hospital, o Hospital X;
- o estudo de caso eleito para a análise é o do VTP, por reunir o maior número de elementos para a análise (custos, conseqüências e procedimentos);
- no cálculo de horas/homem para cada experimento é considerado como participação efetiva apenas a dos especialistas (facilitador, engenheiros e técnicos), uma vez que a assistência dos demais componentes objetivou a disseminação da MCC e não pode ser considerada na perspectiva do Hospital X;
- os valores monetários ponderados estão atualizados, tendo como mês de referência novembro de 2002;
- os valores salariais apresentados são referentes aos vencimentos do grupo de profissionais que participaram dos estudos de caso;
- custos fixos – para a consideração dos custos referentes a infra-estrutura, material de consumo, deslocamento, etc, estimou-se um percentual de 30% dos custos totais levantados.

### Cálculo de Horas/Homem:

A relação dos custos diretos envolvidos na realização dos grupos de revisão para os estudos de casos (ar comprimido, VTP e VTP2), é apresentada no Anexo 6.

### Minimização de Custos:

Se adotado que MP é uma tecnologia, uma vez que “tecnologia é essencialmente informação incorporada em elementos tão tangíveis como são os instrumentos, equipamentos, medicamentos e outros insumos materiais; em procedimentos e práticas que configuram atividade em saúde; em instrumentos normativos que preservem condutas e comportamentos, em habilidades e desempenho pessoal e m base de dados e outras formas de conservação e difusão da informação” (MARQUES apud ALBORNOZ, 2000), e que os procedimentos propostos pelo fabricante e pela MCC são efetivos, a comparação dos custos de ambas pode ser feita por meio das seguintes considerações iniciais:

- o tempo de operação do VTP de 1.000 h, no contexto operacional do Hospital X, equivale a , aproximadamente, dois meses;
- o fabricante do VTP estabelece que a cada 1.000 h de operação do VTP, devem ser realizados procedimentos de calibração, ajuste e troca de peças;
- o kit de peças de 1.000 h é composto por: um fole, um filtro bacteriano, dois filtros do transdutor de pressão (inspiratório e expiratório), uma tela de resistência de fluxo e dois elementos de silicone (válvula inspiratória e expiratória);
- o valor comercial de um kit de peças é de R\$ 1.100,00;
- a análise é estimada para um período de um ano;
- os registros do histórico (cerca de quatro anos) demonstram que a freqüência de substituição do kit pode ser aumentada sem prejuízos à funcionalidade do VTP.

Com o intuito de mensurar os custos dos programas de manutenção preventiva, propostos pelo fabricante e pela MCC realizada pelo Celec, a Tabela

4.2 apresenta um comparativo entre os programas, relacionando os seguintes elementos: o número de trocas de kits, o tempo para a troca do kit, o custo da hora técnica paga pelo Hospital X (fabricante e Celec), o número de MP programadas para o período, o tempo para a realização da MP e o custo total dos serviços, incluindo o custo dos kits e o tempo gasto nos procedimentos de troca dos kits e de MP.

Tabela 4.2: Comparativo de custos dos programas de MP propostos pelo fabricante e pela MCC, realizados pelo Celec.

Executor	nº troca kit	Tempo Troca kit	Custo hora p/ Hospital	nº MP	Tempo MP	Custo kit + Tempo kit + Tempo MP (p/ ano)
<b>Fabricante</b>	6	1 h*	R\$ 250,00***	2	1 h	R\$ 6.600,00 + (6 + 2)h * R\$ 250,00 = <b>R\$ 8.600,00</b>
<b>MCC p/ Celec</b>	2	0,5 h**	R\$ 76,49****	6	1 h	R\$ 2.200,00 + (1 + 6)h * R\$ 76,49 = <b>R\$ 2.735,43</b>

Fonte: Primária.

\* além da troca de peças, são realizados procedimentos de calibração.

\*\* referente, apenas, à troca de peças; o tempo para a realização dos procedimentos de calibração está contabilizado no Tempo MP.

\*\*\* valor cobrado pela empresa referente a 1 h técnica.

\*\*\*\* valor pago pelo Hospital X por uma hora do Celec:

$$\left( \frac{R\$12.850,00/\text{mês}}{21 \text{ dias úteis}} = \frac{R\$611,90/\text{dia}}{8 \text{ h}} = R\$76,49/\text{hora} \right)$$

Assim, assumindo-se a perspectiva do Hospital X, cujo custo do Celec é R\$ 76,49/hora, e que foram gastas 17,5 horas para a realização da MCC sobre o VTP, pode-se calcular o custo referente às reuniões, ou seja:

$$\text{custo MCC} = 17,5\text{h} \times R\$ 76,49/\text{h} = \mathbf{R\$ 1.338,57}$$

Contabilizando-se os custos totais dos programas, tem-se:

Custo MP fabricante = **R\$ 8.600,00**

Custo MP MCC = 2.735,43 (1 + 30%) + 1.338,57 (1 + 30%) = **R\$ 5.269,20**

#### Análise de Custo-Efetividade:

Além da questão custo, deduzida no item anterior, redundam da implementação de um programa de MP baseado na MCC diversos outros elementos, os quais exigem um período de monitoração não possível neste trabalho. Entretanto, a valoração da análise de custo-efetividade da MCC em EMH pode ser referendada por diversas experiências relatadas nos diversos setores da produção, como apresentado na seqüência. Dentre os principais indicadores têm-se: a redução da carga de trabalho, o aumento da disponibilidade dos equipamentos e o aumento da produtividade da equipe de manutenção.

Moubray enfatiza que a MCC focaliza continuamente sua atenção sobre as atividades que têm maior efeito sobre o desempenho da planta. Isso ajuda a assegurar que os gastos em manutenção sejam mais bem aproveitados (Moubray, 1997).

O autor acrescenta que, se a MCC for corretamente aplicada a um programa de manutenção existente, ser reduzida a quantidade da carga de trabalho (em outras palavras, as tarefas de manutenção são empreendidas sobre um ciclo básico) realizado em cada período, normalmente entre 40% a 70%. De outro modo, se a MCC é usada para desenvolver um novo programa de manutenção, a carga de trabalho programada resultante é muito menor que se o programa fosse desenvolvido pelo método tradicional (MOUBRAY, 1997, p. 19).

Moubray cita ainda os principais aspectos aprimorados pela MCC que auxiliam a reduzir ou, pelo menos, a controlar a taxa de crescimento dos custos de manutenção (MOUBRAY, 1997, p. 312-314), a saber:

- menos rotinas de manutenção;
- melhor aproveitamento dos contratos de manutenção de terceirizadas;
- menor necessidade de especialistas;
- fornecimento de um guia para a aquisição de novas tecnologias;

- maior desempenho operacional:
  - maior rapidez no diagnóstico de falha significa menos tempo para cada reparo;
  - detecção de falhas potenciais antes que elas se tornem falhas funcionais;
  - redução ou eliminação de retrabalho;
  - eliminação de supérfluos ;
  - identificação das falhas crônicas e do padrão operacional.

Kardek & Nascif e Sinkoc e Amaral reforçam essas afirmações e relatam que a MCC favorece o melhor custo-benefício da manutenção, uma vez que a adoção do tipo de manutenção mais adequado, determinado em função de análises detalhadas, garante que o capital investido na manutenção se dará onde o efeito for maior. Estima-se que se pode obter uma redução de 40% a 70% nas tarefas rotineiras de manutenção e uma redução de trabalhos de emergência entre 10% e 30% do total dos trabalhos (KARDEC & NASCIF, 1999, p. 114. SINKOC & AMARAL, 2000, p. 28).

Lafraia (2001) conclui que como resultado da aplicação da MCC as tarefas de manutenção, dado o contexto operacional, são otimizadas através da análise das conseqüências de suas falhas funcionais (operacionais), do ponto de vista da segurança, do meio ambiente, da qualidade e custos.

O autor afirma que a aplicação da MCC resulta no decréscimo das atividades de manutenção preventiva e do custo dos programas de MP. A redução nos custos de mão-de-obra e materiais é da ordem de 30% a 40%, mesmo quando o número de tarefas de MP aumenta.

Lafraia ilustra suas afirmações por meio de um exemplo da indústria aeronáutica. Relata o autor: "O intervalo entre inspeções da estrutura do DC-8 com a manutenção tradicional era de 20.000h. Já no DC-10, com a aplicação da MCC, este intervalo passou para 66.000h, aumentando a disponibilidade da aeronave para a operação. No programa tradicional do DC-8339 itens tinham recondicionamento programado com base no tempo; com o programa baseado na MCC, o DC-10 passou a ter somente 7 itens de recondicionamento programado no tempo. Com a MCC, houve redução de 50% no número de sobressalentes de

uma turbina do DC-10, o que significou uma redução de US\$ 1 milhão por turbina” (LAFRAIA, 2001, p. 239-240).

Outro autor a respaldar as afirmações feitas neste trabalho é Fleming, que declara: “[...] a implantação da MCC em um sistema produtivo envolve: uma consideração sistemática das funções do sistema, do modo como estas funções falham e um critério de priorização explícito baseado em fatores econômicos, operacionais e de segurança para a identificação das tarefas de manutenção que são aplicáveis e custo-eficientes” (FLEMING, 2000, p. 80).

Azevedo (2000) relata que, de maneira geral, todos os métodos de estruturação e de introdução de um maior rigor de execução e controle de práticas cotidianas conhecem esta fase de maturação do reconhecimento de seus trunfos. A MCC não foi nem é exceção a esse contexto. Como se pode verificar, essas dificuldades em nada impediram o extraordinário sucesso mundial deste método. O autor enfatiza que a eficiência econômica das aplicações da MCC na escala mundial, da ordem de 20 a 30% de ganhos, associada a retornos de investimento que vão de 3 a 15 meses, é elemento concreto e persuasivos junto a um número crescente de industriais de renome (AZEVEDO, 2000, p. 126).

Vizzoni (1998) conclui em sua dissertação de mestrado: “[...] o que a MCC faz é prover um enquadramento lógico para o desenvolvimento e justificação de um programa de manutenção, bem como o embasamento para a avaliação de seu sucesso e eficiência. Embora os resultados reais da implementação da MCC em sistemas de transmissão de energia elétrica levem anos para serem conhecidos, o processo de implantação da MCC resultou em um melhor entendimento dos mecanismos de falhas e aumentou nosso conhecimento sobre nossos sistemas e equipamentos”. Conclui dizendo que, à medida que as aplicações práticas do método a sistemas elétricos se multipliquem, chegaremos a desenvolver um modelo bem ajustado às peculiaridades desses sistemas que nos leve além dos ganhos mínimos (VIZZONI, 1998).

Segundo a experiência de Vizzoni et al. (1999), na aplicação da MCC, o setor elétrico brasileiro é uma área em que o nível de especialização e de conhecimento técnicos necessários é muito elevado, sendo preciso anos de treinamento e prática para alcançar proficiência para uma atuação segura e de baixo risco. A aplicação da MCC leva a um maior envolvimento e conhecimento

por parte de operadores e mantenedores, dos equipamentos e do sistema. Isso, associado à simulação dos custos, conforme apresentado, mostra que a aplicação da MCC a subestações de energia elétrica se confirma como uma alternativa bastante promissora (VIZZONI et al., 1999, p. 19).

Os autores concluem, ainda, que uma preocupação que surge, quando se trata de alterar um programa de manutenção, refere-se à possibilidade, sempre presente, de introduzir erros. No caso da MCC, esta preocupação não procede, pois o método, se bem aplicado, não muda o que já se fazia, se o que se fazia for aplicável e efetivo, e nada do que a MCC propõe que se faça pode piorar a qualidade do que já se fazia, ou diminuir a segurança, ou aumentar o risco. Ao contrário, todas essas características são melhoradas; os riscos, diminuídos e a confiabilidade, aumentada, a custos razoáveis (VIZZONI et al., 2001, p. 4).

Com base nos custos levantados, associados à aplicação da MCC no estudo de caso do VTP, e dos benefícios tangíveis pela metodologia em EAS, projetados a partir das diversas experiências relatadas, verifica-se a necessidade da realização de uma avaliação do processo de MCC para EMH utilizando-se ferramentas multiparamétricas, uma vez que diversos elementos estão associados a cada indicador de desempenho.

## 5. DISCUSSÃO

A investigação acerca dos preceitos, técnicas, procedimentos e resultados da aplicação da MCC conduziu a duas linhas, preponderantemente utilizadas em nível mundial no setor industrial, representadas pelas obras de Smith e Moubray. Apesar de ambas estarem baseadas no trabalho de Nowlan e Heap, publicado em 1978, apresentam diferenças de abordagens marcantes, de modo que, após a avaliação das propostas, optou-se pela obra de Moubray, o qual propõe o que chamou de RCM2.

O RCM2 foi adotado como referencial teórico para a formulação da proposta de aplicação da MCC para EMH, pois, além de tratar mais consistentemente a base teórica, o detalhamento das informações e a didática de apresentação, constitui uma das referências utilizadas para a elaboração dos critérios de avaliação de processos MCC, aspectos esses que resultaram na validação deste trabalho segundo o padrão SAE JA1011.

Comprovou-se, à medida que se desenvolveram os trabalhos, a necessidade da qualificação dos profissionais pertencentes ao grupo de revisão, tanto em relação à metodologia MCC (pré-requisito obrigatório do perfil do facilitador) como ao GTMH (da equipe como um todo, com o enfoque, sobretudo, no EMH estudado). Ressalta-se, nesse sentido, que a viabilidade da aplicação da MCC a EMH está fortemente atrelada à necessidade de informações consistentes acerca da tecnologia e do contexto médico-hospitalar, as quais são naturalmente providas pela condução efetiva do processo GTMH por EEC, conforme ilustrado na Figura 3.1.

Beskow (2001) retrata bem a necessidade de reconhecimento e de envolvimento para o desenvolvimento de atividades de gestão de tecnologia em EAS, alertando:

*O efetivo desenvolvimento das atividades de engenharia clínica está fortemente ligado à possibilidade de se modificar uma visão, um paradigma, predominante no ambiente hospitalar. Para tanto, deve-se ser capaz de evidenciar que a inserção de tecnologia em procedimentos médico-assistenciais está intrinsecamente ligada à prática profissional desenvolvida por EEC.*

A efetivação da aplicação do processo MCC em EMH está proporcionalmente envolvida com a superação deste desafio. O mesmo autor complementa (BESKOW, 2001):

*Administradores e gestores necessitam perceber que as atividades técnico-gerenciais relacionadas à área da saúde afetam de maneira tão grande a qualidade do atendimento quanto às demais ações médicas, de enfermagem, de fisioterapia, de nutrição, de higiene, de hospedagem e, até mesmo, de conforto e tratamento interpessoal com os “clientes”, devido à sofisticação tecnológica atingida.*

Nesse sentido, o facilitador detém papel fundamental para o estabelecimento da metodologia. Ele deve ter conhecimentos bastante solidificados para ser capaz de orientar e garantir que a filosofia da MCC seja aplicada corretamente; deve estar atento ao uso das perguntas na ordem correta, buscar o consenso, garantir a efetividade da reunião (objetividade e tempo) e garantir que a documentação necessária seja elaborada e registrada.

O facilitador deve, ainda, ser e estar preparado para a moderação de questões técnicas e operacionais. Para isso, somado ao forte embasamento na essência filosófica dos preceitos da MCC, ele deve possuir noções técnicas mínimas compatíveis com uma condução isenta de distorções e de abordagens consideradas rasas, as quais podem comprometer o resultado dos trabalhos.

Outros aspectos relacionados ao papel do facilitador, apontados pela aplicação da metodologia, é a responsabilidade pela motivação acerca da participação dos membros do grupo de revisão e a conquista do comprometimento e da cumplicidade da equipe, no que se refere a horários, datas e ao conhecimento gerado a partir do andamento dos trabalhos.

Da mesma forma, o grupo de revisão deve reunir, de modo global, características funcionais compatíveis com a metodologia, tais como: ter um tamanho conciliável com as possibilidades e necessidades do processo, ter propósito comum, conhecer indicadores e objetivos de desempenho (funcionalidade), assumir responsabilidades mútuas e possuir habilidades complementares. Ressalta-se, entretanto, que, apesar da defesa unânime acerca da integração de representantes da operação ao grupo de revisão, recomenda-se somente envolvê-los após a consolidação dos conceitos e práticas da MCC.

Siqueira (2000) respalda estas afirmações e destaca que usar pessoal apropriado significa que o exercício deve ser realizado por grupos de pessoas que possuam um completo entendimento de cada ativo no seu contexto operacional, trabalhando sob orientação de alguém que entende profundamente do processo a ser usado para avaliar as exigências de manutenção e que possua um interesse permanente de longo prazo no sucesso do projeto (na ausência de algum processo comparável de formulação de estratégias de gerenciamento de ativo físico, a única maneira realmente efetiva de fazer tudo isto, de uma única vez, para processos industriais complexos e modernos é arranjar para que grupos adequadamente treinados de operadores, manutentores, supervisores e especialistas, que convivem diariamente com o ativo apliquem a MCC sob a orientação de um facilitador adequadamente qualificado) (SIQUEIRA, 2000).

Em relação à seleção do item/processo para a aplicação da MCC, Vizzoni (1998) afirma “parece não haver limitações da sua aplicabilidade ou razões, contrárias a sua adoção”. Entretanto, especialmente nos estágios iniciais de incorporação da metodologia, a seleção de itens considerados tecnologicamente mais simples (como no caso deste trabalho, o sistema de ar comprimido) contribui para a disseminação e o alicerçamento dos conceitos, favorecendo implantações futuras a EMH de maior complexidade, escolhidos de acordo com critérios de priorização ou necessidades contextuais particulares.

O trabalho revelou, ainda, que é mais compensador dividir a análise do item (seja ele um sistema ou um EMH) em subitens – mais fáceis e rápidos de serem realizados em série. Em caso contrário, a análise sem o fracionamento do item pode demandar um tempo maior para a realização dos trabalhos.

A efetividade das reuniões foi, num primeiro momento, dificultada pelo número, considerado elevado, de participantes do grupo de revisão, contudo obteve-se um ganho significativo com a iniciativa da “promoção visual” dos documentos, ou seja, a ampliação dimensional de todos os documentos utilizados (diagrama funcional do sistema de ar comprimido, diagrama de decisão, planilhas FMEA e de decisão), de modo que o acompanhamento dos trabalhos fosse centralizado e mais bem coordenado pelo facilitador. Essa estratégia proporcionou um incremento significativo na eficiência dos trabalhos realizados

pelo grupo de revisão, em razão da agilização no esclarecimento de dúvidas, no registro das atividades e no acompanhamento do processo.

A aplicação da MCC a EMH, conforme apresentado e discutido ao longo dos estudos de caso, resultou em aspectos que, aqui, remetem à análises distintas, às quais se denominaram análise dos resultados diretos e indiretos, discutidas na seqüência.

### **5.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS DIRETOS**

De modo geral, a aplicação da MCC a EMH em EAS redundou, quando comparados os diferentes estudos de caso e diferentes enfoques, nos mesmos resultados “quantitativos”. Esses resultados podem ser resumidos em: registros FMEA e de decisão, procedimentos de manutenção e listagem de tarefas de reprojeto e de sobressalentes.

Os procedimentos apontados pela metodologia mostraram constituir-se numa boa base para a implementação de programas de manutenção, seja quando não é executado nenhum tipo de procedimento – caracterizado neste trabalho pelo sistema de ar comprimido –, seja onde existam procedimentos preestabelecidos, em razão da contextualização e aprimoramento desses pela aplicação da MCC – no caso do VTP; ou, ainda, a partir de procedimentos inespecíficos, os quais estabelecem um referencial para o desenvolvimento de atividades dirigidas a um modelo específico – caso do VTP2.

O trabalho evidenciou, ainda, que o nível de aprofundamento da análise em EMH foi significativamente mais restrito que em relação à indústria. Esta constatação é explicada sobretudo pelas diferenças contextuais existentes e pelas maiores possibilidades nutridas no setor industrial. Converte a favor do distanciamento dessas realidades a maior sofisticação das ferramentas de apoio às tarefas pró-ativas (termografia, ferrografia, análise de vibrações, etc.) e a disponibilidade de um quadro de pessoal maior, mais qualificado e especializado (em áreas específicas: elétrica, mecânica, MPd), formado por vários níveis organizacionais até as gerências.

Tais aspectos corroboram, significativamente, a caracterização de um quadro de relativo baixo número de tarefas pró-ativas (MP e MPd) e, como compensação dessa falta de possibilidades, de um alto índice de tarefas de reprojeto nos EAS. O ponto onde o processo de análise dos modos de falha deve parar é o nível em que seja possível identificar uma política de gerenciamento de falha custo-efetiva e tecnicamente apropriada (MOUBRAY,1997; KARDEC & NASCIF, 1999; SINKOC & AMARAL, 2000; LAFRAIA, 2001; FLEMING, 2000; AZEVEDO, 2000; VIZZONI, 1998).

Uma vez elencadas as tarefas de manutenção, a sua descrição ou o grau de detalhamento da atividade pode, ainda, ser variável, de acordo com as necessidades, exigências ou propósitos dos coordenadores do processo. No entanto, deve conter as informações mínimas necessárias ao seu completo e rápido entendimento por parte do seu executor.

A concepção formada neste estudo, com base na investigação das áreas de manutenção e de GTMH, consolidou a avaliação periódica de parâmetros de desempenho (programa de avaliações técnicas) como requisito incondicional para o reconhecimento da qualidade na realização das atividades de manutenção programada de EMH, a qual é a responsável, na maioria dos casos, pela constatação da condição de falha da função avaliada. Esta conclusão é apoiada pela Joint Commission on the Accreditation of Healthcare Organization (JCAHO), a qual indica, dentre os seus critérios para a certificação, que testes de desempenho e segurança deveriam ser conduzidos, pelo menos, anualmente. A entidade complementa, ainda (JCAHO apud RIDGWAY, 2001):

*... periodicidades maiores que doze meses, podem ser justificadas com base em experiências anteriores e aprovadas pelo comitê de segurança. A especificação de um intervalo anual de testes não pretende ser um padrão único. Espera-se que a organização aplique um julgamento profissional no estabelecimento de intervalos de modo que os riscos e perigos sejam adequadamente administrados.*

Nesse cenário e segundo a percepção do autor desta tese, as atividades de avaliação técnica configuram procedimentos de MPd, diferentemente do defendido por muitos autores no campo da engenharia clínica.

A aplicação da MCC apontou insatisfações, baseadas nos padrões de desempenho estabelecidos por norma ou pelas necessidades contextuais,

relativas à confiabilidade dos itens estudados. Tais não-conformidades são o resultado da caracterização de possíveis modos de falha, cuja ocorrência resultaria em prováveis conseqüências de segurança/operacionais/ocultas, as quais não puderam ser evitadas ou minimizadas pela implementação de qualquer política de manutenção pró-ativa. Nesses casos, a necessidade de ações de reprojeto foi evidenciada.

A análise dos estudos de caso realizados neste trabalho ressaltou, como característica marcante das tarefas de reprojeto, tanto dos EMH como do sistema de ar comprimido, o caráter sistêmico dessas tarefas em relação ao ambiente industrial. Esse comportamento deriva da diferença no enfoque da gestão dos ativos – no caso do GTMH centrado na busca da melhor relação custo-benefício, por meio da adequação ao uso dessa tecnologia; ao passo que, na indústria, as questões de projeto e engenharia complementam as ações da produção e da manutenção – e da própria tecnologia, a qual, apesar de ser tão ou até mais complexa que na indústria, em EAS está inserida em um contexto em que as mudanças de projeto são quase que totalmente impossibilitadas, o que resulta, fundamentalmente, em mudanças do projeto do processo cujo EMH esteja inserido.

Comparativamente, o índice apresentado por Moubray (1997) – relativo ao percentual de tarefas de reprojeto na aplicação da MCC na indústria – varia entre 2% e 10 % dos modos de falha, ao passo que os estudos de caso realizados apontaram uma faixa percentual de 27-33% de tarefas de reprojeto em relação ao total de modos de falha. Estes índices remetem à consideração de duas constatações principais: a caracterização mais acentuada das conseqüências de segurança e operacionais dos ambientes dos EAS e a necessidade, irrevogável, de análise dos EMH em seus contextos de operação, como proposto neste trabalho.

Nesse sentido, ressalta-se a importância da implementação de medidas corretivas, quando detectada a necessidade de reprojeto, em razão tanto das possíveis conseqüências (de segurança e operacionais) como do alto índice constatado (cerca de 1/3 dos modos de falhas totais).

A análise de custos apresentada no item 4.4.2, mostrou que o programa de MP proposto pela MCC e conduzido por uma EEC, no caso o Celec,

redunda numa somatória de custos menor, cerca de 60% dos custos do programa proposto pelo fabricante. Destaca-se, ainda, que a amortização dos custos do processo MCC é proporcional ao período de análise. Estima-se que em 5 anos, por exemplo, uma redução de para 45% dos custos do fabricante.

## **5.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS INDIRETOS**

Em relação aos resultados não-rastreáveis, caracterizados, neste trabalho, como elementos aprimorados mediante a aplicação da MCC em EMH, agregados ou assimilados de forma não sistematizada, são aspectos que se refletem nos seguintes pontos:

- melhoria da compreensão do funcionamento dos equipamentos e/ou sistemas, proporcionando uma ampliação de conhecimentos aos participantes do grupo de trabalho;
- desenvolvimento do trabalho em grupo com reflexos altamente positivos na análise, solução de problemas e estabelecimento de programas de trabalho;
- maior motivação dos componentes da equipe de revisão, pela melhor compreensão dos EMH em seu contexto operacional, além do compartilhamento dos problemas e envolvimento de todos para a resolução desses, nos diversos níveis do EAS;
- incremento do conhecimento quanto:
  - à manutenção, no que diz respeito a seus princípios e conceitos básicos;
  - à MCC, pela definição do modo como o item pode falhar e das causas fundamentais de cada falha, desenvolvendo mecanismos para evitar a ocorrência de falhas que possam ocorrer espontaneamente ou ser causadas por atos das pessoas;
  - à funcionalidade, quanto às normas e recomendações normativas associadas;
  - ao contexto operacional do objeto de estudo;
  - à identificação das conseqüências de cada falha funcional.

Além disso, como um resultado indireto do processo MCC, o qual pode fazer parte ou não dos objetivos traçados mediante a sua aplicação, há o treinamento dos componentes da equipe de revisão. Saliencia-se que a participação de operadores, sobretudo na etapa de aplicação da FMEA, cujo propósito é o estabelecimento das funções, das causas dos efeitos e das conseqüências de falha, contribui mais efetivamente tanto para o desenvolvimento do processo como para o seu aprendizado ou melhor entendimento do item em análise. Por outro lado, o treinamento de mantenedores exige o seu engajamento em todas as fases do processo.

## **6. CONCLUSÕES**

O processo MCC, quando conduzido nos moldes propostos neste trabalho de tese, provou ser aplicável a EMH e atender às peculiaridades dos EAS, sobretudo quando focadas as exigências de confiabilidade e segurança, não apenas dos equipamentos como também dos processos. Nesses termos, a MCC constitui uma importante ferramenta para o aprimoramento da gestão da manutenção e, conseqüentemente, do processo de GTMH, especialmente na condução das fases de utilização e manutenção no ciclo de vida desses equipamentos. A importância da utilização de metodologias preestabelecidas de manutenção de EMH, como forma da otimização de tempo e recursos, é também respaldada por Esperança (1996).

Esta assertiva é balizada, neste estudo, pelo referencial teórico construído, fruto de extensa investigação que contemplou os diversos setores da indústria de bens e serviços, e pela participação efetiva em EEC. A caracterização, tanto dos critérios necessários ao estabelecimento do processo da MCC, conforme as exigências do padrão SAE JA1011, como do estado da arte do GTMH, com destaque para a manutenção em EAS, possibilitou a estruturação de uma proposta aplicada a EMH, a qual foi validada e consolidada pela implementação dos estudos de casos relatados.

Do envolvimento exigido com e para a realização dessas ações, resultou uma nova percepção do processo MCC, embasada na ótica da gestão de EMH, que caracteriza a MCC como uma metodologia investigativa, lógica e estruturada, cuja aplicação fornece argumentos, rastreados e baseados no conhecimento, para a tomada de decisão acerca dos procedimentos de manutenção mais viáveis e custo-efetivos na gestão da falha de cada item, com vistas ao estabelecimento/conservação dos níveis mínimos de segurança e confiabilidade exigidos.

Ao longo do trabalho, abordaram-se aspectos, componentes da MCC, os quais não constituíram novidade na manutenção atualmente empregada no ambiente hospitalar – práticas como a priorização de equipamentos, MP e MC já fazem parte de programas tradicionais de manutenção amplamente conduzidos

em EAS. O que este trabalho, por meio da MCC, revigora na questão – gestão da manutenção de EMH – é a ênfase explícita nos aspectos de segurança, de disponibilidade operacional e econômicos, associados ao emprego sistemático de ferramentas oriundas da engenharia de confiabilidade, como a FMEA, o diagrama de decisão e a avaliação de riscos (VIZZONI et al., 2001).

A congregação desses elementos significa o rompimento de paradigmas relacionados ao modo como a gestão de ativos físicos, em especial de EMH, passa a ser tratada – questões como: o que fazer?, onde? quando? são conduzidas pela MCC de modo estruturado e lógico, visando ao estabelecimento de ações preventivas, sejam elas de projeto, operação ou manutenção, que garantam a gestão das conseqüências de falha de forma segura e racional do ponto de vista econômico (MOUBRAY, 1997; KARDEC & NASCIF, 1999; SINKOC & AMARAL, 2000; LAFRAIA, 2001; FLEMING, 2000; AZEVEDO, 2000; VIZZONI, 1998).

O GTMH desenvolvido em Santa Catarina, bem como em nível global, é baseado na atuação de profissionais com qualificação e formação multidisciplinar, os quais conjugam conhecimentos de engenharia, medicina e gestão no trato de EMH. Esse modelo busca, em todas as fases do processo, o estabelecimento e aprimoramento da qualidade, fundamentalmente, pela garantia da disponibilidade de equipamentos custo-efetivos, eficientes e seguros.

Este estudo consolida essa idéia e reforça, ainda, que a atuação de profissionais de engenharia clínica que visualizam e mantêm o compromisso com a segurança, a eficiência e o custo, como propõe a MCC, é fundamental para a manutenção e o incremento da confiabilidade dos EMH.

EEC alicerçadas sobre a base sólida do processo de GTMH constituem um requisito compulsório e incondicional para o melhor aproveitamento dos benefícios advindos da MCC em EAS, na medida em que a aplicação das proposições desta tese pressupõe a percepção do todo relacionado, desde as primeiras concepções para a aquisição da tecnologia, passando pela sua recepção, instalação, manutenção e utilização, até a caracterização do seu descarte.

Outro ponto evidenciado a partir do início dos trabalhos, em especial da análise FMEA, foi a necessidade de conhecimento e domínio dos padrões de

desempenho relacionados ao item analisado, em geral por meio de normas e portarias. Essa demanda deriva de uma prerrogativa imposta pela metodologia, a qual encrava à função do item, as suas exigências ou necessidades de desempenho. Isso remete ao destaque da importância e da necessidade da avaliação periódica de parâmetros.

Inferese dessa assertiva o reforço da necessidade de EEC que desenvolvam, de maneira efetiva, o processo de GTMH, especialmente nas questões incorporadas à estruturação de atividades de avaliação técnica, como elemento decisório da aplicabilidade da MCC em EAS na qualificação da gestão de tecnologia. Na medida em que os dados gerados no processo de GTMH servem, sobretudo, para a elaboração de mecanismos gerenciais, como propõe a MCC no caso da gestão da manutenção, que criem fluxos de informação suficientes e necessários (BESKOW, 2001).

Na visão de autor desta tese e como facilitador deste trabalho, baseado na experiência obtida no decorrer da pesquisa, é essencial, sobretudo, que o facilitador detenha ou adquira qualificação e conhecimento no que se refere ao GTMH, característico da formação obtida por profissionais de engenharia clínica, bem como da filosofia e preceitos fundamentais da MCC. Nesses termos, o facilitador atua como elemento catalisador do conhecimento, interpelando e intermediando as discussões, de maneira que as informações sejam, consistentemente, ordenadas e registradas.

Do mesmo modo, para a qualificação e ampliação da abrangência da análise realizada, é imprescindível que a equipe de revisão congregue e componha, além do conhecimento técnico e experiência, em níveis diferenciados, um perfil multidisciplinar composto de diferentes níveis de formação. Nesse sentido, ressaltam-se os seguintes aspectos: a importância da incorporação de operadores (médicos e enfermeiros), especialmente na fase de análise da FMEA; a possibilidade da participação de fabricante/representantes de EMH, no auxílio à efetivação da fase de análise técnica, e a necessidade de investigação sobre a participação de membros da gerência como forma de respaldo às atividades desenvolvidas.

O comprometimento da gerência do EAS, seja de forma participativa, seja, pelo menos, no apoio formal das ações, é necessário visto que

detém as atribuições relativas à disponibilização dos recursos necessários ao desenvolvimento do processo, tais como: formação/contratação do facilitador, disponibilização de material de consumo e infra-estrutura de apoio, além de caber-lhe autorizar a participação dos membros da equipe de revisão e o aporte de recursos necessários para a implementação das tarefas levantadas.

Os resultados obtidos neste estudo apontam a MCC como uma ferramenta eficaz para a obtenção de registros das atividades de manutenção, rastreáveis, os quais facilitam e garantem a qualidade do trabalho realizado. Tais registros constituem um dos critérios avaliados para a certificação da qualidade no gerenciamento da manutenção (BALTAZAR, 2002).

Os procedimentos escritos, resultantes da aplicação da MCC, também atuam como evidências indubitáveis para potenciais justificativas de investimentos ou melhoramentos junto ao corpo diretor, já que estabelecem de maneira lógica e sistematizada, o levantamento e a classificação das possíveis conseqüências em razão de cada falha funcional e das ações necessárias para a mitigação ou eliminação desses riscos/efeitos.

Dentre as constatações estabelecidas com base na análise do problema abordado, ressalta-se que o incremento do conhecimento a respeito do objeto de estudo é inevitável. A aplicação da metodologia destacou, num primeiro momento, de maneira objetiva, as características e as necessidades do contexto operacional estudado; indicou suas funções e subfunções, atrelando-as aos padrões de desempenho exigidos, e proporcionou a identificação das falhas funcionais provenientes da perda de cada função. A realização de tais etapas do processo possibilitou a análise das falhas funcionais, apontando suas causas, efeitos e conseqüências, bem como as ações necessárias para que elas fossem eliminadas ou, pelo menos, reduzidas a níveis aceitáveis.

Uma das características evidenciadas pela aplicação do processo MCC a EMH refere-se às conseqüências de falhas. Segundo os resultados obtidos neste trabalho, grande parte das possíveis conseqüências de falha, cerca de 90%, são do tipo segurança, que podem resultar em agravos ou, até, levar à morte de pacientes; operacionais, com a possível suspensão de cirurgias, indisponibilização de leitos de UTI e de equipamentos, enfim, redução das atividades do EAS, e ocultas, as quais podem resultar em qualquer das

anteriores. Isso reforça a assertiva de que a fronteira entre as conseqüências de segurança e operacionais resultantes de equipamentos, na área da saúde, é bastante estreita.

Ainda quanto às peculiaridades dos EAS, talvez a mais clara diferença, em relação à indústria, destacada neste trabalho, sejam as conseqüências sociais advindas dos modos de falha. Estas estão intrinsecamente associadas à indisponibilidade de itens, sejam EMH ou sistemas, o que pode impossibilitar a realização de exames, cirurgias, internações, enfim, os serviços aos quais os hospitais se propõem.

Do ponto de vista da avaliação da MCC aplicada a EMH, segundo os critérios do padrão SAE JA1011 – o qual estabelece parâmetros cujo processo pode ser comparado e, a partir disso, validado, segura e comprovadamente, como um “processo MCC” –; a proposta ora apresentada atendeu, de forma robusta e confiável, aos critérios estabelecidos, conforme mostrado no Anexo 4. A consideração de tais exigências foi possibilitada, sobretudo, pela utilização de referenciais comuns, tanto deste trabalho como do padrão SAE JA1011, ou seja, o RCM2.

Em sintonia com os aspectos levantados por Vizzoni et al. (2001), ficou claro, neste trabalho, que os custos preponderantes envolvidos com a aplicação do processo MCC referem-se ao treinamento da equipe, em especial do facilitador, às reuniões, em razão da indisponibilização de profissionais altamente qualificados, e às possíveis alterações estruturais a serem realizadas em EMH e instalações, resultantes do processo.

São vários, entretanto, os benefícios advindos da aplicação do processo MCC, conforme demonstrado e discutido ao longo deste trabalho, dentre os quais, destacam-se o estabelecimento, revisão e certificação de programas de manutenção e o incremento do conhecimento dos integrantes das equipes acerca da confiabilidade, manutenção, operação, enfim, do GTMH. Tais benefícios são, ainda, maximizados e potencializados, em contextos onde se desenvolve o processo de GTMH, em todas as suas fases, de maneira eficiente e integrada.

Além disso, outra iniciativa, derivada deste trabalho, que merece investigação em razão da sua relevância atual, é a extensão deste estudo às questões relacionadas à segurança de EMH em consonância com as finalidades

da Anvisa, tanto no período pré-comercialização, por meio da Gerência Geral de Tecnologia de Produtos para a Saúde, como no pós-comercialização, por intermédio da Tecnovigilância.

A aplicação da MCC, num primeiro momento, está em sintonia imediata com o projeto nacional da Tecnovigilância – O Sistema Nacional de Ocorrências Associadas a Produtos para a Saúde. Este projeto propõe a investigação de queixas técnicas ou eventos adversos que resultem em agravos derivados da utilização de, dentre outros produtos, EMH de, inicialmente, cem hospitais de médio e grande porte distribuídos pelo Brasil.

A iniciativa da Anvisa objetiva formar “centros de inteligência” nos hospitais, que gerenciem a aquisição e a manutenção de EMH (IEB-UFSC, 2001). O GTMH e, em especial, a MCC podem contribuir, sobremaneira, com o rastreamento de todas as informações relativas à manutenção – procedimentos, frequência de realização, sobressalentes, riscos e conseqüências das falhas. Intrínsecas ao processo MCC estão as respostas às perguntas “O que acontece?” e “Por que ocorreu?” contidas no formulário de notificação das ocorrências.

Quanto ao período pré-comercialização, vislumbra-se que os resultados gerados pela MCC poderiam fazer parte dos critérios exigidos para o registro dos EMH, cujos fabricantes deveriam informar os possíveis modos de falha, as conseqüências originadas e a melhor maneira de preveni-los e gerenciá-los.

Como demonstrado ao longo deste trabalho, sobretudo com base nos resultados dos estudos de caso, a proposta de aplicação da MCC a EMH representa uma inquestionável contribuição no processo de GTMH, em especial pelo aporte fornecido pela metodologia às questões relacionadas à tecnologia em suas diversas nuances, caracterizadas pelo contexto operacional, exigências de desempenho, funções, operação, manutenção e possíveis conseqüências derivadas das falhas.

Finalmente, com base no exposto, conclui-se, sucintamente, que a MCC, aplicada nos moldes deste trabalho, constitui uma ferramenta de auxílio ao processo de desenvolvimento do GTMH, na determinação das exigências relativas à confiabilidade e à qualidade das funções, que podem ser de um EMH, um sistema ou um processo. Isso responde, em parte, a um questionamento

levantado pela ECRI nas suas conclusões da publicação “Tendências dos Serviços de Equipamentos Médicos” (ECRI, 1997a).

*A indústria de serviços de equipamentos médicos está claramente mudando. As velhas regras não servem mais, e as EEC devem se perguntar, como elas necessitam mudar para tornarem-se participantes ativos no novo paradigma.*

## 7. PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

Ainda sobre os temas engenharia clínica, gerenciamento de tecnologia médico-hospitalar, manutenção de EMH e estabelecimento assistenciais de saúde, derivaram desta tese questões complementares e não respondidas, as quais aguçam o sentimento de esclarecimento. Assim, na seqüência, são apresentadas sugestões para futuras investigações:

- comparar os resultados da implementação da MCC em EMH a programas tradicionais de MP, utilizando *benchmark* nacionais e internacionais de disponibilidade e confiabilidade;
- aplicar a MCC em EAS como uma ferramenta para a avaliação da efetividade, focando-se os processos encontrados nesse contexto, tais como leito de UTI, sala cirúrgica, setor de tomografia, etc.;
- caracterizar, por meio de metodologias específicas ou com um enfoque mais direcionado da MCC, o papel do erro humano nas questões relativas à confiabilidade de processos e de equipamentos em ambientes de EAS;
- estabelecer, com base no histórico de falhas de EMH, o confrontamento da análise de taxas de falhas desses com as conclusões estabelecidas por Nowlan e Heap, sobretudo acerca da curva característica de equipamentos eletroeletrônicos;
- estabelecer um programa computacional contemplando o processo MCC para EMH integrado a um sistema de informações de uma EEC;
- investigar a utilização da MCC, mais especificamente da FMEA, como ferramenta para a implementação da codificação de defeitos de falhas para sistemas de informação de EEC;
- verificar a viabilidade da utilização da MCC, mais especificamente da FMEA, como ferramenta para a orientação da codificação de defeitos de falhas para o Sistema Nacional de Notificação de Eventos Adversos da Anvisa;
- determinar o período ótimo para a realização de atividades de MPd relacionadas à avaliação periódica de parâmetros, como forma de caracterização do tempo de vida útil de EMH.

**ANEXO 1 – REGISTROS DO SISTEMA DE AR COMPRIMIDO**

**ANEXO 1.1 – PLANILHA FMEA**



**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
FMEA**

<b>Unidade:</b> Fornecimento Ar Comprimido	<b>Nº.:</b>	<b>Coordenador:</b>	<b>Data:</b>
<b>Sistema:</b> Sistema de Ar Comprimido	01	Marcos Vinícius Lucatelli	31/05/01
<b>Equipamento:</b>	<b>Rev:</b>	<b>Equipe:</b>	<b>Folha:</b>
<b>Conjunto/Componente:</b>	01	IEB – UFSC/Eng. Clínica	01/02

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA ( <i>Causa da Falha</i> )		EFEITO DA FALHA ( <i>O que acontece quando falha</i> )	
1	Fornecer ar comprimido com pressão mínima de 4kgf/cm <sup>2</sup> à plena demanda	A	Pressão inferior a 4kgf/cm <sup>2</sup>	1	Falha no sistema elétrico a) Falta de energia elétrica 1) Falha no sistema de proteção 2) Falha no fornecimento 3) Cabo rompido b) Falha no motor 1) Queima do induzido 2) Queima do capacitor 3) Desgaste mecânico (rolamentos) c) Falha no pressostato	- danos físicos graves; - suspensão de cirurgias específicas; - fechamento de leito de UTI; - indisponibilidade de equipamentos pneumáticos.	
				2	Falha no sistema de compressão a) Desgaste da correia b) Falta de lubrificação (condição do óleo) c) Desgaste no sistema mecânico		
				3	Vazamento a) Unidade geradora b) Rede		
				4	Obstrução a) Filtro captação b) Filtro rede c) Fechamento do registro		
				5	Mau dimensionamento da rede		
2	Fornecer ar comprimido isento de umidade	A	Ar comprimido com presença de umidade	1	Falha no secador a) Entupimento no sistema de purga b) Falha no termostato (temperatura < 0°C) c) Falha no trocador de calor d) Baixa pressão do gás refrigerante	- danos e indisponibilidade de equipamentos; - indisponibilidade de leitos; - danos ao paciente.	
				2	Falha nos purgadores dos reservatórios		
				3	Captação inadequada de ar		
				4	Filtro, armadilha d'água saturado		

**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
FMEA**

<b>Unidade:</b> Fornecedor Ar Comprimido	<b>Nº.:</b>	<b>Coordenador:</b>	<b>Data:</b>
<b>Sistema:</b> Sistema de Ar Comprimido	01	Marcos Vinícius Lucatelli	31/05/01
<b>Equipamento:</b>	<b>Rev:</b>	<b>Equipe:</b>	<b>Folha:</b>
<b>Conjunto/Componente:</b>	01	IEB – UFSC/Eng. Clínica	02/02

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA (Causa da Falha)		EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)
3	Fornecer ar comprimido isento de óleo	A	Ar comprimido com presença de óleo	1	Falha nos anéis de retenção do compressor	- danos e indisponibilidade de equipamentos; - indisponibilidade de leitos;
				2	Captação inadequada do ar (captação de névoa de óleo)	- danos ao paciente.
4	Fornecer ar comprimido não contaminado com: cheiro; bactérias; partículas.	A	Ar comprimido contaminado	1	Captação inadequada do ar	- danos ao paciente; - aumento do tempo de internação.
5	Fornecer ar comprimido com pressão máxima de 8kgf/cm <sup>2</sup>	A	Pressão superior a 8kgf/cm <sup>2</sup>	1	Falha no pressostato	- danos a equipamentos pneumáticos.

**ANEXO 1.2 – PLANILHA DE DECISÃO**

**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
MCC**

<b>Processo:</b> Fornecimento de Ar Comprimido	Nº: 01	<b>Coord:</b>	<b>Data:</b>
<b>Sistema:</b> Sistema de Ar Comprimido		Marcos Vinícius Lucatelli	12/6/2001
<b>Equipamento:</b>	Rev.: 01	<b>Equipe:</b>	<b>Folha:</b>
<b>Conjunto/Componente:</b>		IEB - Eng. Clínica	01/02

Referência da Informação			Avaliação das Conseqüências				H1	H2	H3	Ações Default				Tarefa Proposta	Frequência Inicial	Responsável Execução
							S1	S2	S3							
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4				
1	A	1a1	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	Inspeção visual, limpeza (providenciar sobressalente) (necessidade de outra fonte de Ar)	Mensal	Eletricista	
1	A	1a2	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	Verificação da conexão ao sistema de emergência (gerador)	Única	Celec	
1	A	1a3	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Substituição do cabo, providenciar sobressalente (necessidade de outra fonte de Ar)	Ocasional	Eletricista	
1	A	1b1	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Substituição do induzido, providenciar sobressalente (necessidade de outra fonte de Ar)	Ocasional	Eletricista	
1	A	1b2	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Substituição do capacitor, providenciar sobressalente (necessidade de outra fonte de Ar)	Ocasional	Eletricista	
1	A	1b3	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	Inspeção visual - monitorização do ruído - providenciar sobressalente (necessidade de outra fonte de Ar)	Mensal	Eletricista	
1	A	1c	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	Inspeção visual, calibração do pressostato, através da comparação com o manômetro de saída	Trimestral	Eletricista	
1	A	2a	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	Medição do desgaste da correia (substituição conforme especificação)	Mensal	Eletricista	
1	A	2b	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificação do nível de óleo	Mensal	Eletricista	
									S				Substituição do óleo conforme fabricante, a cada 200 horas (calcular a frequência) (encher o reservatório antes da substituição)	Programar	Eletricista	
1	A	2c	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Instalação do filtro na saída do compressor	Única	Eletricista	
									S				Verificação da presença de óleo no filtro	Mensal	Eletricista	
1	A	3a	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	Inspeção visual (encher o reservatório antes de reparar)	Mensal	Manutenção	
1	A	3b	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Manutenção corretiva	Ocasional	Manutenção	
									S				Verificação e reativação dos painéis de controle	Única	Celec	
1	A	4a	N	S	N	S	N	S	N	N	N	N	Limpeza do filtro	Quinzenal	Manutenção	
									S				Substituição do filtro conforme especificação do fabricante	Programada	Manutenção	
1	A	4b	N	S	N	S	N	S	N	N	N	N	Limpeza da armadilha d'água	Semanal	Manutenção	

F: Falha FF: Falha Funcional MF: Modo Falha

H: Ocultas (Hidden) S: Segurança (Safety) E: Meio Ambiente (Environment) O: Operacionais (Operational) N: Não Operacional

X1: Manutenção Preditiva X2: Manutenção Preventiva (Recuperação Programada) X3: Manutenção Preventiva (Troca Programada)

H4: Detecção Programada de Falhas H5: Reprojeto Obrigatório S4: Tarefas Combinadas



**ANEXO 1.3 – PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO PROGRAMADA**

# PROGRAMA DE INSPEÇÃO

<b>Unidade:</b> HGCR	<b>Nº.:</b>	<b>Coordenador:</b>	<b>Data:</b>
<b>Sistema:</b> Sistema de Ar Comprimido	01	Marcos Vinícius Lucatelli	23/08/01
<b>Equipamento:</b>	<b>Rev:</b>	<b>Equipe:</b>	<b>Folha</b>
<b>Conjunto/Componente:</b>	01	GPEB – Eng. Clínica	01/02

Código	Tarefa Proposta	Frequência	Data	Observações
2-A-1a1	Verificação da funcionalidade dos purgadores do secador	Semanal	__/__/__	
			__/__/__	
			__/__/__	
			__/__/__	
2-A-1a2	Calibração e ajustes do termostato do secador	Semanal	__/__/__	
			__/__/__	
			__/__/__	
			__/__/__	
1-A-4b/ 2-A-4	Drenagem da água do filtro da saída do 2º reservatório	Semanal	__/__/__	
			__/__/__	
			__/__/__	
			__/__/__	
2-A-2	Verificação da funcionalidade dos purgadores dos reservatórios	Semanal	__/__/__	
			__/__/__	
			__/__/__	
			__/__/__	
1-A-4a	Limpeza do filtro de captação do ar	Quinzenal	__/__/__	
			__/__/__	
2-A-1a3	Limpeza do trocador de calor do secador	Quinzenal	__/__/__	
			__/__/__	
1-A-3a	Inspeção visual na unidade geradora buscando vazamentos	Mensal	__/__/__	
1-A-2b	Verificação do nível do óleo do compressor	Mensal	__/__/__	
2-A-1a4	Verificação da pressão do gás refrigerante	Mensal	__/__/__	
1-A-2a	Medição do desgaste da correia do compressor (substituição conforme especificado)	Mensal	__/__/__	
1-A-1b3	Inspeção visual – monitoração do ruído do rolamento	Mensal	__/__/__	
1-A-2c/ 3-A-1	Verificação de presença de óleo no filtro da saída do compressor	Mensal	__/__/__	
1-A-1c/ 5-A-1	Inspeção visual, calibração do pressostato através da calibração do manômetro de saída	Trimestral	__/__/__	
1-A-4a	Substituição do filtro conforme especificação do fabricante	Programar	__/__/__	
1-A-2b	Substituição do óleo conforme o fabricante, a cada 200 horas (calcular a frequência) (encher o reservatório antes de trocar)	Programar	__/__/__	

**ANEXO 1.4 – TAREFAS DE REPROJETO**

<b>Código</b>	<b>Tarefa Proposta</b>
1-A-1a1	Instalação de outra fonte de ar comprimido
1-A-1a3	IDEM 1-A-1a1
1-A-1b1	IDEM 1-A-1a1
1-A-1b2	IDEM 1-A-1a1
1-A-2c	Instalação de um filtro (armadilha de água) na tubulação de saída do compressor
1-A-4c	Restrição do acesso ao sistema de ar comprimido
2-A-3	Adequação da captação do ar ambiente (mínimo 6 metros de altura, segundo a Portaria 1884/94, NBR 12188) e a canalização do expurgo dos reservatórios e do secador
3-A-1	IDEM 1-A-2c
3-A-2	Adequação da captação do ar ambiente (mínimo 6 metros de altura, segundo a Portaria 1884/94, NBR 12188)
4-A-1	IDEM 3-A-2 e instalação de filtros na saída do 2º reservatório, retenção de óleo, água, vapor de óleo, hidrocarbonetos, bactérias e vírus

**ANEXO 2 – REGISTROS DO VENTILADOR PULMONAR**

**ANEXO 2.1 – PLANILHA FMEA**

**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
FMEA**

<b>Unidade:</b> Hospital X	<b>Nº.:</b>	<b>Coordenador:</b>	<b>Data:</b>
<b>Sistema:</b> UTI Pediátrica	01	Marcos Vinícius Lucatelli	19/10/01
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar	<b>Rev:</b>	<b>Equipe:</b>	<b>Folha:</b>
<b>Conjunto/Componente:</b>	01	IEB – Eng. Clínica	01/14

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA ( <i>Causa da Falha</i> )		EFEITO DA FALHA ( <i>O que acontece quando falha</i> )
α	Fornecer gás (O <sub>2</sub> + Ar) ao paciente	1	Não fornecer gás ao paciente	A	Falta de gás 1- falha no fornecimento de gás 2- vazamento/obstrução a) válvula b) mangueiras c) misturador (mixer)	- alarme de falta de gás - equipamento inoperante - hipoxemia - hipercapmia - atelectasia total/parcial
A	Fornecer O <sub>2</sub> controlado (21-100%) ± 10% (Item 4.8.2.1 NBR 13763:1996)	1	Mistura incorreta	A B	Desajuste do misturador (mixer) Diferença de pressão entre O <sub>2</sub> e Ar	- hipoxemia - hiperóxia - retardo na recuperação - disfunção do paciente - falência
B	Aquecer o gás conforme a temperatura controlada selecionada (5°C a menos que a temp. ambiente ≤ temperatura selecionada ≤ 41°C) (Item 4.8.1 NBR 13763:1996)	1	Temperatura incorreta	A B C	Falta de energia elétrica Falha eletrônica Falha no copo	- sobreaquecimento/subaquecimento - infecção - desidratação - retardo na recuperação - disfunção do paciente - falência
C	Traquéias – conduzir gás ao Paciente sem perdas	1	Vazamento	A B	Furo na traquéia/conector quebrado Falha na válvula de retenção do copo	- ventilação insatisfatória; - alarme volume inspirado; - alarme de pressão de fornecimento de gás (p/ pressão controlada)
J	Fornecer gás isento de óleo e/ou bactérias	1	Gás com presença de óleo e/ou bactérias	A B	Ausência do filtro bacteriológico (bactérias e/ou óleo) Saturação do filtro bacteriológico (bactérias)	- danos aos transdutores de fluxo, fole, membranas (circuito pneumático) - danos ao paciente (bact/óleo). - aquisição do kit 1000 horas.
L	Alarmes					
	<b>Modos Ventilatórios</b> pressão, fluxo/volume, tempo (controlados)  D Pressão Controlada E Volume Controlado F Pressão de suporte G SIMV H SIMV + pressão de suporte I CPAP					

**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
FMEA**

<b>Unidade:</b> Hospital X	<b>Nº.:</b>	<b>Coordenador:</b>	<b>Data:</b>
<b>Sistema:</b> UTI Pediátrica	01	Marcos Vinícius Lucatelli	05/11/01
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar	<b>Rev:</b>	<b>Equipe:</b>	<b>Folha:</b>
<b>Conjunto/Componente:</b> Pressão Controlada	01	IEB – Eng. Clínica	02/14

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA ( <i>Causa da Falha</i> )		EFEITO DA FALHA ( <i>O que acontece quando falha</i> )
D	Pressão Controlada					
D1	Fornecer gás com pressão inspiratória controlada $\pm 5\%$ (Item 5.2.1 NBR 13763:1996)	1	Pressão inspiratória diferente da pressão selecionada	A	Filtro bacteriano da entrada de gases saturado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- alarme de falta de ar na rede;</li> <li>- equipamento inoperante;</li> <li>- substituição do equipamento.</li> </ul>
				B	Desajuste dos transdutores de pressão inspiratório/expiratório 1 - filtro transdutor de pressão inspiratório saturado 2 - filtro transdutor de pressão expiratório saturado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- hipoxmia;</li> <li>- envio de pressão incorreta ao paciente;</li> <li>- hipoventilação/hiperventilação;</li> <li>- alarme de fluxo pode ser acionado;</li> <li>- substituição do equipamento, troca do filtro e calibração (4 horas de indispon.).</li> </ul>
				C	Dano total/parcial do transdutor de pressão expiratório/inspiratório	- aquisição do transdutor (R\$3.500,00), 45 dias de indisponibilidade do equipamento.
				D	Mau funcionamento da válvula inspiratória 1 - obstruída 2 - aberta	<ul style="list-style-type: none"> <li>- alarme de apnéia.</li> <li>- alarme de sobre-pressão.</li> </ul>
				E	Mau funcionamento da válvula expiratória 1 - obstruída 2 - aberta	<ul style="list-style-type: none"> <li>- alarme de sobre-pressão.</li> <li>- alarme de apnéia.</li> </ul>
				F	Vazamento nas válvulas inspiratória e expiratória (borracha)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- substituição da válvula;</li> <li>- despressurização na pausa inspiratória;</li> </ul>
				G	Vazamento no fole	<ul style="list-style-type: none"> <li>- substituição do fole;</li> <li>- equipamento inoperante.</li> </ul>
				H	Mau funcionamento da válvula de segurança	<ul style="list-style-type: none"> <li>- substituição da válvula de segurança;</li> <li>- equipamento inoperante.</li> </ul>
D2	Controlar a frequência respiratória $\pm 10\%$ (Item 4.5 NBR 13763:1996)	1	Frequência respiratória diferente da frequência selecionada	A	Pane eletrônica	- hipoventilação/hiperventilação.
D3	Controlar o tempo inspiratório $\pm 10\%$ (Item 4.6 NBR 13763:1996)	1	Tempo inspiratório diferente do selecionado	A	Pane eletrônica	- hipoventilação/hiperventilação.

**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
FMEA**

<b>Unidade:</b> Hospital X	<b>Nº.:</b> 01	<b>Coordenador:</b> Marcos Vinícius Lucatelli	<b>Data:</b> 05/11/01
<b>Sistema:</b> UTI Pediátrica			
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar	<b>Rev:</b> 01	<b>Equipe:</b> IEB – Eng. Clínica	<b>Folha:</b> 03/14
<b>Conjunto/Componente:</b> Pressão Controlada			

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA ( <i>Causa da Falha</i> )		EFEITO DA FALHA ( <i>O que acontece quando falha</i> )
D4	Controlar a pausa inspiratória $\pm 10\%$ (Item 4.5 NBR 13763:1996)	1	Pausa inspiratório diferente do selecionado	A	Pane eletrônica	- hipoventilação/hiperventilação.
D5	Controlar PEEP $\pm 5\%$ (Item 5.2.1 NBR 13763:1996)	1	PEEP diferente do selecionado	A B C	Falha no transdutor de pressão expiratória Falha na válvula expiratória (tesoura) Vazamento nas válvulas insp. e expiratória (borrachas)	- atelectasia; - hipoxmia.

**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
FMEA**

<b>Unidade:</b> Hospital X	<b>Nº.:</b>	<b>Coordenador:</b>	<b>Data:</b>
<b>Sistema:</b> UTI Pediátrica	01	Marcos Vinícius Lucatelli	09/11/01
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar	<b>Rev:</b>	<b>Equipe:</b>	<b>Folha:</b>
<b>Conjunto/Componente:</b> Volume Controlado	01	IEB – Eng. Clínica	04/14

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA ( <i>Causa da Falha</i> )		EFEITO DA FALHA ( <i>O que acontece quando falha</i> )	
E	Volume Controlado						
E1	Controlar o volume minuto de gás enviado $\pm 5\%$ (Item 5.2.1 NBR 13763:1996)	1	Volume diferente do selecionado	A	Desajuste do transdutor de fluxo inspiratório (regula o fluxo)	-	alarme alto ou baixo;
				B	Desajuste do transdutor de fluxo expiratório (monitora o fluxo) 1) Sistema de aquecimento do transdutor (exige que o humidificador esteja ligado para a detecção)	-	potencialização de volutrauma; - substituição do equipamento; - calibração do equipamento (4 horas indisponibilidade).
				C	Filtro bacteriano da entrada de gases saturado	-	alarme de falta de ar na rede; - equipamento inoperante; - substituição do equipamento.
				D	Dano total/parcial do transdutor de fluxo expiratório ou inspiratório	-	aquisição do transdutor, 45 dias de indisponibilidade do equipamento.
				F	Mau funcionamento da válvula inspiratória 1 - obstruída 2 - aberta	-	alarme de apnéia. - alarme de sobre-pressão.
				G	Mau funcionamento da válvula expiratória 1 - obstruída 2 - aberta	-	alarme de sobre-pressão. - alarme de apnéia.
				H	Vazamento nas válvulas inspiratória e expiratória	-	substituição da válvula; - despressurização na pausa inspiratória; - hipoxmia.
				I	Vazamento no fole	-	substituição do fole; - equipamento inoperante.
				J	Mau funcionamento da válvula de segurança	-	substituição da válvula de segurança; - equipamento inoperante.
E2	Controlar a frequência respiratória $\pm 10\%$ (Item 4.5 NBR 13763:1996)	1	Frequência respiratória diferente da frequência selecionada	A	Pane eletrônica	-	hipoventilação/hiperventilação.
E3	Controlar o tempo inspiratório $\pm 10\%$ (Item 4.6 NBR 13763:1996)	1	Tempo inspiratório diferente do selecionado	A	Pane eletrônica	-	hipoventilação/hiperventilação.



**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
FMEA**

<b>Unidade:</b> Hospital X	<b>Nº.:</b>	<b>Coordenador:</b>	<b>Data:</b>
<b>Sistema:</b> UTI Pediátrica	01	Marcos Vinícius Lucatelli	09/11/01
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar	<b>Rev:</b>	<b>Equipe:</b>	<b>Folha:</b>
<b>Conjunto/Componente:</b> Pressão de Suporte	01	IEB – Eng. Clínica	06/14

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA ( <i>Causa da Falha</i> )		EFEITO DA FALHA ( <i>O que acontece quando falha</i> )	
F	Pressão de Suporte						
F1	Fornecer gás com pressão inspiratória controlada $\pm 5\%$ (Item 5.2.1 NBR 13763:1996)	1	Pressão inspiratória diferente da pressão selecionada	A	Filtro bacteriano da entrada de gases saturado	-	alarme de falta de ar na rede; - equipamento inoperante; - substituição do equipamento.
				B	Desajuste do transdutor de pressão inspiratório/expatório 1 - filtro transdutor de pressão inspiratório saturado 2 - filtro transdutor de pressão expiratório saturado	-	hipoxmia; - envio de pressão incorreta ao paciente; - hipoventilação/hiperventilação; - alarme de fluxo pode ser acionado; - substituição do equipamento, troca do filtro e calibração (4 horas de indispon.).
				C	Dano total/parcial do transdutor inspiratório /expatório	-	aquisição do transdutor (R\$3.500,00), 45 dias de indisponibilidade do equipamento.
				D	Mau funcionamento da válvula inspiratória 1 - obstruída 2 - aberta	-	alarme de apnéia. - alarme de sobre-pressão.
				E	Mau funcionamento da válvula expiratória 1 - obstruída 2 - aberta	-	alarme de sobre-pressão. - alarme de apnéia.
				F	Vazamento nas válvulas inspiratória e expiratória	-	substituição da válvula; - despressurização na pausa inspiratória; - hipoxmia.
				G	Vazamento no fole	-	substituição do fole; - equipamento inoperante.
				H	Mau funcionamento da válvula de segurança	-	substituição da válvula de segurança; - equipamento inoperante.
F2	Disparar o ciclo respiratório, segundo o nível de disparo (trigger) selecionado $\pm 5\%$ (Item 5.2.1 NBR 13763:1996)	1	Nível de Disparo (Trigger) diferente do selecionado	A	Desajuste dos transdutores de pressão das vias expiratória/ <u>inspiratória (monitora)</u>	-	falência do modo ventilatório; - disparo com pressão menor – Taquipnéia; - disparo com pressão maior – Apnéia, alarme de apnéia após 20 segundos; - calibração do equipamento (indisponibilidade por 4 horas).
				B	Filtro dos transdutores de pressão expiratório/inspiratório saturado	-	
		2	Dispara sem estímulo do paciente	A	Vazamento em qualquer ponto do circuito desde a válvula inspiratória até a válvula expiratória, incluindo as mesmas.	-	desconforto do paciente; - aumento do trabalho respiratório; - hiperventilação.

**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
FMEA**

<b>Unidade:</b> Hospital X	<b>Nº.:</b> 01	<b>Coordenador:</b> Marcos Vinícius Lucatelli	<b>Data:</b> 09/11/01
<b>Sistema:</b> UTI Pediátrica			
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar	<b>Rev:</b> 01	<b>Equipe:</b> IEB – Eng. Clínica	<b>Folha:</b> 07/14
<b>Conjunto/Componente:</b> Pressão de Suporte			

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA ( <i>Causa da Falha</i> )		EFEITO DA FALHA ( <i>O que acontece quando falha</i> )
F3	Controlar PEEP $\pm$ 5% (Item 5.2.1 NBR 13763:1996)	PEEP diferente do selecionado	A	Falha no transdutor de pressão inspiratória	<ul style="list-style-type: none"> <li>- atelectasia;</li> <li>- hipoxmia.</li> </ul>
			B	Falha na válvula expiratória	
			C	Vazamento nas válvulas insp. e expiratória	
F4	Iniciar o ciclo respiratório após 25% do valor de fluxo máximo $\pm$ 5% (Item 5.2.1 NBR 13763:1996)	1 Ciclagem diferente de 25% do valor de pico	A	Desajuste do transdutor de fluxo expiratório (menor que 25%/maior que 25%).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- &lt;25% hipoventilação;</li> <li>- &gt;25% potencialização de volutrauma;</li> <li>- &gt;25% hiperventilação.</li> </ul>
			B	Vazamento em qualquer ponto do circuito desde a válvula inspiratória até a válvula expiratória, incluindo as mesmas.	

**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
FMEA**

<b>Unidade:</b> Hospital X	<b>Nº.:</b>	<b>Coordenador:</b>	<b>Data:</b>
<b>Sistema:</b> UTI Pediátrica	01	Marcos Vinícius Lucatelli	16/11/01
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar	<b>Rev:</b>	<b>Equipe:</b>	<b>Folha:</b>
<b>Conjunto/Componente:</b> SIMV	01	IEB – Eng. Clínica	08/14

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA ( <i>Causa da Falha</i> )		EFEITO DA FALHA ( <i>O que acontece quando falha</i> )
G	SIMV					
G1	Controlar o volume minuto de gás enviado $\pm 5\%$ (Item 5.2.1 NBR 13763:1996)	1	Volume diferente do selecionado	A	Desajuste do transdutor de fluxo inspiratório (Regula o fluxo)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- alarme alto ou baixo;</li> <li>- potencialização de volutrauma;</li> <li>- substituição do equipamento;</li> <li>- calibração do equipamento (4 horas indisponibilidade).</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>- alarme de falta de ar na rede;</li> <li>- equipamento inoperante;</li> <li>- substituição do equipamento.</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>- aquisição do transdutor (R\$3.500,00), 45 dias de indisponibilidade do equipamento.</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>- alarme de apnéia.</li> <li>- alarme de sobre-pressão.</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>- alarme de sobre-pressão.</li> <li>- alarme de apnéia.</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>- substituição da válvula;</li> <li>- despressurização na pausa inspiratória;</li> <li>- hipoxmia.</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>- substituição do fole;</li> <li>- equipamento inoperante.</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>- substituição da válvula de segurança;</li> <li>- equipamento inoperante.</li> </ul>
				B	Desajuste do transdutor de fluxo expiratório (monitora o fluxo) 1) Sistema de aquecimento do transdutor (exige que o humidificador esteja ligado para a detecção)	
				C	Filtro bacteriano da entrada de gases saturado	
				D	Dano total/parcial do transdutor	
				F	Mau funcionamento da válvula inspiratória 1 - obstruída 2 - aberta	
				G	Mau funcionamento da válvula expiratória 1 - obstruída 2 - aberta	
				H	Vazamento nas válvulas inspiratória e expiratória	
				I	Vazamento no fole	
				J	Mau funcionamento da válvula de segurança	
G2	Controlar a frequência respiratória $\pm 10\%$ (Item 4.5 NBR 13763:1996) (tempo do ciclo mandatório)	1	Tempo do ciclo mandatório diferente do determinado pela frequência selecionada	A	Pane eletrônica	
G3	Controlar o tempo inspiratório $\pm 10\%$ (Item 4.6 NBR 13763:1996)	1	Tempo inspiratório diferente do selecionado	A	Pane eletrônica	- hipoventilação/hiperventilação.

**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
FMEA**

<b>Unidade:</b> Hospital X	<b>Nº.:</b>	<b>Coordenador:</b>	<b>Data:</b>
<b>Sistema:</b> UTI Pediátrica	01	Marcos Vinícius Lucatelli	16/11/01
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar	<b>Rev:</b>	<b>Equipe:</b>	<b>Folha:</b>
<b>Conjunto/Componente:</b> SIMV	01	IEB – Eng. Clínica	09/14

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA ( <i>Causa da Falha</i> )		EFEITO DA FALHA ( <i>O que acontece quando falha</i> )
G4	Controlar a pausa inspiratória $\pm$ 10% (Item 4.6 NBR 13763:1996)	1	Pausa inspiratório diferente do selecionado	A	Pane eletrônica	- hipoventilação/hiperventilação.
G5	Controlar PEEP/CPAP $\pm$ 5% (Item 5.2.1 NBR 13763:1996)	1	PEEP diferente do selecionado	A B C	Falha no transdutor de pressão inspiratória Falha na válvula expiratória Vazamento nas válvulas insp. e expiratória	- atelectasia; - hipoxmia.
G6	Controlar a frequência SIMV $\pm$ 10% (Item 4.5 NBR 13763:1996)	1	Frequência SIMV diferente da selecionada	A	Pane eletrônica	- para frequências > retardo do desmame; - para frequências < hipoxmia; - compra de peças e/ou chamado da empresa.

**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES**

<b>Unidade:</b> Hospital X	<b>Nº.:</b>	<b>Coordenador:</b>	<b>Data:</b>
<b>Sistema:</b> UTI Pediátrica	01	Marcos Vinícius Lucatelli	16/11/01

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA (Causa da Falha)		EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)
H	SIMV + Pressão Suporte					
H1	Controlar o mínimo volume minuto enviado $\pm 5\%$ (Item 5.2.1 NBR 13763:1996)	1	Volume diferente do selecionado	A	Desajuste do transdutor de fluxo inspiratório (Regula o fluxo)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- alarme alto ou baixo;</li> <li>- potencialização de volutrauma;</li> <li>- substituição do equipamento;</li> <li>- calibração do equipamento (4 horas indisponibilidade).</li> </ul>
				B	Desajuste do transdutor de fluxo expiratório (monitora o fluxo) 1) Sistema de aquecimento do transdutor (exige que o humidificador esteja ligado para a detecção)	
				C	Filtro bacteriano da entrada de gases saturado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- alarme de falta de ar na rede;</li> <li>- equipamento inoperante;</li> <li>- substituição do equipamento.</li> </ul>
				D	Dano total/parcial do transdutor inspiratório/expiratório	<ul style="list-style-type: none"> <li>- aquisição do transdutor (R\$3.500,00), 45 dias de indisponibilidade do equipamento.</li> </ul>
				F	Mau funcionamento da válvula inspiratória 1 – obstruída 2 - aberta	<ul style="list-style-type: none"> <li>- alarme de apnéia.</li> <li>- alarme de sobre-pressão.</li> </ul>
				G	Mau funcionamento da válvula expiratória 1 - obstruída 2 - aberta	<ul style="list-style-type: none"> <li>- alarme de sobre-pressão.</li> <li>- alarme de apnéia.</li> </ul>
				H	Vazamento nas válvulas inspiratória e expiratória	<ul style="list-style-type: none"> <li>- substituição da válvula;</li> <li>- despressurização na pausa inspiratória;</li> <li>- hipoxmia.</li> </ul>
				I	Vazamento no fole	<ul style="list-style-type: none"> <li>- substituição do fole;</li> <li>- equipamento inoperante.</li> </ul>
				J	Mau funcionamento da válvula de segurança	<ul style="list-style-type: none"> <li>- substituição da válvula de segurança;</li> <li>- equipamento inoperante.</li> </ul>
H2	Controlar a frequência respiratória $\pm 10\%$ (Item 4.5 NBR 13763:1996) (tempo do ciclo mandatório)	1	Tempo do ciclo mandatório diferente do determinado pela frequência selecionada	A	Pane eletrônica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- hipoventilação/hiperventilação.</li> </ul>
H3	Controlar o tempo inspiratório $\pm 10\%$ (Item 4.6 NBR 13763:1996)	1	Tempo inspiratório diferente do selecionado	A	Pane eletrônica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- hipoventilação/hiperventilação.</li> </ul>

**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
FMEA**

<b>Unidade:</b> Hospital X	<b>Nº.:</b>	<b>Coordenador:</b>	<b>Data:</b>
<b>Sistema:</b> UTI Pediátrica	01	Marcos Vinícius Lucatelli	16/11/01
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar	<b>Rev:</b>	<b>Equipe:</b>	<b>Folha:</b>
<b>Conjunto/Componente:</b> SIMV + Pressão de Suporte	01	IEB – Eng. Clínica	11/14

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA ( <i>Causa da Falha</i> )		EFEITO DA FALHA ( <i>O que acontece quando falha</i> )
H4	Controlar a pausa inspiratória $\pm 10\%$ (Item 4.6 NBR 13763:1996)	1	Pausa inspiratório diferente do selecionado	A	Pane eletrônica	- hipoventilação/hiperventilação.
H5	Controlar PEEP/CPAP $\pm 5\%$ (Item 5.2.1 NBR 13763:1996)		PEEP diferente do selecionado	A	Falha no transdutor de pressão inspiratória	- atelectasia;
				B	Falha na válvula expiratória	- hipoxmia.
				C	Vazamento nas válvulas insp. e expiratória	
H6	Controlar a frequência SIMV $\pm 10\%$ (Item 4.5 NBR 13763:1996)	1	Frequência SIMV diferente da selecionada	A	Pane eletrônica	- para frequências > retardo do desmame; - para frequências < hipoxmia; - compra de peças e/ou chamado da empresa.
H7	Fornecer gás com pressão inspiratória controlada $\pm 5\%$ (Item 5.2.1 NBR 13763:1996)	1	Pressão inspiratória diferente da pressão selecionada	A	Filtro bacteriano da entrada de gases saturado	- alarme de falta de ar na rede; - equipamento inoperante; - substituição do equipamento.
				B	Desajuste do transdutor de pressão insp/exp 1 - filtro transdutor de pressão inspiratório saturado 2 - filtro transdutor de pressão expiratório saturado	- hipoxmia; - envio de pressão incorreta ao paciente; - hipoventilação/hiperventilação; - alarme de fluxo pode ser acionado; - substituição do equipamento, troca do filtro e calibração (4 horas de indispon.).
				C	Dano total/parcial do transdutor inspiratório/expiratório	- aquisição do transdutor (R\$3.500,00), 45 dias de indisponibilidade do equipamento.
				D	Mau funcionamento da válvula inspiratória 1 - obstruída 2 - aberta	- alarme de apnéia. - alarme de sobre-pressão.
				E	Mau funcionamento da válvula expiratória 1 - obstruída 2 - aberta	- alarme de sobre-pressão. - alarme de apnéia.
				F	Vazamento nas válvulas inspiratória e expiratória	- substituição da válvula; - despressurização na pausa inspiratória; - hipoxmia.

**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
FMEA**

<b>Unidade:</b> Hospital X	<b>Nº.:</b> 01	<b>Coordenador:</b> Marcos Vinícius Lucatelli	<b>Data:</b> 16/11/01
<b>Sistema:</b> UTI Pediátrica			
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar	<b>Rev:</b> 01	<b>Equipe:</b> IEB – Eng. Clínica	<b>Folha:</b> 12/14
<b>Conjunto/Componente:</b> SIMV + Pressão de Suporte			

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA ( <i>Causa da Falha</i> )		EFEITO DA FALHA ( <i>O que acontece quando falha</i> )
				G	Vazamento no fole	<ul style="list-style-type: none"> <li>- substituição do fole;</li> <li>- equipamento inoperante.</li> </ul>
				H	Mau funcionamento da válvula de segurança	<ul style="list-style-type: none"> <li>- substituição da válvula de segurança;</li> <li>- equipamento inoperante.</li> </ul>
H8	Disparar o ciclo respiratório, segundo o nível de trigger selecionado $\pm$ 5% (Item 5.2.1 NBR 13763:1996)	1	Nível de Trigger diferente do selecionado	A	Desajuste dos transdutores de pressão das vias expiratória/ <u>inspiratória (monitora)</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- falência do modo ventilatório;</li> <li>- disparo com pressão menor – Taquipnéia;</li> <li>- disparo com pressão maior – Apnéia, alarme de apnéia após 20 segundos;</li> <li>- calibração do equipamento (indisponibilidade por 4 horas).</li> </ul>
		2	Dispara sem estímulo do paciente	B	Filtro dos transdutores de pressão expiratório/inspiratório saturado	
				A	Vazamento em qualquer ponto do circuito desde a válvula inspiratória até a válvula expiratória, incluindo as mesmas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- desconforto do paciente;</li> <li>- aumento do trabalho respiratório;</li> <li>- hiperventilação.</li> </ul>
H9	Iniciar o ciclo respiratório após 25% do valor de fluxo máximo $\pm$ 5% (Item 5.2.1 NBR 13763:1996)	1	Ciclagem diferente de 25% do valor de pico	A	Desajuste do transdutor de fluxo expiratório (menor que 25%/maior que 25%).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- &lt;25% hipoventilação;</li> <li>- &gt;25% potencialização de volutrauma;</li> <li>- &gt;25% hiperventilação.</li> </ul>
				B	Vazamento em qualquer ponto do circuito desde a válvula inspiratória até a válvula expiratória, incluindo as mesmas.	

**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
FMEA**

<b>Unidade:</b> Hospital X	<b>Nº.:</b> 01	<b>Coordenador:</b> Marcos Vinícius Lucatelli	<b>Data:</b> 16/11/01
<b>Sistema:</b> UTI Pediátrica			
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar	<b>Rev:</b> 01	<b>Equipe:</b> IEB – Eng. Clínica	<b>Folha:</b> 13/14
<b>Conjunto/Componente:</b> CPAP			

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA ( <i>Causa da Falha</i> )		EFEITO DA FALHA ( <i>O que acontece quando falha</i> )
I	CPAP					
II	Controlar Pressão positiva contínua (CPAP) nas vias aéreas ± 5% (Item 5.2.1 NBR 13763:1996)	1	Pressão positiva contínua diferente da selecionada	A B C	Falha no transdutor de pressão inspiratória Falha na válvula expiratória Vazamento nas válvulas insp. e expiratória	- alarme de apnéia; - atelectasia; - hipoxmia.

**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES**

<b>Unidade:</b> Hospital X	<b>Nº.:</b> 01	<b>Coordenador:</b> Marcos Vinícius Lucatelli	<b>Data:</b> 16/11/01
<b>Sistema:</b> UTI Pediátrica			

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA (Causa da Falha)		EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)
L	Alarmes					
L1	Alarmar volume minuto expirado superior ao selecionado ± 10% (Item 4.6 NBR 13763:1996)	1	Alarme incorreto (precoce)	A	Falha no transdutor de fluxo expiratório	- estresse operacional/paciente.
				B	Pane eletrônica nos controles dos alarmes mínimo/máximo	
L2	Alarmar pressão de fornecimento de gás do circuito pneumático superior à selecionada ± 10% (Item 4.6 NBR 13763:1996)	1	Alarme incorreto (precoce)	A	Falha nos transdutores de pressão inspiratória e expiratória	- estresse; - hipoventilação.
				B	Pane eletrônica nos controles dos alarmes mínimo/máximo	
		2	Ausência de alarme	A	Falha no indicador/dispositivo sonoro/ visual	- hipoventilação.
				B	Falha nos transdutores de pressão inspiratória e expiratória	- hipoventilação.
				C	Pane eletrônica nos controles dos alarmes mínimo/máximo	- barotrâma.
L3	Alarmar falta de respiração espontânea após 20 s - Apnéia ± 10% (Item 4.6 NBR 13763:1996)	1	Ausência de alarme	A	Falha no indicador/dispositivo sonoro/ visual	- hipoventilação; - óbito do paciente quando utilizado nos modos CPAP e pressão de Suporte.
				B	Pane eletrônica nos controles dos alarmes mínimo/máximo	
L4	Alarmar concentração incorreta de O <sub>2</sub> ± 10% (Item 4.8.2.1 NBR 13763:1996)	1	Alarme incorreto	A	Saturação da célula de O <sub>2</sub>	- hiperoxia; - hipoxmia; - estresse.
		2	Ausência de alarme	A	Ausência da célula	- hipoxmia; - hiperoxia.
				B	Pane eletrônica nos controles dos alarmes mínimo/máximo	
L5	Alarmar queda na pressão de fornecimento de gás da rede (Item 4.10.5 NBR 13763:1996)	1	Ausência de alarme	A	Falha na chave (microswitch)	- equipamento inoperante
L6	Alarmar ausência de alimentação elétrica (Item 4.10.5 NBR 13763:1996)	1	Alarme não é acionado	A	Pane eletrônica no controlador	- ventilação incorreta; - pane geral do equipamento.

**ANEXO 2.2 – PLANILHA DE DECISÃO**

**PLANILHA DE  
DECISÃO  
MCC**

<b>Processo:</b> Hospital X	<b>Nº:</b> 01	<b>Coord:</b>	<b>Data:</b>
<b>Sistema:</b> UTI-Pediátrica		Marcos Vinicius Lucatelli	19/10/2001
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar	<b>Rev.:</b> 01	<b>Equipe:</b>	<b>Folha:</b>
<b>Conjunto/Componente:</b>		IEB - Eng. Clínica	01/10

Referência da Informação			Avaliação das Conseqüências				Ações Default			Índice			Tarefa Proposta	Frequência Inicial	Responsável Execução			
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4				G	F	R
α	1	A1	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	10	1	10	Disponibilizar fonte de gases reserva/renovação tecnológica com ventiladores com compressores internos	Única	Celec
α	1	A2a	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	1	2	2	Manutenção corretiva (providenciar sobressalente) quantidade (02) O2 + AR	Ocasional	Operador
α	1	A2b	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	1	1	1	Manutenção corretiva (providenciar sobressalente) quantidade (01) O2 + AR	Ocasional	Celec
α	1	A2c	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	5	1	5	Manutenção corretiva (providenciar sobressalente) quantidade (01)	Ocasional	Celec
A	1	A	S	S	N	N	S	N	N	N	N	N	3	1	3	Calibração através de um oxímetro de linha (10% admissível )	1000 horas	Celec
A	1	B	S	S	N	N	S	N	N	N	N	N	3	2	6	Calibração das válvulas reguladoras (0,5 Kg/cm <sup>2</sup> admissível )	1000 horas	Celec
B	1	A	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	1	2	2	Verificação periódica do cabo de força, do plug e da tomada (providenciar sobressalente quantidade (05) plugs 2P+ T)	1000 horas	Celec eletricista
B	1	B	S	S	N	N	S	N	N	N	N	N	8	1	8	Calibração da temperatura do aquecedor (X°C admissível)	1000 horas	Celec
B	1	C	N	S	N	N	N	N	N	N	N	S	3	2	6	Verificação de vazamentos e da integridade do copo	A cada troca de circuito	Operador (enfermagem)
C	1	A	N	S	N	N	N	N	N	N	N	S	8	4	32	Verificação de vazamentos do circuito do paciente segundo o protocolo recomendado	A cada troca do circuito	Operador (enfermagem)
C	1	B	S	N	N	N	N	N	N	N	N	S	1	1	1	Verificação da funcionalidade das válvulas dos retentores de água	1000 horas	Celec
J	1	A	S	S	N	N	N	N	N	S	N	N	7	1	7	Manutenção detectiva: verificação da presença do filtro bacteriano	1000 horas	Celec
J	1	B	S	S	N	N	N	N	S	N	N	N	7	1	7	Substituição periódica do filtro (providenciar sobressalente)	3000 horas	Celec

F: Falha FF: Falha Funcional MF: Modo Falha G: Gravidade da Falha F: Frequência da Falha R: Índice de Risco  
H: Ocultas (Hidden) S: Segurança (Safety) E: Meio Ambiente (Environment) O: Operacionais (Operational) N: Não Operacional  
X1: Manutenção Preditiva X2: Manutenção Preventiva (Recuperação Programada) X3: Manutenção Preventiva (Troca Programada)  
H4: Detecção Programada de Falhas H5: Reprojeto Obrigatório S4: Tarefas Combinadas

**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
MCC**

<b>Processo:</b> Hospital X	<b>Nº:</b> 01	<b>Coord:</b>	<b>Data:</b>
<b>Sistema:</b> UTI-Pediátrica		Marcos Vinicius Lucatelli	16/11/2001
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar	<b>Rev.:</b> 01	<b>Equipe:</b>	<b>Folha:</b>
<b>Conjunto/Componente:</b> Pressão Controlada		IEB - Eng. Clínica	02/10

Referência da Informação			Avaliação das Conseqüências				H1 H2 H3 S1 S2 S3 O1 O2 O3			Ações Default				Índice			Tarefa Proposta	Frequência Inicial	Responsável Execução
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4	G	F	R				
D1	1	A	N	S	N	S	N	N	S				7	1	7	Troca do filtro bacteriano da entrada de gases	3000 horas	Celec	
D1	1	B1	N	S	N	S	N	N	S				5	1	5	Troca do filtro do transdutor de pressão inspiratória	3000 horas	Celec	
D1	1	B2	N	S	N	S	N	N	S				5	1	5	Troca do filtro do transdutor de pressão expiratória	Semanal/a cada paciente	Enfermagem	
D1	1	C	N	S	N	S	N	N	N				7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de um transdutor de pressão da via expiratória)	Única	Celec	
D1	1	D1	N	S	N	S	N	N	N				7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula inspiratória)	Única	Celec	
D1	1	D2	N	S	N	S	N	N	N				7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula inspiratória)	Única	Celec	
D1	1	E1	N	S	N	S	N	N	N				7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula expiratória)	Única	Celec	
D1	1	E2	N	S	N	S	N	N	N				7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula expiratória)	Única	Celec	
D1	1	F	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	2	5	10	Inspeção visual dos elementos de silicone das válvulas inspiratória e expiratória (providenciar a aquisição de sobressalentes)	1000 horas	Celec	
D1	1	G	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	2	1	2	Inspeção visual do fole do sistema pneumático (providenciar a aquisição de sobressalente)	1000 horas	Celec	
D1	1	H	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	7	1	7	Inspeção visual da válvula de segurança, ajustar se necessário	1000 horas	Celec	
D2	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente	Única	Hospital	
D3	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	4	1	4	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente	Única	Hospital	
D4	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	4	1	4	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente	Única	Hospital	
D5	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	4	1	4	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de um transdutor de pressão da via inspiratória)	Única	Celec	
D5	1	B	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	4	1	4	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula expiratória)	Única	Celec	
D5	1	C	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	2	5	10	Inspeção visual dos elementos de silicone das válvulas inspiratória e expiratória (providenciar a aquisição de sobressalentes)	1000 horas	Celec	

F: Falha FF: Falha Funcional MF: Modo Falha G: Gravidade da Falha F: Frequência da Falha R: Índice de Risco  
H: Ocultas (Hidden) S: Segurança (Safety) E: Meio Ambiente (Environment) O: Operacionais (Operational) N: Não Operacional  
X1: Manutenção Preditiva X2: Manutenção Preventiva (Recuperação Programada) X3: Manutenção Preventiva (Troca Programada)  
H4: Detecção Programada de Falhas H5: Reprojeto Obrigatório S4: Tarefas Combinadas

**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
MCC**

<b>Processo:</b> Hospital X	<b>Nº:</b> 01	<b>Coord:</b>	<b>Data:</b>
<b>Sistema:</b> UTI-Pediátrica		Marcos Vinícius Lucatelli	23/11/2001
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar	<b>Rev.:</b> 01	<b>Equipe:</b>	<b>Folha:</b>
<b>Conjunto/Componente:</b> Volume Controlado		IEB - Eng. Clínica	03/10

Referência da Informação	Avaliação das Conseqüências						H1 H2 H3 S1 S2 S3			Ações Default			Índice			Tarefa Proposta	Frequência Inicial	Responsável Execução
	F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4	G	F			
E1	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	5	3	15	Calibração e ajuste do transdutor de fluxo inspiratório, de acordo com o procedimento do fabricante	1000 horas	Celec
E1	1	B	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	5	3	15	Calibração e ajuste do transdutor de fluxo expiratório, de acordo com o procedimento do fabricante	1000 horas	Celec
E1	1	B1	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	5	1	5	Verificar se o transdutor de fluxo está aquecido por meio do tato	1000 horas	Celec
E1	1	C	N	S	N	S	N	N	S				7	1	7	Troca do filtro bacteriano da entrada de gases	3000 horas	Celec
E1	1	D	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de um transdutor de fluxo)	Única	Celec
E1	1	F1	N	S	N	S	N	N	N				7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula inspiratória)	Única	Celec
E1	1	F2	N	S	N	S	N	N	N				7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula inspiratória)	Única	Celec
E1	1	G1	N	S	N	S	N	N	N				7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula expiratória)	Única	Celec
E1	1	G2	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula expiratória)	Única	Celec
E1	1	H	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	2	5	10	Inspeção visual dos elementos de silicone das válvulas inspiratória e expiratória (providenciar a aquisição de sobressalentes)	1000 horas	Celec
E1	1	I	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	2	1	2	Inspeção visual do fole do sistema pneumático (providenciar a aquisição de sobressalente)	1000 horas	Celec
E1	1	J	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	7	1	7	Inspeção visual da válvula de segurança, ajustar se necessário	1000 horas	Celec
E2	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente	Única	Hospital
E3	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	4	1	4	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente	Única	Hospital
E4	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	4	1	4	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente	Única	Hospital
E5	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	4	1	4	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de um transdutor de pressão da via inspiratória)	Única	Celec
E5	1	B	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	4	1	4	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula expiratória)	Única	Celec
E5	1	C	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	2	5	10	Inspeção visual dos elementos de silicone das válvulas inspiratória e expiratória (providenciar a aquisição de sobressalentes)	1000 horas	Celec
E6	1	A1	N	S	N	S	N	N	S				5	1	5	Troca do filtro do transdutor de pressão inspiratória	3000 horas	Celec
E6	1	A2	N	S	N	S	N	N	S				5	1	5	Troca do filtro do transdutor de pressão expiratória	Semanal/ a cada paciente	Enfermagem
E6	1	B	N	S	N	S	N	N	N				7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de um transdutor de pressão da via expiratória)	Única	Celec

F: Falha FF: Falha Funcional MF: Modo Falha G: Gravidade da Falha F: Frequência da Falha R: Índice de Risco  
H: Ocultas (Hidden) S: Segurança (Safety) E: Meio Ambiente (Environment) O: Operacionais (Operational) N: Não Operacional  
X1: Manutenção Preditiva X2: Manutenção Preventiva (Recuperação Programada) X3: Manutenção Preventiva (Troca Programada)  
H4: Detecção Programada de Falhas H5: Reprojetado Obrigatório S4: Tarefas Combinadas

**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
MCC**

<b>Processo:</b> Hospital X	<b>Nº:</b> 01	<b>Coord:</b> Marcos Vinicius Lucatelli	<b>Data:</b> 23/11/2001
<b>Sistema:</b> UTI-Pediátrica			
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar	<b>Rev.:</b> 01	<b>Equipe:</b> IEB - Eng. Clínica	<b>Folha:</b> 04/10
<b>Conjunto/Componente:</b> Pressão de suporte			

Referência da Informação			Avaliação das Conseqüências				H1	H2	H3	Ações Default				Índice			Tarefa Proposta	Frequência Inicial	Responsável Execução		
F	FF	MF	H	S	E	O	S1	S2	S3	O1	O2	O3	H4	H5	S4	G				F	R
F1	1	A	N	S	N	S	N	N	S							7	1	7	Troca do filtro bacteriano da entrada de gases	3000 horas	Celec
F1	1	B1	N	S	N	S	N	N	S							5	1	5	Troca do filtro do transdutor de pressão inspiratória	3000 horas	Celec
F1	1	B2	N	S	N	S	N	N	S							5	1	5	Troca do filtro do transdutor de pressão expiratória	Semanal/a cada paciente	Enfermagem
F1	1	C	N	S	N	S	N	N	N							7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de um transdutor de pressão da via expiratória)	Única	Celec
F1	1	D1	N	S	N	S	N	N	N							7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula inspiratória)	Única	Celec
F1	1	D2	N	S	N	S	N	N	N							7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula inspiratória)	Única	Celec
F1	1	E1	N	S	N	S	N	N	N							7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula expiratória)	Única	Celec
F1	1	E2	N	S	N	S	N	N	N							7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula expiratória)	Única	Celec
F1	1	F	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S				2	5	10	Inspeção visual dos elementos de silicone das válvulas inspiratória e expiratória (providenciar a aquisição de sobressalentes)	1000 horas	Celec
F1	1	G	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S				2	1	2	Inspeção visual do fole do sistema pneumático (providenciar a aquisição de sobressalente)	1000 horas	Celec
F1	1	H	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S				7	1	7	Inspeção visual da válvula de segurança, ajustar se necessário	1000 horas	Celec
F2	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S				5	3	15	Calibração e ajuste dos transdutores de fluxo expiratório e inspiratório, de acordo com o procedimento do fabricante	1000 horas	Celec
F2	1	B	N	S	N	S	N	N	S							5	1	5	Troca do filtro do transdutor de pressão inspiratória	3000 horas	Celec
			N	S	N	S	N	N	S										Troca do filtro do transdutor de pressão expiratória	Semanal/a cada paciente	Enfermagem
F2	2	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S				5	5	25	Verificação de vazamentos do circuito pneumático interno e substituição do elemento danificado	A cada troca de circuito	Enfermagem
F3	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N				4	1	4	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de um transdutor de pressão da via inspiratória)	Única	Celec
F3	1	B	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N				4	1	4	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula expiratória)	Única	Celec
F3	1	C	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S				2	5	10	Inspeção visual dos elementos de silicone das válvulas inspiratória e expiratória (providenciar a aquisição de sobressalentes)	1000 horas	Celec

**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
MCC**

<b>Processo:</b> Hospital X	<b>Nº:</b> 01	<b>Coord:</b>	<b>Data:</b>
<b>Sistema:</b> UTI-Pediátrica		Marcos Vinícius Lucatelli	23/11/2001
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar	<b>Rev.:</b> 01	<b>Equipe:</b>	<b>Folha:</b>
<b>Conjunto/Componente:</b> Pressão de suporte		IEB - Eng. Clínica	05/10

Referência da Informação			Avaliação das Conseqüências				Ações Default			Índice			Tarefa Proposta			Frequência Inicial	Responsável Execução	
F	FF	MF	H	S	E	O	H1 S1	H2 S2	H3 S3	Ações H4	H5	S4	G	F	R			
							O1 N1	O2 N2	O3 N3									
F4	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	5	3	15	Calibração e ajuste do transdutor de fluxo inspiratório, de acordo com o procedimento do fabricante	1000 horas	Celec
F4	1	B	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	5	5	25	Verificação de vazamentos do circuito pneumático interno e substituição do elemento danificado	A cada troca de circuito	Enfermagem

F: Falha FF: Falha Funcional MF: Modo Falha G: Gravidade da Falha F: Freqüência da Falha R: Índice de Risco  
H: Ocultas (Hidden) S: Segurança (Safety) E: Meio Ambiente (Environment) O: Operacionais (Operational) N: Não Operacional  
X1: Manutenção Preditiva X2: Manutenção Preventiva (Recuperação Programada) X3: Manutenção Preventiva (Troca Programada)  
H4: Detecção Programada de Falhas H5: Reprojeto Obrigatório S4: Tarefas Combinadas

**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
MCC**

<b>Processo:</b> Hospital X	<b>Nº:</b> 01	<b>Coord:</b> Marcos Vinícius Lucatelli	<b>Data:</b> 23/11/2001
<b>Sistema:</b> UTI-Pediátrica			
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar	<b>Rev.:</b> 01	<b>Equipe:</b> IEB - Eng. Clínica	<b>Folha:</b> 06/10
<b>Conjunto/Componente:</b> SIMV			

Referência da Informação			Avaliação das Conseqüências				H1 H2 H3 S1 S2 S3			Ações Default			Índice			Tarefa Proposta	Frequência Inicial	Responsável Execução
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4	G	F	R			
G1	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	5	3	15	Calibração e ajuste do transdutor de fluxo inspiratório, de acordo com o procedimento do fabricante	1000 horas	Celec
G1	1	B	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	5	3	15	Calibração e ajuste do transdutor de fluxo expiratório, de acordo com o procedimento do fabricante	1000 horas	Celec
G1	1	B1	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	5	1	5	Verificar se o transdutor de fluxo está aquecido por meio do tato	1000 horas	Celec
G1	1	C	N	S	N	S	N	N	S				7	1	7	Troca do filtro bacteriano da entrada de gases	3000 horas	Celec
G1	1	D	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de um transdutor de fluxo)	Única	Celec
G1	1	F1	N	S	N	S	N	N	N				7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula inspiratória)	Única	Celec
G1	1	F2	N	S	N	S	N	N	N				7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula inspiratória)	Única	Celec
G1	1	G1	N	S	N	S	N	N	N				7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula expiratória)	Única	Celec
G1	1	G2	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula expiratória)	1000 horas	Celec
G1	1	H	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	2	5	10	Inspeção visual dos elementos de silicone das válvulas inspiratória e expiratória (providenciar a aquisição de sobressalentes)	1000 horas	Celec
G1	1	I	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	2	1	2	Inspeção visual do fole do sistema pneumático (providenciar a aquisição de sobressalente)	1000 horas	Celec
G1	1	J	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	7	1	7	Inspeção visual da válvula de segurança, ajustar se necessário	1000 horas	Celec
G2	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente	Única	Hospital
G3	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	4	1	4	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente	Única	Hospital
G4	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	4	1	4	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente	Única	Hospital
G5	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	4	1	4	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de um transdutor de pressão da via inspiratória)	Única	Celec
G5	1	B	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	4	1	4	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula expiratória)	Única	Celec
G5	1	C	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	2	5	10	Inspeção visual dos elementos de silicone das válvulas inspiratória e expiratória (providenciar a aquisição de sobressalentes)	1000 horas	Celec
G6	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente	Única	Hospital

F: Falha FF: Falha Funcional MF: Modo Falha G: Gravidade da Falha F: Frequência da Falha R: Índice de Risco  
H: Ocultas (Hidden) S: Segurança (Safety) E: Meio Ambiente (Environment) O: Operacionais (Operational) N: Não Operacional  
X1: Manutenção Preditiva X2: Manutenção Preventiva (Recuperação Programada) X3: Manutenção Preventiva (Troca Programada)  
H4: Detecção Programada de Falhas H5: Reprojeto Obrigatório S4: Tarefas Combinadas

**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
MCC**

<b>Processo:</b> Hospital X	<b>Nº:</b> 01	<b>Coord:</b> Marcos Vinícius Lucatelli	<b>Data:</b> 23/11/2001
<b>Sistema:</b> UTI-Pediátrica			
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar	<b>Rev.:</b> 01	<b>Equipe:</b> IEB - Eng. Clínica	<b>Folha:</b> 07/10
<b>Conjunto/Componente:</b> SIMV + Pressão de Suporte			

Referência da Informação			Avaliação das Conseqüências				H1	H2	H3	Ações Default				Índice			Tarefa Proposta	Frequência Inicial	Responsável Execução
							S1	S2	S3										
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4	G	F	R				
H1	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	5	3	15	Calibração e ajuste do transdutor de fluxo inspiratório, de acordo com o procedimento do fabricante	1000 horas	Celec	
H1	1	B	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	5	3	15	Calibração e ajuste do transdutor de fluxo expiratório, de acordo com o procedimento do fabricante	1000 horas	Celec	
H1	1	B1	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	5	1	5	Verificar se o transdutor de fluxo está aquecido por meio do tato	1000 horas	Celec	
H1	1	C	N	S	N	S	N	N	S				7	1	7	Troca do filtro bacteriano da entrada de gases	3000 horas	Celec	
H1	1	D	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de um transdutor de fluxo)	Única	Celec	
H1	1	F1	N	S	N	S	N	N	N				7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula inspiratória)	Única	Celec	
H1	1	F2	N	S	N	S	N	N	N				7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula inspiratória)	Única	Celec	
H1	1	G1	N	S	N	S	N	N	N				7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula expiratória)	Única	Celec	
H1	1	G2	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula expiratória)	1000 horas	Celec	
H1	1	H	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	2	5	10	Inspeção visual dos elementos de silicone das válvulas inspiratória e expiratória (providenciar a aquisição de sobressalentes)	1000 horas	Celec	
H1	1	I	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	2	1	2	Inspeção visual do fole do sistema pneumático (providenciar a aquisição de sobressalente)	1000 horas	Celec	
H1	1	J	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	7	1	7	Inspeção visual da válvula de segurança, ajustar se necessário	1000 horas	Celec	
H2	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente	Única	Hospital	
H3	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	4	1	4	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente	Única	Hospital	
H4	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	4	1	4	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente	Única	Hospital	
H5	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	4	1	4	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de um transdutor de pressão da via inspiratória)	Única	Celec	
H5	1	B	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	4	1	4	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula expiratória)	Única	Celec	
H5	1	C	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	2	5	10	Inspeção visual dos elementos de silicone das válvulas inspiratória e expiratória (providenciar a aquisição de sobressalentes)	1000 horas	Celec	
H6	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente	Única	Hospital	

F: Falha FF: Falha Funcional MF: Modo Falha G: Gravidade da Falha F: Frequência da Falha R: Índice de Risco  
H: Ocultas (Hidden) S: Segurança (Safety) E: Meio Ambiente (Environment) O: Operacionais (Operational) N: Não Operacional  
X1: Manutenção Preditiva X2: Manutenção Preventiva (Recuperação Programada) X3: Manutenção Preventiva (Troca Programada)  
H4: Detecção Programada de Falhas H5: Reprojeto Obrigatório S4: Tarefas Combinadas

**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
MCC**

<b>Processo:</b> Hospital X	<b>Nº:</b> 01	<b>Coord:</b>	<b>Data:</b>
<b>Sistema:</b> UTI-Pediátrica		Marcos Vinícius Lucatelli	23/11/2001
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar	<b>Rev.:</b> 01	<b>Equipe:</b>	<b>Folha:</b>
<b>Conjunto/Componente:</b> SIMV + Pressão de Suporte		IEB - Eng. Clínica	08/10

Referência da Informação			Avaliação das Conseqüências				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Ações Default				Índice			Tarefa Proposta	Frequência Inicial	Responsável Execução
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4	G	F	R				
H7	1	A	N	S	N	S	N	N	S				7	1	7	Troca do filtro bacteriano da entrada de gases	3000 horas	Celec	
H7	1	B1	N	S	N	S	N	N	S				5	1	5	Troca do filtro do transdutor de pressão inspiratória	3000 horas	Celec	
H7	1	B2	N	S	N	S	N	N	S				5	1	5	Troca do filtro do transdutor de pressão expiratória	Semanal/a cada paciente	Enfermagem	
H7	1	C	N	S	N	S	N	N	N				7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de um transdutor de pressão da via expiratória)	Única	Celec	
H7	H	D1	N	S	N	S	N	N	N				7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula inspiratória)	Única	Celec	
H7	1	D2	N	S	N	S	N	N	N				7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula inspiratória)	Única	Celec	
H7	1	E1	N	S	N	S	N	N	N				7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula expiratória)	Única	Celec	
H7	1	E2	N	S	N	S	N	N	N				7	1	7	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula expiratória)	Única	Celec	
H7	1	F	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	2	5	10	Inspeção visual dos elementos de silicone das válvulas inspiratória e expiratória (providenciar a aquisição de sobressalentes)	1000 horas	Celec	
H7	1	G	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	2	1	2	Inspeção visual do fole do sistema pneumático (providenciar a aquisição de sobressalente)	1000 horas	Celec	
H7	1	H	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	7	1	7	Inspeção visual da válvula de segurança, ajustar se necessário	1000 horas	Celec	
H8	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	5	3	15	Calibração e ajuste dos transdutores de fluxo expiratório e inspiratório, de acordo com o procedimento do fabricante	1000 horas	Celec	
H8	1	B	N	S	N	S	N	N	S				5	1	5	Troca do filtro do transdutor de pressão inspiratória	3000 horas	Celec	
			N	S	N	S	N	N	S				5	1	5	Troca do filtro do transdutor de pressão expiratória	Semanal/a cada paciente	Celec	
H8	2	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	5	5	25	Verificação de vazamentos do circuito pneumático interno e substituição do elemento danificado	A cada troca de circuito	Enfermagem	
H9	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	5	3	15	Calibração e ajuste do transdutor de fluxo inspiratório, de acordo com o procedimento do fabricante	1000 horas	Celec	
H9	1	B	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	5	5	25	Verificação de vazamentos do circuito pneumático interno e substituição do elemento danificado (vazamento)	A cada troca de circuito	Enfermagem	



**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
MCC**

<b>Processo:</b> Hospital X	<b>Nº:</b> 01	<b>Coord:</b>	<b>Data:</b>
<b>Sistema:</b> UTI-Pediátrica		Marcos Vinícius Lucatelli	19/10/2001
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar	<b>Rev.:</b> 01	<b>Equipe:</b>	<b>Folha:</b>
<b>Conjunto/Componente:</b> Alarmes, Óleo/Bactérias		IEB - Eng. Clínica	10/10

Referência da Informação			Avaliação das Conseqüências				Ações Default			Índice			Tarefa Proposta	Frequência Inicial	Responsável Execução			
F	FF	MF	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4				G	F	R
L1	1	A	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	3	2	6	Substituição periódica da tela de resistência de fluxo (cod. 6424E037)	3000 horas	Celec
L1	1	B	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	3	1	3	Manutenção corretiva (contactar a empresa Siemens)	Ocasional	Fabricante
L1	2	A	S	S	N	S	N	N	N	S	N	N	5	1	5	Manutenção detectiva: verificação da indicação dos alarmes	1000 horas	Celec
L1	2	B												0	0	Ocorrência improvável		
L1	2	C	S	S	N	S	N	N	N	S	N	N	5	1	5	Manutenção detectiva: verificação da indicação dos alarmes	1000 horas	Celec
L2	1	A	N	S	N	N	N	N	N	N	N	S	5	1	5	Verificação periódica da funcionalidade dos transdutores de pressão insp e exp	1000 horas	Celec
L2	1	B	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	3	1	3	Manutenção corretiva (contactar a empresa Siemens)	Ocasional	Fabricante
L2	2	A	S	S	N	S	N	N	N	S	N	N	5	1	5	Manutenção detectiva: verificação da indicação dos alarmes	1000 horas	Celec
L2	2	B												0	0	Ocorrência improvável		
L2	2	C	S	S	N	S	N	N	N	S	N	N	5	1	5	Manutenção detectiva: verificação da indicação dos alarmes	1000 horas	Celec
L3	1	A	S	S	N	S	N	N	N	S	N	N	10	1	10	Manutenção detectiva: verificação da indicação dos alarmes	1000 horas	Celec
L3	1	B												0	0	Ocorrência improvável		
L4	1	A	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	2	2	4	Manutenção corretiva (providenciar a compra de células, 02 celula/VTP/ano)	Ocasional	Celec
L4	1	B	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	3	1	3	Manutenção corretiva (contactar a empresa Siemens)	Ocasional	Fabricante
L4	2	A	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	2	2	4	Manutenção corretiva (providenciar a compra de células, 02 celula/VTP/ano)	Ocasional	Celec
L4	2	B	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	3	1	3	Manutenção corretiva (contactar a empresa Siemens)	Ocasional	Fabricante
L5	1	A	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	1	0	0	Ocorrência improvável		
L6	1	A											1	0	0	Ocorrência improvável		

F: Falha FF: Falha Funcional MF: Modo Falha G: Gravidade da Falha F: Frequência da Falha R: Índice de Risco  
H: Ocultas (Hidden) S: Segurança (Safety) E: Meio Ambiente (Environment) O: Operacionais (Operational) N: Não Operacional  
X1: Manutenção Preditiva X2: Manutenção Preventiva (Recuperação Programada) X3: Manutenção Preventiva (Troca Programada)  
H4: Detecção Programada de Falhas H5: Reprojeto Obrigatório S4: Tarefas Combinadas

**ANEXO 2.3 – PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO PROGRAMADA**

PLANILHA DE  
MANUTENÇÃO  
MCC

Equipamento: Ventilador Pulmonar		Setor: Unidade de Tratamento Intensivo	
Marca:	Modelo:	Nº de Série:	Patrimônio:

Folha: 01/04	Cód.Celec: VTP001
Data: ___/___/___	Frequência: 1.000 horas
	Executor: Celec

CÓDIGO	TAREFA PROPOSTA	ÍNDICE	OBSERVAÇÕES
F2-1-A	Calibração e ajuste dos transdutores de fluxo inspiratório e expiratório, conforme recomendação do fabricante	15	
E1-1-A E1-1-B	IDEM F2-1-A	15	
F4-1-A	IDEM F2-1-A	15	
D1-1-F	Inspeção visual dos elementos em silicone das válvulas inspiratória e expiratória	10	
D5-1-C	IDEM D1-1-F	10	
E1-1-H	IDEM D1-1-F	10	
L3-1-A	Manutenção detectiva: verificação da indicação do alarme de apnéia	10	
B-1-B	Calibração do controlador de temperatura do aquecedor	08	
D1-1-H	Inspeção visual da válvula de segurança, ajustar se necessário	07	
E1-1-J	IDEM D1-1-H	07	
J-1-A	Verificação da presença do filtro bacteriano da entrada de gases	07	
A-1-B	Calibração das válvulas reguladoras (O <sub>2</sub> + ar) ( $\pm 0,5 \text{kgf/cm}^2$ )	06	
E1-1-B1	Verificar o aquecimento do transdutor de fluxo expiratório, por meio do tato	05	
L1-2-A	Manutenção detectiva: verificação da indicação dos alarmes do volume expiratório	05	
L1-2-C	IDEM L1-2-A	05	
L2-1-A	Calibração dos transdutores de pressão inspiratório e expiratório	05	
L2-2-A	Manutenção detectiva: verificação da indicação dos alarmes de pressão de fornecimento do gás	05	
L2-2-C	IDEM L2-2-A	05	
A-1-A	Calibração do misturador, por meio de um oxímetro de linha ( $\pm 5\%$ )	03	
B-1-A	Verificação do cabo de força e da tomada	02	
D1-1-G	Verificação de vazamentos do fole do circuito pneumático	02	
E1-1-I	IDEM D1-1-G		
C-1-B	Verificação da válvula dos retentores de água	01	

PLANILHA DE  
MANUTENÇÃO  
MCC

Equipamento: Ventilador Pulmonar		Setor: Unidade de Tratamento Intensivo	
Marca:	Modelo:	Nº de Série:	Patrimônio:

Cód.Celec: VTP001	
Folha: 04/04	Frequência: 3.000 horas
Data: ___/___/___	Executor: Celec

CÓDIGO	TAREFA PROPOSTA	ÍNDICE	OBSERVAÇÕES
J-1-B	Substituição periódica do filtro bacteriano da entrada de gases	07	
D1-1-A	IDEM J-1-B	07	
E1-1-C	IDEM J-1-B	07	
L1-1-A	Substituição da tela de resistência de fluxo	06	
D1-1-B1	Substituição do filtro do transdutor de pressão inspiratório	05	
F2-1-B	IDEM D1-1-B1	05	
D1-1-G	Substituição do fole do circuito pneumático (a cada 9000 horas)	02	

PLANILHA DE  
MANUTENÇÃO  
MCC

Equipamento: Ventilador Pulmonar		Setor: Unidade de Tratamento Intensivo	
Marca:	Modelo:	Nº de Série:	Patrimônio:

Cód.Celec: <b>VTP001</b>	
Folha: 01/01	Frequência: <b>A cada troca de circuito/Semanal</b>
Data: __/__/__	Executor: <b>Enfermagem</b>

CÓDIGO	TAREFA PROPOSTA	ÍNDICE	OBSERVAÇÕES
C-1-A	Verificação <u>de vazamentos do circuito do paciente</u> , segundo o procedimento recomendado pelo fabricante (traquéias furadas e conectores quebrados)	32	
F2-2-A	Verificação <u>de vazamentos do circuito pneumático interno (desde a valv. insp até a valv. exp.)</u> e substituição do elemento danificado	25	
F4-1-B	IDEM F2-2-A	25	
B-1-C	Verificação de vazamento e integridade do copo do umidificador	06	
D1-1-B2	Troca do filtro do transdutor de pressão expiratória	05	
F2-1-B	IDEM D1-1-B2	05	

## ANEXO 2.4 – PEÇAS SOBRESSALENTES

Código	Qtde	Índice	Descrição
F2-2-A	01	25	Circuito pneumático de silicone
F4-1-B	01	25	IDEM F2-2-A
D1-1-F	04	10	Elementos de silicone das válvulas ins. e expiratórias
D5-1-C	01	10	IDEM D1-1-F
E1-1-H	04	10	IDEM D1-1-F
J-1-B	03	07	Filtro bacteriano
D1-1-C	01	07	Transdutor de pressão expiratório/inspiratório
D1-1-D1	01	07	Válvula inspiratória
D1-1-D2	01	07	IDEM D1-1-D1
D1-1-E1	01	07	Válvula expiratória
D1-1-E2	01	07	IDEM D1-1-E1
E1-1-C	03	07	IDEM J-1-B
E1-1-D	01	07	Transdutor de fluxo ins/expiratório
E1-1-F1	01	07	IDEM D1-1-D1
E1-1-F2	01	07	IDEM D1-1-D1
E1-1-G1	01	07	IDEM D1-1-E1
E1-1-G2	01	07	IDEM D1-1-E1
L1-1-A	03	06	Tela de resistência do transdutor de fluxo
α-1-A2c	01	05	Misturador de gases
D5-1-A	01	04	Transdutor de pressão inspiratório
D5-1-B	01	04	IDEM D1-1-E1
L4-1-A	02	04	Célula de O <sub>2</sub>
L4-2-A	02	04	IDEM L4-1-A
α-1-A2a	02	02	Válvula reguladora de O <sub>2</sub>
	02	02	Válvula reguladora de ar comprimido
B-1-A	05	02	Plugs 2P+T
D1-1-G	01	02	Fole do sistema pneumático
E1-1-I	01	02	IDEM D1-1-G
α-1-A2b	01	01	Mangueira de O <sub>2</sub>
	01	01	Mangueira de ar comprimido

**ANEXO 2.5 – PROGRAMA DE MANUTENÇÃO**



**ANEXO 3 – REGISTROS DO VENTILADOR PULMONAR SEGUNDA  
GERAÇÃO**

**ANEXO 3.1 – PLANILHA FMEA**

**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
FMEA**

<b>Unidade:</b>	<b>Nº.:</b>	<b>Coordenador:</b>	<b>Data:</b>
<b>Sistema:</b>	01	Marcos Vinícius Lucatelli	
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar 2ª Geração	<b>Ver.:</b>	<b>Equipe:</b>	<b>Folha:</b>
<b>Conjunto/Componente:</b>	01	IEB – Eng. Clínica	01/11

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA ( <i>Causa da Falha</i> )		EFEITO DA FALHA ( <i>O que acontece quando falha</i> )
A	Fornecer gás (O <sub>2</sub> + Ar) ao paciente	1	Não fornecer gás ao paciente	A	Falta de gás falha no fornecimento de gás vazamento/obstrução válvula mangueiras misturador (mixer)	alarme de falta de gás equipamento inoperante hipoxemia hipercapmia atelectasia total/parcial
B	O <sub>2</sub> controlado (21-100%) ± 10% (Item 4.8.2.1 NBR 13763:1996)	1	Mistura incorreta	A B	Desajuste do misturador (mixer) Diferença de pressão entre O <sub>2</sub> e Ar	hipoxemia hiperoxia retardo na recuperação disfunção do paciente falência
C	Temperatura controlada (5°C a menos que a temp. ambiente ≤ temperatura selecionada ≤ 41°C) (Item 4.8.1 NBR 13763:1996)	1	Temperatura incorreta	A B C	Falta de energia elétrica Falha eletrônica Falha no copo	sobreaquecimento/subaquecimento infecção desidratação retardo na recuperação disfunção do paciente falência
D	Traquéias – conduzir gás ao paciente	1	Vazamento	A B	Furo na traquéia/conector quebrado Falha na válvula de retenção do copo	ventilação insatisfatória; alarme volume inspirado; alarme de pressão de fornecimento de gás (p/ pressão controlada)
E	Gás isento de óleo e/ou bactérias	1	Gás com presença de óleo e/ou bactérias	A B	Ausência do filtro bacteriológico (bactérias e/ou óleo) Saturação do filtro bacteriológico (bactérias)	danos aos transdutores de fluxo, equalizador de pressão (circuito pneumático) danos ao paciente (bact/óleo).
L	Alarmes					
	Modos Ventilatórios pressão, fluxo/volume, tempo (controlados)					
F	Pressão Controlada					
G	Volume Controlado					
H	Pressão de suporte					
I	SIMV					
J	CPAP					

**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
FMEA**

<b>Unidade:</b>	<b>Nº.:</b>	<b>Coordenador:</b>	<b>Data:</b>
<b>Sistema:</b>	01	Marcos Vinícius Lucatelli	
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar 2ª Geração	<b>Ver.:</b>	<b>Equipe:</b>	<b>Folha:</b>
<b>Conjunto/Componente:</b> Pressão Controlada	01	IEB – Eng. Clínica	02/11

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA ( <i>Causa da Falha</i> )		EFEITO DA FALHA ( <i>O que acontece quando falha</i> )	
F	Pressão Controlada						
F1	Fornecer gás com pressão inspiratória controlada $\pm 5\%$ (Item 5.2.1 NBR 13763:1996)	1	Pressão inspiratória diferente da pressão selecionada	A	Filtro bacteriano da entrada de gases saturado (quando aplicável)	-	alarme de falta de ar na rede; - equipamento inoperante; - substituição do equipamento.
				B	Dano total ou desajuste do transdutor de pressão	-	hipoxmia; - envio de pressão incorreta ao paciente; - hipoventilação/hiperventilação; - alarme de fluxo pode ser acionado; - substituição do equipamento.
				C	Mau funcionamento da válvula inspiratória 1 - obstruída 2 - aberta	-	alarme de apnéia. - alarme de sobre-pressão.
				D	Mau funcionamento da válvula expiratória 1 - obstruída 2 - aberta	-	alarme de sobre-pressão. - alarme de apnéia.
				E	Vazamento em qualquer ponto do circuito desde a válvula inspiratória até a válvula expiratória, incluindo as mesmas.	-	despressurização na pausa inspiratória; - reparo do equipamento.
				F	Vazamento no equalizador de pressão	-	substituição/reparo do equalizador; - equipamento inoperante.
				G	Mau funcionamento da válvula de segurança	-	substituição/reparo da válvula de segurança; - equipamento inoperante.
F2	Controlar a frequência respiratória $\pm 10\%$ (Item 4.5 NBR 13763:1996)	1	Frequência respiratória diferente da frequência selecionada	A	Pane eletrônica	-	hipoventilação/hiperventilação.
F3	Controlar o tempo inspiratório $\pm 10\%$ (Item 4.6 NBR 13763:1996)	1	Tempo inspiratório diferente do selecionado	A	Pane eletrônica	-	hipoventilação/hiperventilação.

**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
FMEA**

<b>Unidade:</b>	<b>Nº.:</b>	<b>Coordenador:</b>	<b>Data:</b>
<b>Sistema:</b>	01	Marcos Vinícius Lucatelli	
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar 2ª Geração	<b>Ver.:</b>	<b>Equipe:</b>	<b>Folha:</b>
<b>Conjunto/Componente:</b> Pressão Controlada	01	IEB – Eng. Clínica	03/11

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA ( <i>Causa da Falha</i> )		EFEITO DA FALHA ( <i>O que acontece quando falha</i> )
F4	Controlar a pausa inspiratória ± 10% (Item 4.6 NBR 13763:1996)	1	Tempo inspiratório diferente do selecionado	A	Pane eletrônica	- hipoventilação/hiperventilação.
F5	Controlar PEEP ± 5% (Item 5.2.1 NBR 13763:1996)	1	PEEP diferente do selecionado	A B C	Falha no transdutor de pressão Falha na válvula expiratória Vazamento em qualquer ponto do circuito desde a válvula inspiratória até a válvula expiratória, incluindo as mesmas.	- atelectasia; - hipoxmia.

**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
FMEA**

<b>Unidade:</b>	<b>Nº.:</b>	<b>Coordenador:</b>	<b>Data:</b>
<b>Sistema:</b>	01	Marcos Vinícius Lucatelli	
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar 2ª Geração	<b>Rev:</b>	<b>Equipe:</b>	<b>Folha:</b>
<b>Conjunto/Componente:</b> Volume Controlado	01	IEB – Eng. Clínica	04/11

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA ( <i>Causa da Falha</i> )		EFEITO DA FALHA ( <i>O que acontece quando falha</i> )
G	Volume Controlado					
G1	Controlar o volume minuto de gás enviado $\pm$ 5% (Item 5.2.1 NBR 13763:1996)	1	Volume diferente do selecionado	A	Dano total ou desajuste do transdutor de fluxo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- alarme alto ou baixo;</li> <li>- potencialização de volutrauma;</li> <li>- substituição do equipamento.</li> </ul>
				B	Filtro bacteriano da entrada de gases saturado (quando aplicável)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- alarme de falta de ar na rede;</li> <li>- equipamento inoperante;</li> <li>- substituição do equipamento.</li> </ul>
				C	Mau funcionamento da válvula inspiratória 1 - obstruída 2 - aberta	<ul style="list-style-type: none"> <li>- alarme de apnéia.</li> <li>- alarme de sobre-pressão.</li> </ul>
				D	Mau funcionamento da válvula expiratória 1 - obstruída 2 - aberta	<ul style="list-style-type: none"> <li>- alarme de sobre-pressão.</li> <li>- alarme de apnéia.</li> </ul>
				E	Vazamento em qualquer ponto do circuito desde a válvula inspiratória até a válvula expiratória, incluindo as mesmas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- reparo do equipamento;</li> <li>- depressurização na pausa inspiratória;</li> <li>- hipoxmia.</li> </ul>
				F	Vazamento no equalizador de pressão	<ul style="list-style-type: none"> <li>- substituição/reparo do equalizador;</li> <li>- equipamento inoperante.</li> </ul>
				G	Mau funcionamento da válvula de segurança	<ul style="list-style-type: none"> <li>- substituição/reparo da válvula de segurança;</li> <li>- equipamento inoperante.</li> </ul>
G2	Controlar a frequência respiratória $\pm$ 10% (Item 4.5 NBR 13763:1996)	1	Frequência respiratória diferente da frequência selecionada	A	Pane eletrônica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- hipoventilação/hiperventilação.</li> </ul>
G3	Controlar o tempo inspiratório $\pm$ 10% (Item 4.6 NBR 13763:1996)	1	Tempo inspiratório diferente do selecionado	A	Pane eletrônica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- hipoventilação/hiperventilação.</li> </ul>

**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
FMEA**

<b>Unidade:</b>	Nº.: 01	<b>Coordenador:</b> Marcos Vinícius Lucatelli	<b>Data:</b>
<b>Sistema:</b>			
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar 2ª Geração	Rev: 01	<b>Equipe:</b> IEB – Eng. Clínica	<b>Folha:</b> 05/11
<b>Conjunto/Componente:</b> Volume Controlado			

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA ( <i>Causa da Falha</i> )		EFEITO DA FALHA ( <i>O que acontece quando falha</i> )
G4	Controlar a pausa inspiratória ± 10% (Item 4.6 NBR 13763:1996)	1	Tempo inspiratório diferente do selecionado	A	Pane eletrônica	- hipoventilação/hiperventilação.
G5	Controlar PEEP ± 5% (Item 5.2.1 NBR 13763:1996)	1	PEEP diferente do selecionado	A B C	Falha no transdutor de pressão Falha na válvula expiratória Vazamento em qualquer ponto do circuito desde a válvula inspiratória até a válvula expiratória, incluindo as mesmas.	- atelectasia; - hipoxmia.
G6	Pressão inspiratória Limitada (30% acima da fisiológica) ± 5% (Item 5.2.1 NBR 13763:1996)	1	Pressão inspiratória diferente da pressão selecionada	A	Dano total ou desajuste do transdutor de pressão	- hipoxmia; - envio de pressão incorreta ao paciente; - hipoventilação/hiperventilação; - alarme de fluxo pode ser acionado; - substituição do equipamento.

**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
FMEA**

<b>Unidade:</b>	<b>Nº.:</b>	<b>Coordenador:</b>	<b>Data:</b>
<b>Sistema:</b>	01	Marcos Vinícius Lucatelli	
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar 2ª Geração	<b>Rev:</b>	<b>Equipe:</b>	<b>Folha:</b>
<b>Conjunto/Componente:</b> Pressão de Suporte	01	IEB – Eng. Clínica	06/11

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA ( <i>Causa da Falha</i> )		EFEITO DA FALHA ( <i>O que acontece quando falha</i> )
H	Pressão de Suporte					
H1	Fornecer gás com pressão inspiratória controlada $\pm 5\%$ (Item 5.2.1 NBR 13763:1996)	1	Pressão inspiratória diferente da pressão selecionada	A	Filtro bacteriano da entrada de gases saturado (quando aplicável)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- alarme de falta de ar na rede;</li> <li>- equipamento inoperante;</li> <li>- substituição do equipamento.</li> </ul>
				B	Dano total ou desajuste do transdutor de pressão	<ul style="list-style-type: none"> <li>- hipoxmia;</li> <li>- envio de pressão incorreta ao paciente;</li> <li>- hipoventilação/hiperventilação;</li> <li>- alarme de fluxo pode ser acionado;</li> <li>- substituição do equipamento.</li> </ul>
				C	Mau funcionamento da válvula inspiratória 1 - obstruída 2 - aberta	<ul style="list-style-type: none"> <li>- alarme de apnéia.</li> <li>- alarme de sobre-pressão.</li> </ul>
				D	Mau funcionamento da válvula expiratória 1 - obstruída 2 - aberta	<ul style="list-style-type: none"> <li>- alarme de sobre-pressão.</li> <li>- alarme de apnéia.</li> </ul>
				E	Vazamento em qualquer ponto do circuito desde a válvula inspiratória até a válvula expiratória, incluindo as mesmas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- despressurização na pausa inspiratória;</li> <li>- hipoxmia;</li> <li>- reparo do equipamento.</li> </ul>
				F	Vazamento no equalizador de pressão	<ul style="list-style-type: none"> <li>- substituição/reparo do equalizador;</li> <li>- equipamento inoperante.</li> </ul>
				G	Mau funcionamento da válvula de segurança	<ul style="list-style-type: none"> <li>- substituição/reparo da válvula de segurança;</li> <li>- equipamento inoperante.</li> </ul>
H2	Disparar o ciclo respiratório, segundo o nível de trigger selecionado $\pm 5\%$ (Item 5.2.1 NBR 13763:1996)	1	Nível de Trigger diferente do selecionado	A	Dano total ou desajuste do transdutor de pressão	<ul style="list-style-type: none"> <li>- falência do modo ventilatório;</li> <li>- disparo com pressão menor – Taquipnéia;</li> <li>- disparo com pressão maior – Apnéia, alarme de apnéia após 20 segundos;</li> <li>- calibração do equipamento (indisponibilidade).</li> </ul>
		2	Dispara sem estímulo do paciente	A	Vazamento em qualquer ponto do circuito desde a válvula inspiratória até a válvula expiratória, incluindo as mesmas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- desconforto do paciente;</li> <li>- aumento do trabalho respiratório;</li> <li>- hiperventilação–ciclo assistido assincronizado.</li> </ul>

**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
FMEA**

<b>Unidade:</b>	<b>Nº.:</b>	<b>Coordenador:</b>	<b>Data:</b>
<b>Sistema:</b>	01	Marcos Vinícius Lucatelli	
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar 2 <sup>a</sup> Geração	<b>Rev:</b>	<b>Equipe:</b>	<b>Folha:</b>
<b>Conjunto/Componente:</b> Pressão de Suporte	01	IEB – Eng. Clínica	07/11

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA ( <i>Causa da Falha</i> )		EFEITO DA FALHA ( <i>O que acontece quando falha</i> )
H3	Controlar PEEP $\pm$ 5% (Item 5.2.1 NBR 13763:1996)		PEEP diferente do selecionado	A B C	Falha no transdutor de pressão Falha na válvula expiratória Vazamento em qualquer ponto do circuito desde a válvula inspiratória até a válvula expiratória, incluindo as mesmas.	- atelectasia; - hipoxmia.
H4	Iniciar o ciclo respiratório $\pm$ 5% (Item 5.2.1 NBR 13763:1996)	1	Não iniciar a ciclagem após estímulo	A	Desajuste do transdutor de fluxo	- hipoventilação.
		2	Iniciar sem estímulo	B	Vazamento em qualquer ponto do circuito desde a válvula inspiratória até a válvula expiratória, incluindo as mesmas.	- potencialização de volutrauma; - hiperventilação.

**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
FMEA**

<b>Unidade:</b>	<b>Nº.:</b>	<b>Coordenador:</b>	<b>Data:</b>
<b>Sistema:</b>	01	Marcos Vinícius Lucatelli	
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar 2ª Geração	<b>Rev:</b>	<b>Equipe:</b>	<b>Folha:</b>
<b>Conjunto/Componente:</b> SIMV	01	IEB – Eng. Clínica	08/11

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA ( <i>Causa da Falha</i> )		EFEITO DA FALHA ( <i>O que acontece quando falha</i> )	
I	SIMV						
II	Controlar o volume minuto de gás enviado $\pm 5\%$ (Item 5.2.1 NBR 13763:1996)	1	Volume diferente do selecionado	A	Dano total ou desajuste do transdutor de fluxo	-	alarme alto ou baixo; potencialização de volutrauma; substituição do equipamento.
				B	Filtro bacteriano da entrada de gases saturado (quando aplicável)	-	alarme de falta de ar na rede; equipamento inoperante; substituição do equipamento.
				C	Mau funcionamento da válvula inspiratória 1 - obstruída 2 - aberta	-	alarme de apnéia. alarme de sobre-pressão.
				D	Mau funcionamento da válvula expiratória 1 - obstruída 2 - aberta	-	alarme de sobre-pressão. alarme de apnéia.
				E	Vazamento em qualquer ponto do circuito desde a válvula inspiratória até a válvula expiratória, incluindo as mesmas.	-	substituição/reparo da válvula; despressurização na pausa inspiratória; hipoxmia.
				F	Vazamento no equalizador de pressão	-	substituição/reparo do equalizador; equipamento inoperante.
				G	Mau funcionamento da válvula de segurança	-	substituição/reparo da válvula de segurança; equipamento inoperante.
I2	Controlar a frequência respiratória (tempo do ciclo mandatório) $\pm 10\%$ (Item 4.5 NBR 13763:1996)	1	Tempo do ciclo mandatório diferente do determinado pela frequência selecionada	A	Pane eletrônica	-	hipoventilação/hiperventilação.
I3	Controlar o tempo inspiratório $\pm 10\%$ (Item 4.6 NBR 13763:1996)	1	Tempo inspiratório diferente do selecionado	A	Pane eletrônica	-	hipoventilação/hiperventilação.

**PLANILHA DE**

<b>Unidade:</b>	<b>Nº.:</b>	<b>Coordenador:</b>	<b>Data:</b>
-----------------	-------------	---------------------	--------------

**INFORMAÇÕES**  
**FMEA**

<b>Sistema:</b>	01	Marcos Vinícius Lucatelli	
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar 2 <sup>a</sup> Geração	<b>Rev:</b>	<b>Equipe:</b>	<b>Folha:</b>
<b>Conjunto/Componente:</b> SIMV	01	IEB – Eng. Clínica	09/11

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA ( <i>Causa da Falha</i> )		EFEITO DA FALHA ( <i>O que acontece quando falha</i> )	
I4	Controlar a pausa inspiratória ± 10% (Item 4.6 NBR 13763:1996)	1	Tempo inspiratório diferente do selecionado	A	Pane eletrônica	-	hipoventilação/hiperventilação.
I5	Controlar PEEP/CPAP ± 5% (Item 5.2.1 NBR 13763:1996)	1	PEEP diferente do selecionado	A	Falha no transdutor de pressão	-	atelectasia;
				B	Falha na válvula expiratória	-	hipoxmia.
				C	Vazamento em qualquer ponto do circuito desde a válvula inspiratória até a válvula expiratória, incluindo as mesmas.		
I6	Frequência SIMV controlada ± 10% (Item 4.5 NBR 13763:1996)	1	Frequência SIMV diferente da selecionada	A	Pane eletrônica	-	para frequências > retardo do desmame;
						-	para frequências < hipoxmia;
						-	compra de peças e/ou chamado da empresa.

**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
FMEA**

<b>Unidade:</b>	<b>Nº.:</b>	<b>Coordenador:</b>	<b>Data:</b>
<b>Sistema:</b>	01	Marcos Vinícius Lucatelli	
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar 2 <sup>a</sup> Geração	<b>Rev:</b>	<b>Equipe:</b>	<b>Folha:</b>
<b>Conjunto/Componente:</b> CPAP	01	IEB – Eng. Clínica	10/11

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA ( <i>Causa da Falha</i> )		EFEITO DA FALHA ( <i>O que acontece quando falha</i> )
J	CPAP					
J1	Pressão positiva contínua controlada nas vias aéreas ± 5% (Item 5.2.1 NBR 13763:1996)	1	Pressão positiva contínua diferente da selecionada	A B  C	Falha no transdutor de pressão inspiratória Falha na válvula expiratória  Vazamento nas válvulas insp. e/ou expiratória	<ul style="list-style-type: none"> <li>- alarme de apnéia;</li> <li>- atelectasia;</li> <li>- hipoxmia.</li> </ul>

**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES**

<b>Unidade:</b>	<b>Nº.:</b>	<b>Coordenador:</b>	<b>Data:</b>
<b>Sistema:</b>	01	Marcos Vinícius Lucatelli	

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA (Causa da Falha)		EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)
L	Alarmes					
L1	Volume expiratório $\pm 10\%$ (Item 4.6 NBR 13763:1996)	1	Alarme incorreto ( $>/<$ )	A	Falha no transdutor de fluxo expiratório	- volutrauma; - atelectasia; - estresse operacional/paciente.
		2	Ausência de alarme	A	Falha no indicador/dispositivo sonoro/ visual	- volutrauma;
				B	Falha no transdutor de fluxo expiratório	- atelectasia.
				C	Pane eletrônica nos controles dos alarmes mínimo/máximo	
L2	Pressão do circuito pneumático $\pm 10\%$ (Item 4.6 NBR 13763:1996)	1	Alarme incorreto ( $>/<$ )	A	Falha nos transdutores de pressão inspiratória e expiratória	- estresse; - hipoventilação; - barotrauma.
		2	Ausência de alarme	A	Falha no indicador/dispositivo sonoro/ visual	- hipoventilação;
				B	Falha nos transdutores de pressão inspiratória e expiratória	- barotrma.
				C	Pane eletrônica nos controles dos alarmes mínimo/máximo	
L3	Apnéia $\pm 10\%$ (Item 4.6 NBR 13763:1996)	1	Ausência de alarme	A	Falha no indicador/dispositivo sonoro/ visual	- hipoventilação;
				B	Pane eletrônica nos controles dos alarmes mínimo/máximo	- óbito do paciente quando utilizado nos modos CPAP e pressão de Suporte.
L4	Concentração de O <sub>2</sub> $\pm 10\%$ (Item 4.6 NBR 13763:1996)	1	Alarme incorreto ( $>/<$ )	A	Saturação da célula de O <sub>2</sub>	- hiperoxia; - hipoxmia; - estresse.
		2	Ausência de alarme	A	Ausência da célula	- hipoxmia;
				B	Pane eletrônica nos controles dos alarmes mínimo/máximo	- hiperoxia.
L5	Pressão de gases da rede (Item 4.10.5 NBR 13763:1996)	1	Ausência de alarme	A	Falha na chave (microswieth)	- equipamento inoperante
L6	Alimentação elétrica (Item 4.10.5 NBR 13763:1996)	1	Alarme incorreto/ausente	A	Pane eletrônica no controlador	- ventilação incorreta; - pane geral do equipamento.

**ANEXO 3.2 – PLANILHA DE DECISÃO**

**PLANILHA DE  
DECISÃO  
MCC**

<b>Processo:</b>	Nº: 01	<b>Coord:</b>	<b>Data:</b>
<b>Sistema:</b>		Marcos Vinicius Lucatelli	
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar 2ª Geração	<b>Rev.:</b> 01	<b>Equipe:</b>	<b>Folha:</b>
<b>Conjunto/Componente:</b>		IEB - Eng. Clínica	01/07

Referência da Informação			Avaliação das Conseqüências				H1	H2	H3	Ações Default				Tarefa Proposta	Frequência Inicial	Responsável Execução
							S1	S2	S3							
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4				
A	1	A1	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Disponibilizar fonte de gases reserva/renovação tecnológica com ventiladores com compressores internos	Única	Equipe téc.	
A	1	A2a	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Manutenção corretiva (providenciar sobressalente)	Ocasional	Operador	
A	1	A2b	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Manutenção corretiva (providenciar sobressalente)	Ocasional	Equipe téc.	
A	1	A2c	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Manutenção corretiva (providenciar sobressalente)	Ocasional	Equipe téc.	
B	1	A	S	S	N	N	S	N	N	N	N	N	Calibração através de um oxímetro de linha (10% admissível )	6 meses	Equipe téc.	
B	1	B	S	S	N	N	S	N	N	N	N	N	Calibração das válvulas reguladoras (0,5 Kgf/cm <sup>2</sup> admissível )	6 meses	Equipe téc.	
C	1	A	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	Verificação periódica do cabo de força	6 meses	Equipe téc.	
C	1	B	S	S	N	N	S	N	N	N	N	N	Calibração da temperatura do aquecedor (X°C admissível)	6 meses	Equipe téc.	
C	1	C	N	S	N	N	N	N	N	N	N	S	Verificação de vazamentos e da integridade do copo	A cada troca de circuito	Operador (enfermagem)	
D	1	A	N	S	N	N	N	N	N	N	N	S	Verificação de vazamentos do circuito do paciente, segundo o protocolo recomendado pelo fabricante	A cada troca do circuito	Operador (enfermagem)	
D	1	B	S	N	N	N	N	N	N	N	N	S	Verificação da funcionalidade das válvulas dos retentores de água	6 meses	Equipe téc.	
E	1	A	S	S	N	N	N	N	N	S	N	N	Manutenção detectiva: verificação da presença do filtro bacteriano (quando aplicável)	6 meses	Equipe téc.	
E	1	B	S	S	N	N	N	N	S	N	N	N	Substituição periódica do filtro (quando aplicável) (providenciar sobressalente)	6 meses	Equipe téc.	

F: Falha FF: Falha Funcional MF: Modo Falha G: Gravidade da Falha F: Frequência da Falha R: Índice de Risco  
H: Ocultas (Hidden) S: Segurança (Safety) E: Meio Ambiente (Environment) O: Operacionais (Operational) N: Não Operacional  
X1: Manutenção Preditiva X2: Manutenção Preventiva (Recuperação Programada) X3: Manutenção Preventiva (Troca Programada)  
H4: Detecção Programada de Falhas H5: Reprojeto Obrigatório S4: Tarefas Combinadas

**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
MCC**

<b>Processo:</b>	Nº: 01	<b>Coord:</b>	<b>Data:</b>
<b>Sistema:</b>		Marcos Vinicius Lucatelli	
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar 2a Geração	<b>Rev.: 01</b>	<b>Equipe:</b>	<b>Folha:</b>
<b>Conjunto/Componente:</b> Pressão Controlada		IEB - Eng. Clínica	02/07

Referência da Informação			Avaliação das Conseqüências				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Ações Default				Tarefa Proposta	Frequência Inicial	Responsável Execução
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4				
F1	1	A	N	S	N	S	N	N	S	N	N	N	Troca do filtro bacteriano da entrada de gases (quando aplicável)	6 meses	Equipe téc.	
F1	1	B	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de um transdutor de pressão)	Única	Equipe téc.	
			N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	Calibração e ajuste do transdutor de pressão	6 meses	Equipe téc.	
F1	1	C1	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula inspiratória)	Única	Equipe téc.	
F1	1	C2	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula inspiratória)	Única	Equipe téc.	
F1	1	D1	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula expiratória)	Única	Equipe téc.	
F1	1	D2	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula expiratória)	Única	Equipe téc.	
F1	1	E	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	Inspeção visual do circuito pneumático desde a válvula inspiratória até a expiratória	6 meses	Equipe téc.	
F1	1	F	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	Inspeção visual do equalizador de pressão do sistema pneumático	6 meses	Equipe téc.	
F1	1	G	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	Inspeção visual da válvula de segurança, ajustar se necessário	6 meses	Equipe téc.	
F2	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente	Única	Hospital	
F3	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente	Única	Hospital	
F4	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente	Única	Hospital	
F5	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de um transdutor de pressão)	Única	Equipe téc.	
F5	1	B	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula expiratória)	Única	Equipe téc.	
F5	1	C	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	Inspeção visual do circuito pneumático desde a válvula inspiratória até a expiratória	6 meses	Equipe téc.	

F: Falha FF: Falha Funcional MF: Modo Falha G: Gravidade da Falha F: Frequência da Falha R: Índice de Risco  
H: Ocultas (Hidden) S: Segurança (Safety) E: Meio Ambiente (Environment) O: Operacionais (Operational) N: Não Operacional  
X1: Manutenção Preditiva X2: Manutenção Preventiva (Recuperação Programada) X3: Manutenção Preventiva (Troca Programada)  
H4: Detecção Programada de Falhas H5: Reprojeto Obrigatório S4: Tarefas Combinadas

**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
MCC**

<b>Processo:</b>	Nº: 01	<b>Coord:</b>	<b>Data:</b>
<b>Sistema:</b>		Marcos Vinícius Lucatelli	
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar 2a Geração	Rev.: 01	<b>Equipe:</b>	<b>Folha:</b>
<b>Conjunto/Componente:</b> Volume Controlado		IEB - Eng. Clínica	03/07

Referência da Informação			Avaliação das Conseqüências				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Ações Default				Tarefa Proposta	Frequência Inicial	Responsável Execução
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4				
G1	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de um transdutor de fluxo)	Única	Equipe téc.	
			N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	Calibração e ajuste do transdutor de fluxo, de acordo com o procedimento do fabricante	6 meses	Equipe téc.	
G1	1	B	N	S	N	S	N	N	S	N	N	N	Troca do filtro bacteriano da entrada de gases (quando aplicável)	6 meses	Equipe téc.	
G1	1	C1	N	S	N	S	N	N	N				Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula inspiratória)	Única	Equipe téc.	
G1	1	C2	N	S	N	S	N	N	N				Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula inspiratória)	Única	Equipe téc.	
G1	1	D1	N	S	N	S	N	N	N				Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula expiratória)	Única	Equipe téc.	
G1	1	D2	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula expiratória)	Única	Equipe téc.	
G1	1	E	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	Inspeção visual do circuito pneumático desde a válvula inspiratória até a expiratória	6 meses	Equipe téc.	
G1	1	F	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	Inspeção visual do equalizador de pressão do sistema pneumático	6 meses	Equipe téc.	
G1	1	G	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	Inspeção visual da válvula de segurança, ajustar se necessário	6 meses	Equipe téc.	
G2	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente	Única	Hospital	
G3	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente	Única	Hospital	
G4	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente	Única	Hospital	
G5	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de um transdutor de pressão)	Única	Equipe téc.	
G5	1	B	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula expiratória)	Única	Equipe téc.	
G5	1	C	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	Inspeção visual do circuito pneumático desde a válvula inspiratória até a expiratória	6 meses	Equipe téc.	
G6	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de um transdutor de pressão)	6 meses	Equipe téc.	
G6	1		N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	Calibração e ajuste do transdutor de pressão, de acordo com o procedimento do fabricante	6 meses	Equipe téc.	

F: Falha FF: Falha Funcional MF: Modo Falha G: Gravidade da Falha F: Frequência da Falha R: Índice de Risco

H: Ocultas (Hidden) S: Segurança (Safety) E: Meio Ambiente (Environment) O: Operacionais (Operational) N: Não Operacional

X1: Manutenção Preditiva X2: Manutenção Preventiva (Recuperação Programada) X3: Manutenção Preventiva (Troca Programada)

H4: Detecção Programada de Falhas H5: Reprojeto Obrigatório S4: Tarefas Combinadas

**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
MCC**

<b>Processo:</b>	Nº: 01	<b>Coord:</b>	<b>Data:</b>
<b>Sistema:</b>		Marcos Vinicius Lucatelli	
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar 2a Geração	Rev.: 01	<b>Equipe:</b>	<b>Folha:</b>
<b>Conjunto/Componente:</b> Pressão de Suporte		IEB - Eng. Clínica	04/07

Referência da Informação			Avaliação das Conseqüências				H1 H2 H3			Ações Default				Tarefa Proposta	Frequência Inicial	Responsável Execução
							S1	S2	S3							
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4				
H1	1	A	N	S	N	S	N	N	S	N	N	N	Troca do filtro bacteriano da entrada de gases (quando aplicável)	6 meses	Equipe téc.	
H1	1	B	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de um transdutor de pressão)	Única	Equipe téc.	
			N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	Calibração e ajuste do transdutor de pressão	6 meses	Equipe téc.	
H1	1	C1	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula inspiratória)	Única	Equipe téc.	
H1	1	C2	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula inspiratória)	Única	Equipe téc.	
H1	1	D1	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula expiratória)	Única	Equipe téc.	
H1	1	D2	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula expiratória)	Única	Equipe téc.	
H1	1	E	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	Inspeção visual do circuito pneumático desde a válvula inspiratória até a expiratória	6 meses	Equipe téc.	
H1	1	F	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	Inspeção visual do equalizador de pressão do sistema pneumático	6 meses	Equipe téc.	
H1	1	G	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	Inspeção visual da válvula de segurança, ajustar se necessário	6 meses	Equipe téc.	
H2	1	B	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de um transdutor de pressão)	Única	Equipe téc.	
			N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	Calibração e ajuste do transdutor de pressão	Única	Equipe téc.	
H2	1	E	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	Inspeção visual do circuito pneumático desde a válvula inspiratória até a expiratória	6 meses	Equipe téc.	
H3	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de um transdutor de pressão)	Única	Equipe téc.	
H3	1	B	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula expiratória)	Única	Equipe téc.	
H3	1	C	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	Inspeção visual do circuito pneumático desde a válvula inspiratória até a expiratória	6 meses	Equipe téc.	
H4	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de um transdutor de fluxo)	6 meses	Equipe téc.	
			N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	Calibração e ajuste do transdutor de fluxo, de acordo com o procedimento do fabricante	6 meses	Equipe téc.	
H4	1	B	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	Inspeção visual do circuito pneumático desde a válvula inspiratória até a expiratória	6 meses	Equipe téc.	

**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
MCC**

<b>Processo:</b>	Nº: 01	<b>Coord:</b>	<b>Data:</b>
<b>Sistema:</b>		Marcos Vinicius Lucatelli	
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar 2a Geração	<b>Rev.:</b> 01	<b>Equipe:</b>	<b>Folha:</b>
<b>Conjunto/Componente:</b> SIMV		IEB - Eng. Clínica	05/07

Referência da Informação			Avaliação das Conseqüências				H1	H2	H3	Ações Default				Tarefa Proposta	Frequência Inicial	Responsável Execução
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4				
I1	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de um transdutor de fluxo)	6 meses	Equipe téc.	
I1			N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	Calibração e ajuste do transdutor de fluxo, de acordo com o procedimento do fabricante	6 meses	Equipe téc.	
I1	1	B	N	S	N	S	N	N	S	N	N	N	Troca do filtro bacteriano da entrada de gases (quando aplicável)	6 meses	Equipe téc.	
I1	1	C1	N	S	N	S	N	N	N				Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula inspiratória)	Única	Equipe téc.	
I1	1	C2	N	S	N	S	N	N	N				Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula inspiratória)	Única	Equipe téc.	
I1	1	D1	N	S	N	S	N	N	N				Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula expiratória)	Única	Equipe téc.	
I1	1	D2	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula expiratória)	Única	Equipe téc.	
I1	1	E	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	Inspeção visual do circuito pneumático desde a válvula inspiratória até a expiratória	6 meses	Equipe téc.	
I1	1	F	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	Inspeção visual do equalizador de pressão do sistema pneumático	6 meses	Equipe téc.	
I1	1	G	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	Inspeção visual da válvula de segurança, ajustar se necessário	6 meses	Equipe téc.	
I2	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente	Única	Hospital	
I3	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente	Única	Hospital	
I4	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente	Única	Hospital	
I5	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de um transdutor de pressão)	Única	Equipe téc.	
I5	1	B	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de uma válvula expiratória)	Única	Equipe téc.	
I5	1	C	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	Inspeção visual do circuito pneumático desde a válvula inspiratória até a expiratória	6 meses	Equipe téc.	
I6	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente	Única	Hospital	

F: Falha FF: Falha Funcional MF: Modo Falha G: Gravidade da Falha F: Frequência da Falha R: Índice de Risco  
H: Ocultas (Hidden) S: Segurança (Safety) E: Meio Ambiente (Environment) O: Operacionais (Operational) N: Não Operacional  
X1: Manutenção Preditiva X2: Manutenção Preventiva (Recuperação Programada) X3: Manutenção Preventiva (Troca Programada)  
H4: Detecção Programada de Falhas H5: Reprojeto Obrigatório S4: Tarefas Combinadas



**PLANILHA DE  
INFORMAÇÕES  
MCC**

<b>Processo:</b>	Nº: 01	<b>Coord:</b>	Data:
<b>Sistema:</b>		Marcos Vinicius Lucatelli	
<b>Equipamento:</b> Ventilador Pulmonar 2a Geração	Rev.: 01	<b>Equipe:</b>	<b>Folha:</b>
<b>Conjunto/Componente:</b> Alarmes		IEB - Eng. Clínica	07/07

Referência da Informação			Avaliação das Conseqüências				Ações Default			Tarefa Proposta	Frequência Inicial	Responsável Execução			
F	FF	MF	H	S	E	O	H1 S1	H2 S2	H3 S3				H4	H5	S4
L1	1	A	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Necessidade de um ventilador pulmonar sobressalente (providenciar a aquisição de um transdutor de fluxo)	Única	Equipe téc.
			N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	Calibração e ajuste do transdutor de fluxo, de acordo com o procedimento do fabricante	6 meses	Equipe téc.
L1	1	B	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Manutenção corretiva (contactar a empresa Representante)	Ocasional	Representante
L1	2	A	S	S	N	S	N	N	N	S	N	N	Manutenção detectiva: verificação da indicação dos alarmes	6 meses	Equipe téc.
L1	2	B											Ocorrência improvável		
L1	2	C	S	S	N	S	N	N	N	S	N	N	Manutenção detectiva: verificação da indicação dos alarmes	6 meses	Equipe téc.
L2	1	A	N	S	N	N	N	N	N	N	N	S	Verificação periódica da funcionalidade dos transdutores de pressão insp e exp	6 meses	Equipe téc.
L2	1	B	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Manutenção corretiva (contactar a empresa Representante)	Ocasional	Representante
L2	2	A	S	S	N	S	N	N	N	S	N	N	Manutenção detectiva: verificação da indicação dos alarmes	6 meses	Equipe téc.
L2	2	B											Ocorrência improvável		
L2	2	C	S	S	N	S	N	N	N	S	N	N	Manutenção detectiva: verificação da indicação dos alarmes	6 meses	Equipe téc.
L3	1	A	S	S	N	S	N	N	N	S	N	N	Manutenção detectiva: verificação da indicação dos alarmes	6 meses	Equipe téc.
L3	1	B											Ocorrência improvável		
L4	1	A	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Manutenção corretiva (providenciar a compra de células, 02 celula/VTP/ano)	Ocasional	Equipe téc.
L4	1	B	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Manutenção corretiva (contactar a empresa Representante)	Ocasional	Representante
L4	2	A	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Manutenção corretiva (providenciar a compra de células, 02 celula/VTP/ano)	Ocasional	Equipe téc.
L4	2	B	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Manutenção corretiva (contactar a empresa Representante)	Ocasional	Representante
L5	1	A	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Ocorrência improvável		
L6	1	A											Ocorrência improvável		

F: Falha FF: Falha Funcional MF: Modo Falha G: Gravidade da Falha F: Frequência da Falha R: Índice de Risco  
H: Ocultas (Hidden) S: Segurança (Safety) E: Meio Ambiente (Environment) O: Operacionais (Operational) N: Não Operacional  
X1: Manutenção Preditiva X2: Manutenção Preventiva (Recuperação Programada) X3: Manutenção Preventiva (Troca Programada)  
H4: Detecção Programada de Falhas H5: Reprojeto Obrigatório S4: Tarefas Combinadas

**ANEXO 3.3 – PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO PROGRAMADA**

PLANILHA DE  
MANUTENÇÃO  
MCC

Equipamento: Ventilador Pulmonar		Setor:	
Marca:	Modelo:	Nº de Série:	Patrimônio:

CÓDIGO	TAREFA PROPOSTA	EXECUTOR	FREQÜÊNCIA	OBSERVAÇÕES
B-1-A	Calibração do misturador, por meio de um oxímetro de linha ( $\pm 5\%$ )	Equipe Tec.	6 meses	
B-1-B	Calibração das válvulas reguladoras ( $O_2 + ar$ ) ( $\pm 0,5 kgf/cm^2$ )	Equipe Tec.	6 meses	
C-1-A	Verificação do cabo de força e da tomada	Equipe Tec.	6 meses	
C-1-B	Calibração do controlador de temperatura do aquecedor	Equipe Tec.	6 meses	
D-1-B	Verificação da válvula dos retentores de água	Equipe Tec.	6 meses	
E-1-A	Verificação da presença do filtro bacteriano da entrada de gases (se aplicável)	Equipe Tec.	6 meses	
E1-1-B	Substituição periódica do filtro bacteriano da entrada de gases (se aplicável)	Equipe Tec.	6 meses	
F1-1-b	Calibração e ajuste do transdutor de pressão, conforme recomendação do fabricante	Equipe Tec.	6 meses	
F1-1-E	Verificação do circuito pneumático, desde a válvula inspiratória até a expiratória	Equipe Tec.	6 meses	
F1-1-F	Verificação de vazamentos no equalizador de pressão do circuito pneumático	Equipe Tec.	6 meses	
F1-1-G	Verificação da válvula de segurança, ajustar se necessário	Equipe Tec.	6 meses	
G1-1-A	Calibração e ajuste do transdutor de fluxo, conforme recomendação do fabricante	Equipe Tec.	6 meses	
L1-2-A	Manutenção detectiva: verificação da identificação dos alarmes (apnéia, pressão de fornecimento de gás, volume expiratório, concentração de $O_2$ )	Equipe Tec.	6 meses	
C-1-C	Verificação de vazamento e integridade do copo do umidificador	Enfermagem	A cada troca de circuito/Semanal	
D-1-A	Verificação de vazamentos do circuito do paciente, segundo o procedimento recomendado pelo fabricante (traquéias furadas e conectores quebrados)	Enfermagem	A cada troca de circuito/Semanal	

**ANEXO 4 – CRITÉRIOS EXIGIDOS PELO PADRÃO SAE JA1011  
PARA A AVALIAÇÃO DE PROCESSOS MCC**

<b>Critério</b>	<b>Descrição</b>	<b>Avaliação</b>	<b>Observação</b>
<b>5</b>	Qualquer processo MCC deverá assegurar que todas as sete perguntas sejam respondidas satisfatoriamente e que sejam respondidas na seqüência. Todas as informações e decisões deverão ser documentadas de forma que elas fiquem totalmente disponíveis.	atende	Todas as sete questões são respondidas, na medida em que as fases da metodologia proposta sejam executadas.
<b>5.1</b>	<b>Funções</b>		
5.1.1	O contexto operacional do ativo será definido	atende	O contexto operacional é definido na etapa 1.1 do processo.
5.1.2	Todas as funções do ativo serão identificadas	atende	As funções são identificadas na etapa 1.2 do processo.
5.1.3	Todas as definições de função conterão um verbo, um objeto e um padrão de desempenho	atende	
5.1.4	Padrões de desempenho incorporados em definições de função será o nível de desempenho desejado pelo proprietário ou usuário do item em seu contexto operacional	atende	Grande parte dos padrões de desempenho identificados para os EMH referem-se à recomendações da ABNT.
<b>5.2</b>	<b>Falhas Funcionais</b> – deverão ser identificados todos os estados de falha associados a cada função		
<b>5.3</b>	<b>Modos de Falha</b>		
5.3.1	Deverão ser identificados todos os modos de falha que possam, razoavelmente, causar cada falha funcional	atende	
5.3.2	O método usado para definir o que se constitui numa “possibilidade razoável” de modo de falha será aceitável ao proprietário ou usuário do item	atende	Em EAS a figura do proprietário ou usuário do item é caracterizada pelo responsável técnico do EMH (EEC).
5.3.3	Modos de falha serão identificados a um nível de causa que permita identificar uma política de gerenciamento de falha apropriada	atende	
5.3.4	As listas de modos de falha deverão incluir todos os modos de falha que aconteceram anteriormente, que estão sendo presentemente prevenidos por programas de manutenção existentes e modos de falha que ainda não aconteceram, mas que possam acontecer no contexto operacional	atende	Todos os modos de falha, com possibilidade razoável de ocorrência, levantados pela equipe de revisão foram listados.

5.3.5	As listas de modos de falha deverão incluir qualquer evento ou processo que possivelmente cause uma falha funcional, incluindo deterioração, defeitos de projeto e erro humano, se causados por operadores ou por mantenedores	atende	
<b>5.4</b>	<b>Efeitos de Falha</b>		
5.4.1	Efeitos de falha deverão descrever o que aconteceria se nenhuma tarefa é executada para prever, prevenir ou detectar a falha	atende	Critério satisfeito pela aplicação do FMEA.
5.4.2	Efeitos de falha deverão incluir toda a informação necessária para apoiar a avaliação das conseqüências da falha		
<b>5.5</b>	<b>Categorias de Conseqüências de Falhas</b>		
5.5.1	As conseqüências de todo modo de falha devem ser formalmente categorizadas como segue:		
5.5.1.1	O processo de categorização das conseqüências separará modos de falha ocultos de modos de falha evidentes	atende	Critério atendido pela execução do diagrama de decisão.
5.5.1.2	O processo de categorização de conseqüências distinguirá claramente eventos que tenham conseqüências de segurança e/ou ambientais daqueles que causam apenas conseqüências econômicas	atende	Critério atendido pela execução do diagrama de decisão.
5.5.2	A determinação das conseqüências de falha será efetuada como se não estivesse, no momento, sendo executada nenhuma tarefa específica para prever, prevenir ou detectar a falha	atende	Critério atendido pela execução do FMEA.
<b>5.6</b>	<b>Seleção de Política de Gerenciamento de Falhas</b>		
5.6.1	O processo de política de gerenciamento de falha considerará o fato de que a probabilidade condicional de alguns modos de falha crescerá com a idade, de que a probabilidade condicional de outros modos não mudará com a idade, e de que a probabilidade condicional de outros decrescerá com a idade	atende	Critério atendido, na medida que o processo aplicado baseia-se no método de Moubray (1997), o qual considera os resultados propostos por Nowlan e Heap, precursores do RCM.
5.6.2	Todas as tarefas programadas serão tecnicamente factíveis e valerão a pena (aplicáveis e efetivas), e este requisito será satisfeito na forma descrita em 5.7	atende	Critério atendido, na medida que o processo aplicado baseia-se no RCM II, o qual adota este critério como requisito preceitual.

5.6.3	Se duas ou mais políticas propostas de gerenciamento de falhas forem tecnicamente factíveis e forem aplicáveis e efetivas, será escolhida a política mais eficiente do ponto de vista de custos	atende	Critério preceitual da MCC aplicada, complementado pela execução do diagrama de decisão.
5.6.4	A seleção de políticas de gerenciamento de falha será feita como se não estivesse, no momento, sendo executada nenhuma tarefa específica para prever, prevenir ou detectar a falha	atende	
<b>5.7</b>	<b>Políticas de Gerenciamento de Falhas – Tarefas Programadas</b>		
5.7.1	Todas as tarefas programadas deverão atender os seguintes critérios:		
5.7.1.1	No caso de um modo de falha evidente que tenha conseqüências de segurança ou ambientais, a tarefa deverá reduzir a probabilidade do modo de falha a um nível que seja tolerável ao proprietário ou usuário do item	atende	Critério atendido pela execução do diagrama de decisão.
5.7.1.2	No caso de um modo de falha oculto no qual a falha múltipla associada tenha conseqüências de segurança ou ambientais, a tarefa deverá reduzir a probabilidade do modo de falha oculto a um nível que reduza a probabilidade da falha múltipla associada a um nível que seja tolerável ao proprietário ou usuário do item	atende	Critério atendido pela execução do diagrama de decisão.
5.7.1.3	No caso de um modo de falha que não tenha conseqüências de segurança ou ambientais, os custos diretos e indiretos do desempenho dessa tarefa deverá ser menor do que os custos diretos ou indiretos do modo de falha, este medido por períodos de tempo comparáveis	atende	Critério atendido pela execução do diagrama de decisão.
5.7.1.4	No caso de um modo de falha oculto no qual a falha múltipla associada não tenha conseqüências de segurança ou ambientais, os custos diretos e indiretos do desempenho dessa tarefa deverá ser menor do que os custos diretos e indiretos do modo de falha acrescido dos custos de reparo da falha oculta, estes medidos por períodos comparáveis de tempo	atende	Critério atendido pela execução do diagrama de decisão.
5.7.2	TAREFAS SOB CONDIÇÃO – qualquer tarefa sob condição (ou preditiva, ou centrada em condição ou tarefa de monitoração de condição) escolhida deverá satisfazer os seguintes critérios adicionais:		
5.7.2.1	Deverá existir uma falha potencial claramente definida	atende	

5.7.2.2	Deverá existir um intervalo P-F (ou período de desenvolvimento de falha)		O intervalo P-F não pôde ser definido, em virtude da carência de histórico de falhas de EMH adequados.
5.7.2.3	O intervalo da tarefa deverá ser menor do que o menor intervalo P-F		As tarefas de MPd foram baseadas no contexto operacional e na experiência técnica dos membros da equipe de revisão.
5.7.2.4	Deve ser fisicamente possível desempenhar a tarefa em intervalos menores do que o intervalo P-F	atende	Critério preceitual da MCC aplicada.
5.7.2.5	O tempo mais curto entre a descoberta de uma falha potencial e a ocorrência da falha funcional (o intervalo P-F menos o intervalo da tarefa) será longo o suficiente para que se possa agir de forma predeterminada para evitar, eliminar ou minimizar as conseqüências do modo de falha	atende	Critério preceitual da MCC aplicada.
5.7.3	TAREFAS DE DESCATE PROGRAMADO – qualquer tarefa de descarte programado escolhida deverá obedecer aos seguintes critérios adicionais:		
5.7.3.1	Deverá existir uma idade (preferencialmente demonstrável) claramente definida na qual há um aumento na probabilidade condicional do modo de falha sob consideração	atende	Considerou-se a recomendação do fabricante e o contexto operacional.
5.7.3.2	Ocorrerá uma proporção suficientemente grande das ocorrências desse modo de falha depois dessa idade para reduzir a probabilidade de falha prematura a um nível tolerável ao proprietário ou usuário do item	atende	Considerou-se a recomendação do fabricante e o contexto operacional.
5.7.4	TAREFAS DE RESTAURAÇÃO PROGRAMADA – qualquer tarefa de restauração programada escolhida obedecerá aos seguintes critérios adicionais:		
5.7.4.1	Existirá uma idade (preferencialmente demonstrável) claramente definida, na qual há um aumento na probabilidade condicional do modo de falha sob consideração	atende	
5.7.4.2	Depois desta idade, deverá acontecer uma proporção suficientemente grande de ocorrências desse modo de falha para reduzir a probabilidade de falha prematura a um nível que seja tolerável para o proprietário ou	atende	

	usuário do item		
5.7.4.3	A tarefa deverá restaurar a resistência à falha (condição) do componente a um nível que seja tolerável ao proprietário ou usuário do item	atende	
5.7.5	TAREFAS DE BUSCA DE FALHAS – qualquer tarefa escolhida satisfará os seguintes critérios adicionais (a busca de falha não se aplica a modos de falha evidentes):		
5.7.5.1	A base sobre a qual o intervalo é escolhido levará em conta a necessidade de se reduzir a probabilidade da falha múltipla do sistema protegido associado a um nível que seja tolerável ao proprietário ou usuário do item	atende	
5.7.5.2	A tarefa deverá confirmar que todos os componentes cobertos pela descrição do modo de falha estão operacionais	atende	
5.7.5.3	A tarefa de busca de falha e o processo de seleção do intervalo a ela associado devem levar em consideração qualquer probabilidade de que a própria tarefa pode deixar a função oculta em estado de falha	atende	
5.7.5.4	Deverá ser fisicamente possível executar a tarefa nos intervalos especificados	atende	
<b>5.8</b>	<b>Políticas de Gerenciamento de Falhas – Pacote de Reprojeto e Rodar até Falhar</b>		
5.8.1	PACOTE DE REPROJETO		
5.8.1.1	O processo MCC deverá visar obter o desempenho desejado tal como está configurado e operado no momento pela aplicação de tarefas programadas apropriadas	atende	Este critério não teve aplicação nos estudos de caso realizados.
5.8.1.2	Em casos nos quais tais tarefas não se possam ser encontradas, podem ser necessário pacote de reprojeto do ativo ou sistema, conforme os seguintes critérios:		
5.8.1.2.1	Nos casos nos quais a falha é oculta e a falha múltipla a ela associada tem consequências de segurança ou ambientais, é compulsório um pacote de reprojeto que reduza a probabilidade de falha múltipla a um nível tolerável ao proprietário ou usuário do item	atende	

5.8.1.2.2	Nos casos nos quais o modo de falha é evidente e tem conseqüências de segurança ou ambientais, é compulsório um pacote de reprojeto que reduza a probabilidade de falha a um nível tolerável ao proprietário ou usuário do item	atende	
5.8.1.2.3	Nos casos nos quais o modo de falha é oculto e a falha múltipla a ele associado não tem conseqüências de segurança ou ambientais, qualquer pacote de reprojeto deve ser efetivo com relação a custos, na opinião do proprietário ou usuário do item	atende	
5.8.1.2.4	Nos casos nos quais o modo de falha é evidente e não tem conseqüências de segurança ou ambientais, qualquer pacote de reprojeto deve ser efetivo com relação a custos, na opinião do proprietário ou usuário do item	atende	
5.8.2	RODAR ATÉ FALHAR – qualquer política selecionada deve atender aos seguintes critérios, como segue:		
5.8.2.1	Em casos nos quais a falha é oculta e não há tarefa apropriada programada, a falha múltipla associada não deverá ter conseqüências de segurança ou ambientais	atende	
5.8.2.2	Em casos nos quais a falha é evidente e não há tarefa apropriada programada, o modo de falha associado não deverá ter conseqüências de segurança ou ambientais	atende	
<b>5.9</b>	<b>Um Programa Vivo</b>		
5.9.1	Este documento reconhece que (a) muitos dados utilizados na análise inicial são inerentemente imprecisos e que, com o tempo, estarão disponíveis dados mais precisos; (b) a forma como um ativo é utilizado, juntamente com as expectativas de seu desempenho, também mudarão com o tempo; e (c) a tecnologia de manutenção continua a evoluir. Assim, serão necessárias revisões periódicas se o programa de gerenciamento de bens derivado da MCC for assegurar que os bens continuarão a atender as expectativas funcionais atuais de seus proprietários	atende	
5.9.2	Portanto, qualquer processo MCC fará uma revisão periódica, tanto das	atende	

	informações utilizadas como base para as decisões, quanto as próprias decisões. O processo usado para conduzir tal revisão assegurará que todas as sete perguntas na Seção 5 continuam sendo respondidas satisfatoriamente e de uma maneira consistente com os critérios de 5.1 até 5.8		
<b>5.10</b>	<b>Fórmulas Matemáticas e Estatísticas</b>		
5.10.1	Quaisquer fórmulas matemáticas e estatísticas usadas na aplicação do processo (especialmente aquelas usadas para calcular os intervalos de quaisquer tarefas) deverão ser robustas do ponto de vista lógico, e estarão disponíveis e aprovadas pelo proprietário ou usuário do item		Não aplicado nos estudos de caso realizados.

**ANEXO 5 – CONCEITOS BÁSICOS DE TEORIA DA  
CONFIABILIDADE**

## CONFIABILIDADE

O conceito de confiabilidade foi, primeiramente, desenvolvido por Robert Lusser e Erich Pieruschka (NEPOMUCENO, 1989), no período compreendido entre a Primeira e a Segunda Guerra Mundial, os quais se basearam em estatísticas que apontavam as falhas em mísseis utilizados pelas Forças Armadas norte-americanas. Essas falhas originavam-se de um único componente, porém nem sempre eram causadas pelo mesmo componente.

Embora tenha sido durante a Segunda Guerra Mundial que a teoria de confiabilidade ganhou impulso, sobretudo em razão da necessidade do desenvolvimento de válvulas eletrônicas a vácuo, seus conceitos de há muito eram conhecidos. Nesse sentido, ao se planejar, projetar ou operar determinado item, de modo a se obter um nível aceitável de confiabilidade, depara-se com várias fontes de incertezas, o que torna natural o emprego de técnicas probabilísticas para a avaliação quantitativa da confiabilidade (CAMARGO, 1979).

Nesse sentido, a probabilidade de zero falhas no tempo  $t$  é a confiabilidade do componente em função do tempo, ou seja (XAVIER, 2001; DOWING & CLARK, 2000; BERGAMO FILHO, 1997; BILLINTON & ALLAN, 1984; CAMARGO, 1979):

$$P(0) = R(t) = e^{-\lambda t} = e^{-\frac{t}{\mu}} \quad \text{sendo,} \quad \lambda = \frac{NF}{\sum \text{tempo disponível}} = \frac{1}{\mu}$$

$$MTBF = \mu = \frac{\sum \text{tempo disponível}}{NF} \qquad MTTR = \frac{\sum \text{tempo de reparo}}{NF}$$

Onde:

$P(0)$  = probabilidade de zero falhas;

$R(t)$  = confiabilidade do componente no tempo  $t$ ;

$\lambda$  = taxa média de falha (falha/tempo);

$\mu$  = MTBF = tempo médio entre falhas (*mean time between failures*);

MTTR = tempo médio de reparo (*mean time to repair*) ou tempo de restabelecimento médio (ABNT, 1994);

$t$  = tempo;

NF = número de falhas.

## DISPONIBILIDADE

A disponibilidade de máquinas, equipamentos e sistemas é um dos principais indicadores de desempenho da manutenção nos diversos setores da produção de bens e serviços, sendo, também, um dos seis indicadores utilizados em todos os países do mundo, denominados – índices classe mundial (TAVARES, 2001). Segundo Pinto e Nascif (1999), o resultado do aumento da disponibilidade – redução de custos, melhoria do atendimento à operação, redução do número de acidentes e o aumento da motivação, a médio e longo prazos – é sensivelmente perceptível à medida que se caminha da manutenção corretiva para políticas de manutenção pró-ativas (MP e MPd).

A disponibilidade de um item qualquer é expressa numa relação que integra a sua confiabilidade e a sua manutenibilidade, a qual é definida e calculada pela relação do tempo em que o equipamento está disponível com o tempo total, como mostram, na seqüência, as equações (TAVARES, 2001; BRANCO FILHO, 2000). Onde o MTBF dá a noção da confiabilidade do item e MTTR da manutenibilidade.

$$A = \frac{\text{tempo disponível para utilização}}{\text{tempo disponível} + \text{tempo indisponível}} \quad \text{ou} \quad A = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}}$$

Onde:

A = índice da disponibilidade do item, seja ele uma máquina, um produto ou um equipamento;

tempo disponível = tempo para a verdadeira utilização do item que está apto a operar sem qualquer restrição ou impedimento, podendo, assim, realizar suas funções;

tempo indisponível = tempo gasto na realização de intervenções, inspeções, manutenção preventiva, etc.

A definição adotada pela ABNT para disponibilidade é “capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados” (ABNT, 1994).

## **MANTENABILIDADE**

Assim como o conceito de confiabilidade, a manutenibilidade foi desenvolvida no início da Revolução Industrial e, como qualquer descoberta, também é fruto da necessidade de se manter as máquinas operando, exigida pelas transformações e descobertas da época. Porém, somente após a década de 1960, passou a ser seriamente estudada e aplicada, em virtude do surgimento e desenvolvimento das “tecnologias de ponta”.

Inicialmente, a manutenibilidade veio ao encontro de exigências de mecânicos de produtos, que exerciam a manutenção após determinado período de operação. Em conseqüência, desenvolveu-se, progressivamente, uma série de regras e linhas de ação a fim de facilitar a manutenção de determinado item na execução de determinada função.

A manutenibilidade é parte de um produto projetado com determinada finalidade, que permite a realização satisfatória das suas funções durante a sua vida útil e a um custo mínimo (TAVARES, 1996).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas define manutenibilidade como “capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos” (ABNT, 1994).

Muitos dos procedimentos utilizados nos projetos dos produtos, tais como modularização, permutabilidade, acessibilidade, dispositivos indicadores, etc., mostraram-se altamente facilitadores dos serviços de manutenção. Dessa

forma, a eficiência desses serviços tem melhorado significativamente graças ao conceito de manutenibilidade (Nepomuceno, 1989).

**REFERÊNCIAS**

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Confiabilidade e Manutenibilidade – Terminologia**, NBR 5462, Rio de Janeiro, p. 37, 1994.
- BERGAMO FILHO, V. **Confiabilidade Básica e Prática**. São Paulo, SP: Edgard Blücher LTDA, 1997.
- BILLINTON, R. & ALLAN, R. N. Reliability Evaluation of Power Systems. IN: \_\_\_\_\_. **Generating Capacity – basic probability methods**. Marshfield, MA: Pitman, p. 6-70, 1984.
- BRANCO FILHO, G. **Dicionário de Termos Técnicos de Manutenção e Confiabilidade**. Editora Ciência Moderna, Rio de Janeiro, RJ, 2000.
- CAMARGO, C. C. B. Confiabilidade Aplicada a Sistemas de Potência Elétrica. IN: \_\_\_\_\_. **Conceitos Básicos de Teoria das Probabilidade & Conceitos Básicos de Teoria da Confiabilidade**. Florianópolis, SC: Eletrosul SA, p. 1-56, 1979.
- DOWNING, D. & CLARK, J. **Estatística Aplicada**. São Paulo, SP: Saraiva, 2000. p. 127-135.
- PINTO, A. K. & NASCIF, J. **Manutenção – Função estratégica**. Editora Qualitymark, Rio de Janeiro, RJ, 1999.
- NEPOMUCENO, L. X. **Técnicas de Manutenção Preditiva**. São Paulo, SP: Edgard Blücher LTDA, v.1, 1989.
- TAVARES, L. 2001, **Manutenção Centrada no Negócio (Business Centered Maintenance)**, Disponível em: <http://www.manter.com.br/Artigos>, (Acessado em 10/12/2001), 10 p.
- TAVARES, L. A. **Excelência na Manutenção**. Casa da Qualidade, 2. Ed., Salvador, BA, 1996.
- XAVIER, J. N. 2001. **Indicadores na manutenção – parte VI**. <http://www.manter.com.br/Artigos/>, (disponível em 10/12/2001).

**ANEXO 6 – CUSTOS DIRETOS ENVOLVIDOS NA APLICAÇÃO DA  
MCC**

Relação de custos diretos do grupo de revisão do Sistema de Ar comprimido.

<b>Participante</b>	<b>Frequência x Duração</b>	<b>Total de Horas p/ Participante</b>				
<b>Facilitador</b>	6 x 2,5 h	15,0				
<b>Eng.Especialista_1</b>	5 x 2,5 h	12,5				
<b>Eng.Especialista_2</b>	5 x 2,5 h	12,5				
<b>Tec.Especialista_1</b>	4 x 2,5 h	10,0				
<b>Tec.Especialista_2</b>	6 x 2,5 h	15,0				
	<b>Total de horas</b>	<b>65,0</b>	<b>Salário + Encargos</b>	<b>Custo das Reuniões</b>		
	<b>hora/homem</b>	<b>13,0</b>				
	<b>hora Engenheiro</b>	<b>40,0</b>			<b>R\$ 21,92/h*</b>	<b>R\$ 876,85</b>
	<b>hora Técnico</b>	<b>25,0</b>			<b>R\$ 11,07/h**</b>	<b>R\$ 276,75</b>
			<b>Subtotal de Custos</b>		<b>R\$ 1.153,64</b>	
			<b>Custos Fixos = 30%</b>		<b>R\$ 346,09</b>	
			<b>Total</b>		<b>R\$ 1.499,73</b>	

Fonte: Primária.

\* custo hora/homem do engenheiro considerando salário mais 86 % de encargos .

$$\left( \text{salário eng.} = \frac{R\$1.980,00/\text{mês} + 86\%}{21 \text{ dias úteis}} = \frac{R\$175,37/\text{dia}}{8 \text{ h}} = R\$21,92/\text{hora} \right)$$

\*\* custo hora/homem do técnico considerando salário mais 86 % de encargos .

$$\left( \text{salário tec.} = \frac{R\$1.000,00/\text{mês} + 86\%}{21 \text{ dias úteis}} = \frac{R\$88,57/\text{dia}}{8 \text{ h}} = R\$11,07/\text{hora} \right)$$

## Relação de custos diretos do grupo de revisão do VTP

<b>Participante</b>	<b>Freqüência x Duração</b>	<b>Total de Horas p/ Participante</b>				
<b>Facilitador</b>	7x 2,5 h	17,5				
<b>Eng.Especialista</b>	7 x 2,5 h	17,5				
<b>Médico</b>	3 x 2,5 h	7,5				
<b>Tec.Especialista_1</b>	4 x 2,5 h	10,0				
<b>Tec.Especialista_2</b>	5 x 2,5 h	12,5				
<b>Tec.Especialista_3</b>	5 x 2,5 h	12,5				
	<b>Total de horas</b>	<b>77,5</b>	<b>Salário + Encargos</b>	<b>Custo das Reuniões</b>		
	<b>hora/homem</b>	<b>13,0</b>				
	<b>hora Engenheiro + Médico</b>	<b>42,5</b>			<b>R\$ 21,92/h*</b>	<b>R\$ 931,60</b>
	<b>hora Técnico</b>	<b>35,0</b>			<b>R\$ 11,07/h**</b>	<b>R\$ 387,45</b>
			<b>Subtotal de Custos</b>		<b>R\$ 1.319,05</b>	
			<b>Custos Fixos = 30%</b>		<b>R\$ 395,71</b>	
			<b>Total</b>		<b>R\$ 1.714,76</b>	

Fonte: Primária.

## Relação de custos diretos do grupo de revisão do VTP2

<b>Participante</b>	<b>Freqüência x Duração</b>	<b>Total de Horas p/ Participante</b>				
<b>Facilitador</b>	3x 2,5 h	7,5				
<b>Eng.Especialista</b>	3 x 2,5 h	7,5				
<b>Tec.Especialista_1</b>	3 x 2,5 h	7,5				
<b>Tec.Especialista_2</b>	3 x 2,5 h	7,5	<b>Salário + Encargos</b>	<b>Custo das Reuniões</b>		
	<b>Total de horas</b>	<b>30,0</b>				
	<b>hora/homem</b>	<b>7,5</b>				
	<b>hora Engenheiro</b>	<b>15,0</b>			<b>R\$ 21,92/h*</b>	<b>R\$ 328,80</b>
	<b>hora Técnico</b>	<b>15,0</b>			<b>R\$ 11,07/h**</b>	<b>R\$ 166,05</b>
					<b>Subtotal de Custos</b>	<b>R\$ 494,85</b>
			<b>Custos Fixos</b>	<b>R\$ 148,45</b>		
			<b>Total</b>	<b>R\$ 643,30</b>		

Fonte: Primária.

## GLOSSÁRIO

**confiabilidade** - capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo.

**conserto** - parte da manutenção corretiva na qual são efetuadas as ações de manutenção efetiva sobre um item, excluindo-se os atrasos técnicos.

**dano** - é a gravidade da perda – humana, material, ambiental ou financeira – e o que diferencia os acidentes de mesmo tipo.

**disponibilidade** - capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados.

**falha** – término da capacidade de um item desempenhar a função requerida.

**falha catastrófica** – falha repentina que resulta na incapacidade completa de um item desempenhar todas as funções requeridas.

**eficácia** - é a capacidade de um item atender a uma demanda de serviço de determinadas características quantitativas.

**eficiência tecnológica** - é o uso da tecnologia em condições reais.

**equipamento eletromédico** - é o equipamento elétrico dotado de não mais que um recurso de conexão a uma determinada rede de alimentação elétrica e destinado a diagnóstico, tratamento ou monitoração do paciente, sob supervisão médica, que estabelece contato físico ou elétrico com o paciente, ou recebe a que dele provém, e/ou detecta esta transferência de energia.

**equipamento médico-assistencial** – são os utilizados nas ações de diagnose e terapia em ações de saúde dos pacientes.

**equipamento médico-hospitalar** - é um conjunto de aparelhos, máquinas e acessórios de que dispõe uma unidade assistencial onde são desenvolvidas ações de diagnose e terapia, atividades de apoio, infra-estrutura.

**estado de indisponibilidade** - estado de um item caracterizado por uma pane ou por uma eventual incapacidade de desempenhar uma função requerida durante a manutenção preventiva.

**estado de operação** - quando está desempenhando uma função requerida.

**função requerida** – função ou combinação de funções de um item que são consideradas necessárias para prover um dado serviço.

**gerenciamento tecnológico** - é o conjunto de ações práticas desenvolvidas pela administração do hospital, em conjunto com os setores, para otimizar a segurança e eficiência de cada tecnologia incorporada pelo hospital.

**item** – qualquer parte, componente, dispositivo, subsistema, unidade funcional, equipamento ou sistema que possa ser considerado individualmente.

**mantenedor** – qualquer indivíduo que execute ações técnicas e/ou administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida.

**mantenabilidade** – capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos

**manutenção** - combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida.

**manutenção corretiva** - manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida.

**manutenção preditiva** - a manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva.

**manutenção preventiva** - manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item.

**operador** - pessoa que trabalha com o equipamento.

**operação** – combinação de todas as ações técnicas e administrativas destinadas a permitir que um item cumpra uma função requerida, reconhecendo-se a necessidade de adaptação na externas.

**planejamento tecnológico** - é o conjunto de ações adotadas pela administração/diretoria do hospital, com a finalidade de adequar as tecnologias

existentes no mercado às necessidades do hospital. Permite que aquisições e incorporações planejadas levem o hospital a se posicionar adequadamente no mercado de trabalho.

**plano diretor** - é o planejamento voltado para elaboração de atividades construtivas e de readequação, que irá permitir um dimensionamento das várias fases de execução de um projeto. Analisa resultados e necessidades de investimentos futuros, de forma a aumentar o faturamento sem que as alterações causem impacto negativo sobre o fluxo de caixa; uso da tecnologia em condições ideais.

**tecnologia** - é a aplicação do conhecimento de maneira sistemática e organizada.

**tecnologia em saúde** – envolve equipamentos médico-hospitalares, drogas, procedimentos clínicos, recursos humanos, etc.

**usuário** - responsável pela utilização do equipamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDUL-NOUR, G. et al. A reliability based maintenance policy; a case study. **Computers & Industrial Engineering**. V. 35, Issues 3-4, dec. 1998, p. 591-594.
- AGENCIA DE EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS SANITARIAS – AETS. **Guía para la Elaboración de Informes de Evaluación de Tecnologías Sanitarias**. Instituto de Salud Carlos III – Ministerio de Sanidad y Consumo, Madrid, Junio de 1999.
- ALBORNOZ, L. J. C. **Determinação do Ciclo de Vida Útil de Equipamentos Eletromédicos**. Florianópolis, 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- AMERICAN HOSPITAL ASSOCIATION - AHA **Maintenance Management for Medical Equipment**. Chicago, IL. 1996.
- AMERICAN HOSPITAL ASSOCIATION - AHA **Training Manual for Biomedical Equipment Technicians**. Chicago, IL. 1988.
- AMERICAN SOCIETY for ENGINEERING EDUCATION – ASEE. **The Role of Cooperative Education in the Training of Biomedical Engineers**. Blacksburg, Virginia, p. 1-3, 1978.
- ANCELLIN, J. Maintenance et obsolescence des dispositifs médicaux. **Ann Fr Anesth Réanim**, v. 18, 1999. p. 258-260.
- ANDERSON, J. T. A risk-related preventive maintenance system. **Journal of Clinical Engineering**, v. 17, jan/fev., 1992. p. 65-68.
- ANTÚNES, S. **Planejamento Estratégico para Substituição e Incorporação de Tecnologias na Área da Saúde**. Florianópolis, 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- ARCURI FILHO, R. O futuro conceito de manutenção. In: **XXIV Convención Panamericana de Ingenieros**. San José, Costa Rica, 1996.
- ARIZA, C. F. Manutenção preventiva - objetivos, desenvolvimento e aplicação. **Manutenção & Serviços**, Ano 1, n.5, jun/jul. 1988. p. 4-15.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO – ABRAMAN. **Documento Nacional 2001**. In: **Anais CD-Rom do XVI Congresso Brasileiro de Manutenção**. Florianópolis, SC, 2001.
- \_\_\_\_\_. **Situação da Manutenção no Brasil – CD-Rom**. Rio de Janeiro, RJ, 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Sistemas Centralizados de Gases Medicinais (Oxigênio, Ar e Óxido Nitroso) e Vácuo Medicinais em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde**, NBR 12188, Rio de Janeiro, 2001.
- \_\_\_\_\_. **Ventiladores Pulmonares para uso Medicinal**, NBR 13763, Rio de Janeiro, p. 17, 1996.
- \_\_\_\_\_. **Confiabilidade e Manutenibilidade – Terminologia**, NBR 5462, Rio de Janeiro, p. 37, 1994.
- AZEVEDO, C. Usando o OMC/RCM como sistema de gestão estratégica industrial. In: **Anais do III Seminário Brasileiro de Confiabilidade na Manutenção**. São Paulo, SP. 2000, p. 122-130.
- BALTAZAR, L. A. **ISO 9001 e Acreditação Hospitalar: Uma Experiência no Hospital Israelita Albert Einstein**. Florianópolis, 2002. Monografia (Trabalho de Conclusão de Estágio) - Centro Sócio Econômico/ Departamento de Ciências da Administração, Universidade Federal de Santa Catarina.
- BARBOSA, A. T. R. **Estudo de Custo para Implementar Centros de Engenharia Clínica em Unidades Hospitalares**. Florianópolis, 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- BARRIOS, V., MONTILA, G. & CERROLAZA, M. Avances Recientes en Bioingiería: Investigación Aplicada. IN: SÁNCHEZ, M. C., MIGUEL, A. & RODRIGUEZ, E. **Mantenimiento Orientado a Riesgo, en un Sistema de Gestión Tecnológica Hospitalaria**. Caracas, VZ: Gráficas León SRL, p. IC41-IC47. 1997.
- BAULD, T. J. **The Definition of Clinical Engineering**. Journal of Clinical Engineering, v. 16, p. 403-405, 1991.

- BEEHLER, M. E. Reliability centered maintenance for Transmission systems. **IEEE Transactions on Power Delivery**. v. 12, n. 2, April 1997, 1023-1028.
- BEN-ZVI, S. **An Urgent Plea for Realistic Preventive Maintenance Guidelines**. Medical Instrumentation, v.16, N.2, mar/apr, p. 115-116, 1982.
- BERGMAN, P. Reliability centered maintenance (RCM) applied to electrical switchgear. **IEEE**. 1999, p. 1164-1167.
- BESKOW, W. B. **Sistema de Informação para o Gerenciamento de Tecnologia Médico Hospitalar: Metodologia de Desenvolvimento e Implementação de Protótipo**. Florianópolis, 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- BLUMBERG, M. R. Technological developments and approaches to improving service quality. **Biomedical Instrumentation & Technology**, jan/feb. 1999. p. 35-44.
- BETING, J., 2001. **Engenharia de Musculação**. <http://www.manter.com.br/artigos/artigo.asp?id=20>, 2 p. (disponível em 10/12/2001).
- BRANCO FILHO, G. **Dicionário de Termos Técnicos de Manutenção e Confiabilidade**. Editora Ciência Moderna, Rio de Janeiro, RJ, 2000.
- BRONZINO, J. D. Technology Management. IN: \_\_\_\_\_. **Management of Medical Technology**. Stoheman, MA: Butterworth-Heinemann, p. 67-110, 1992.
- CALIL, S. J. & TEIXEIRA, M. S. Gerenciamento de Manutenção de Equipamentos Hospitalares. Editora Fundação Petrópolis, São Paulo, SP, 1998.
- CAMPBELL, C. A. Application of Deming Management Method to Equipment-Inspection Process. **Biomedical Instrumentation & Technology**, jul/aug. 1996. p. 331-339.
- CAPLAN, J. S. & BURROWS, W. Building an Analyst Based RCM Organization Within IP&L. **Reliability**, v. 6, n.2, June, p. 11-19, 1999.
- CAPUANO, M. & KORITKO, S. Risk-Oriented Maintenance - Increase the effectiveness of your PM program. **Biomedical Instrumentation & Technology**, jan/fev, p. 25-37, 1996.
- CARPIO, A et al. Curso de Planificación Estrategica en Mantenimiento. **V Jornadas Internacionales de Ingenieria y Mantenimiento Hospitalario**. Entre Rios, AR, 1999.

- CARPIO, A. & FLORES, J. M. Analisis y Propuesta para una Gestion de Mantenimiento Hospitalario. In: **Anales do 1er Congresso Latinoamericano de Ingenieria Biomédica**. Mazatlan, México, IC20-pp.475-480, 1998.
- CHAGAS, M. M. Engenharia de manutenção uma ferramenta ao alcance de todos. **TT009**, In: **Anais CD-Rom do XII Congresso Brasileiro de Manutenção**. São Paulo, SP, 1997.
- CHAVES, L. M. C. G. & CAVALCANTI, L. A. R. Inspeção Sensorial de Ronda – A Caminho da Falha Zero. **TT060**, In: **Anais CD-Rom do XIII Congresso Brasileiro de Manutenção**. Salvador, BA, 1998.
- COHEN, T. Validating Medical Equipment Repair and Maintenance Metrics, Part II: Results of the 1997 Survey. **Biomedical Instrumentation & Technology**, mar/apr. 1998. p. 136-144.
- COHEN, T. et al. Benchmark indicators for medical equipment repair and maintenance. **Biomedical Instrumentation & Technology**, july/aug. 1995. p. 308-321.
- CROCKER, J. & KUMAR, U. D. Age-related maintenance versus reliability centred maintenance: a case study on aero-engines. **Reliability Engineering and System Safety**. (67) 2000, p. 113-118.
- CRUZ, E. H. & PÉREZ, E. N. **Sistema de cálculo de indicadores para el mantenimiento**. <http://www.mantenimientomundial.com/textos/articulos.htm>, Revista N. 6, 2001, p. 7-11, (disponível em 30/01/2002).
- D'ADDIO, G. F. et al. Reliability centered maintenance: a solution to optimise mass transit system cost effectiveness. **International Conference on Developments in Mass Transit Systems**. April, 1998, 211-216.
- D'ADDIO, G. F. et al. Optimized reliability centered maintenance: of vehicles eletrical drives for high speed railway applications. **IEEE**. 1997, 555-560.
- DE ROCCO, E. **Definição de Procedimentos para Levantamento de Produtividade e Eficiência em Serviços de Manutenção de Equipamentos Eletromédicos - EEM**. Florianópolis, 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.

- DOLAN, A. M. Risk Management and Medical Devices. **Biomedical Instrumentation & Technology**, jul/aug. 1999. p. 331-333.
- DUNN, S.; 1998. **Reinventing The Maintenance Process – Towards Zero Downtime**. <http://www.maintenanceresources.com/References/MaintenanceManagement/Reinventing.shtml?id=19524>, (disponível em 11/01/2002).
- DUNN, S.; 1997. **Maintenance terminology – some key terms**. <http://www.maintenanceresources.com/ReferencesLibrary/MaintenanceManagement/KeyTerms.htm>, (disponível em 11/01/2002).
- DURÁN, J. B., 2001 **Haciendo que el RCM trabaje para su empresa**. <http://www.mantenimientomundial.com/textos/articulos.htm>, Revista N. 7, p. 6-10, (disponível em 30/01/2002).
- EISINGER, S. & RAKOWSKY, U. K. Modeling of uncertainties in reliability centered maintenance – a probabilistic approach. **Reliability Engineering and System Safety**. (71) 2001, p. 159-164.
- EMERGENCY CARE RESEARCH INSTITUTE – ECRI, Trends in Medical Equipment Service. **Health Devices**, v(26), n.6, jun. 1997a, p. 246-253.
- \_\_\_\_\_, Medical Equipment Planning. **Health Devices**, v(26), n.1, jan. 1997b, p. 4-12.
- \_\_\_\_\_, Facilities Construction: Involving the Clinical Engineer. **Health Devices**, v(25), n.1, jan. 1996, p. 21-24.
- \_\_\_\_\_, **Health Devices Inspection and Preventive Maintenance System, Third Edition**. Plymouth Meeting, PA, USA, 1995, 215 p.
- ESPERANÇA, C. G. **Estudo de Metodologias para Gerenciamento de Ventiladores Pulmonares**. Florianópolis, 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- FERREIRA, F. R. **Proposta de Implementação em Estruturas de Engenharia Clínica**. Florianópolis, 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- FLEMING, P. V. Implementando a MCC em um Ambiente TPM. In: **Anais do III Seminário Brasileiro de Confiabilidade na Manutenção**. São Paulo, SP. p. 76-86, 2000.

- FLEMING, P. V. & FRANÇA, S. R. R. Considerações Sobre a Implementação Conjunta de TPM e MCC na Indústria de Processos. **TT044, In: Anais CD-Rom do XII Congresso Brasileiro de Manutenção**. São Paulo – SP, 1997.
- GALEANO, J. C. V. **Procedimentos de Aquisição de Equipamentos Médico-Assistenciais: Uma Ferramenta Computadorizada de Apoio**. Florianópolis, 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- GEDDES, L. A. & SALVENDY, G. Evaluation of Product Failure Rates for Litigation. **Biomedical Instrumentation & Technology**, sep/oct. 1999. p. 417-422.
- GERAGHETY, T. **Obtendo Efetividade do Custo de Manutenção Através da Integração das Técnicas de Monitoramento de Condição, RCM e TPM**. Maintenance Magazine, vol. 11, nº 1, jan/fev, UK, 1996.
- GLOUHOVA, M., et al. International Survey of Clinical Engineering Department. **Proceedings of the European Medical & Biological Engineering Conference – EMBEC '99 – PART I**. Viena, Austria, pp.632-633. IN: Medical & Biological Engineering & Computing. Vol.7 sup.2, 1999.
- GOODFELLOW, J. W. Applying reliability centered maintenance (RCM) in overhead electric utility distribution systems. **IEEE**. 2000, p. 566-569.
- GOUWS, J. & GOUWS; L. E. 1997. **Optimised Combination of Maintenance Types**. <http://www.metal.ntua.gr/msslabs/MineIT97/papers/DiscOpen.html> First International Conference on Information Technologies in The Minerals Industry (via internet) – MineIT'97.
- GULLIKSON, M. L. Risk Factors, Safety, and Management of Medical Equipment. IN: Bronzino, J. D. **The Biomedical Engineering Handbook**. USA: CRC Press, Inc. p. 2524, 1995.
- HAUGE, B. S. & JOHNSTON, D. C. Reliability centered maintenance and risk assessment. **Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium – IEEE**. 2001; p. 36-40.
- HAUGE, B. S. et al. Reliability-centered maintenance on the space shuttle program. **Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium – IEEE**. 2000; p. 311-316.

- HENZ, L. **Metodologia para Caracterização do Envelhecimento de Equipamentos**. Florianópolis, 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- HERTZ, E. New standard for Medical Equipment Managements Programs. **Biomedical Instrumentation & Technology**, may/jun. 1996, p. 285-290.
- HERTZ, E. **Establishing the Priority of Equipment Inspections**. *Biomedical Instrumentation & Technology*, v. 24, nov/dez, p. 410-16, 1990.
- HIPKIN, I. B. & DE COCK, C. TQM and BPR: lessons for maintenance management. **Omega – The International Journal of Management Science**. (28) 2000, p. 277-292.
- HIRAIWA, G.L. **Metodologia para Determinação do Período de Manutenção Preventiva em Equipamentos Eletromédicos**. Florianópolis, 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- HOLLICK, L. J. & NELSON, G. N. Rationalizig sheduled-maintenance requirements using reliability centered maintenance – A Canadian Air Force perspective. **Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium – IEEE**. 1995; p. 11-17.
- HUALLPA, B. N. **Metodologia de Avaliação de Uso e Manutenção de Equipamentos em Hospitais de Até 100 Leitos – Uma aplicação no Centro Médico de Campinas**. Campinas, 1994. Dissertação, Universidade Estadual de Campinas.
- INSTITUTO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA – IEB-UFSC (2001), Saúde sob Vigilância, **Revista On Line**. Disponível em: <http://www.ieb.ufsc.br>. Acessada em 15/02/2002.
- JAMES, P. J. Equipment management risk rating system based on engineering endpoints. **Biomedical Instrumentation & Technology**, mar/apr. 1999. p. 115-120.
- JOHNSTON, D. C. Simulation in RCM training. **Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium – IEEE**. 2001; p. 235-239.
- JOHNSON, M. D. & MORRISON, M. Planning: Technology Re-engineering. **Journal Healthcare Resource Management**, v. 13(2), feb. 1995. p. 28-31.

- KARDEC, P. & NASCIF, J. **Manutenção – Função estratégica**. Editora Qualitymark, Rio de Janeiro, RJ, 1999.
- KARMAN, J. **Manutenção Hospitalar Preditiva**. Editora Pini, São Paulo, SP, 1994.
- KECECIOGLU, D. **Maintainability, Availability & Operacional Readiness Engineering**. Prentice Hall – V1, Upper Saddle River, NJ, 1995.
- KENDALL, E. B.; CRONK, J. W. & WHITE, R. N. Real-time flexible preventive maintenance scheduling. **Biomedical Instrumentation & Technology**, v. 27, nov/dez. 1993. p. 16-20.
- KIEFFER, R. G. Validation and the human element. **PDA Journal of Pharmacy Science Technology**, v. 52(2), mar/abr. 1998. p. 52-54.
- KLEIN, R. The human factors impact of an expert system based reliability centered maintenance program. **IEEE**, 1993, p. 241-245.
- KRISTENSEN, F. B., HORDER, M. & POULSEN P. B. **Health Technology Assessment Handbook**. Danish Institute for Health Technology Assessment, 2001.
- LAFRAIA, J. R. B. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. Editora Qualitymark, Rio de Janeiro, RJ, 2001.
- LAMBERTI, C. et al. A new model to estimate the appropriate staff for a clinical engineering department. **Journal of Clinical Engineering**, sep/oct. 1997. p. 335-341.
- LePree, J. Equipment Analysis and New Methods Reap Dramatic Improvement, **Reliability Centered Maintenance**, April - 1996.
- LODGE, D. A. Equipment Performance Testing: Frequency & Detail. **Journal of Clinical Engineering**, v. 18(2), mar/apr. 1993. p. 135-138.
- LUCATELLI, M.V.; BESKOW, W.B & GARCIA, R. Gestão da Confiabilidade Tecnológica no Ambiente Hospitalar. In: **XVI Congresso Brasileiro de Manutenção & XI Congresso Ibero-Americano de Manutenção**, Florianópolis, 2001.
- LUCATELLI, M. V. **Estudo de Procedimentos de Manutenção Preventiva de Equipamentos Eletromédicos**. Florianópolis, 1998. Dissertação (Mestrado

em Engenharia Elétrica) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.

LUCATELLI, M. V. & GARCIA, R. Procedimentos de Manutenção Preventiva de Equipamentos Eletromédicos. **In: Anales do XII Congresso Chileno de Ingeniería Eléctrica**. vol. II. Temuco, Chile, p.708-711, 1997.

MCNALLY, K.M.; PAGE, M.A. & SUNDERLAND, B. Failure-modes and effects analysis in improving a drug distribution system. **Am Journal Health System and Pharmacy**, v. 54(2), jan 15. 1997. p. 171-177.

MARTINS, M. C., et al. Uma Proposta de Priorização de Equipamentos Médico-Hospitalares para manutenção preventiva. **Revista Brasileira de Engenharia**, 7:2:561-71, 1990.

MARTORELL, S. et al. The use of maintenance indicators to evaluate the effects of maintenance programs on NPP performance and safety. **Reliability Engineering and Systems Safety**. (65) 2000, p. 85-94.

MATA FILHO, J. N., MIRANDA, C. F. & LIMA, C. E. Manutenção Baseada em Confiabilidade e Controle de Custos de Manutenção – Um Time de Sucesso na Indústria Aeronáutica. **TT040, In: Anais CD-Rom do XIII Congresso Brasileiro de Manutenção**. Salvador, BA, 1998.

McPHERSON, S. P. Pneumatically driven, electronically controlled adult ventilators. In: **Respiratory Care Equipment**. St. Louis, Missouri: Mosby-Year Book, Inc., 1995, p. 260-320.

MINAYO, M. C. S. **O Desafio do Conhecimento – Pesquisa qualitativa em saúde**. 6. ed. Editora Hucitec-Abrasco, São Paulo, SP, 1999.

MIRSHAWKA, V. **Qualidade, Confiabilidade e Manutenibilidade**. Electron, junho, p. 36-48, 1989.

MOBLEY, K.; June/1998. **The Role of PdM in Asset Care – A technology that tells you what you need to do**. <http://www.palantservices.com/protectd/ps698/mobley.html>

MOUBRAY, J. A Questão Contra o RCM Simplificado. **SQL Systems Brasil**, 2000. 10 p.

MOUBRAY, J.; 1998a. **Maintenance Management – A New Paradigm**. <http://www.maintenanceresource.com/ReferencesLibrary/RCM/MaintParadigm.htm>

- MOUBRAY, J.; 1998b. **Tutela Responsável – A Missão da Manutenção**.  
<http://www.rcm2.com.br/sql-RCM2-tutela.html>
- MOUBRAY, J. **Reliability-Centered Maintenance**. 2nd ed - Woodbine, NJ Industrial Press Inc., 1997.
- MOUSSAVI, S. & WHITMORE, K. Review of scheduled performance assurance inspections. **Journal of Clinical Engineering**, v. 18, mar/abr. 1993. p. 159-64.
- NAGAO, S. K. **Apostila do Workshop RCM/MCC - Manutenção Centrada em Confiabilidade**. São Paulo, SP. março 2001.
- NAGAO, S. K. World Class Reliability – Gerenciamento Classe Mundial de Confiabilidade. In: **Anais do III Seminário Brasileiro de Confiabilidade na Manutenção**. São Paulo, SP. p. 167-192, 2000.
- NETHERTON, D. Um Novo Padrão SAE para RCM. **Manutenção y Qualidade**, n.36, p.44-48, 2001. ISSN 1413-4659.
- NEPOMUCENO, L. X. **Técnicas de Manutenção Preditiva**. São Paulo, SP: Edgard Blücher LTDA, v.1, 1989.
- O'DEA, T. J. et al. Improving video-endoscope reliability at a large university hospital. **Biomedical Instrumentation & Technology**, nov/dez. 1997. p. 579-589.
- PALADY, P. **Análise dos Modos de Falha e Efeitos, Prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram**. Instituto IMAM, São Paulo, 1997.
- PASSEY, R. D. Foresight begins with FMEA. Delivering accurate risk assessments. **Medical Device Technology**, mar:10(2). 1999. p. 88-92.
- PATTON JR, J. D. **Maintainability & Maintenance Management**. 3rd ed - Instrument Society of America, 1994.
- PEDROSO, J. C. L. & FERREIRA FILHO, J. A. Desenvolvimento de um Programa de Segurança Elétrica e Avaliação de Desempenho para Equipamentos Eletromédicos Baseado nas Normas da Família NBR IEC 60601. In: **XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica – CBEB'2000**, Florianópolis, v.01. p.449-454, 2000.
- PENTÓN, Y. B. & MARTÍNEZ, E. M. P., 2001 **Procedimiento para la Selección de Alternativas de Mantenimiento para Activos Fijos Hospitalarios**.

<http://www.mantenimentomundial.com/textos/art-5procedimiento.htm>,  
Revista N. 5, (disponível em 30/01/2002).

- PEREIRA, F. J. D. & SENA, F.M. V. Modelo funcional de manutenção centrada na confiabilidade. **TT067**, In: **Anais CD-Rom do XVI Congresso Brasileiro de Manutenção**. Florianópolis, SC, 2001.
- PINTO, A. K. Gestão Estratégica da Manutenção. **TT083**, In: **Anais CD-Rom do XIII Congresso Brasileiro de Manutenção**. Salvador, BA, 1998.
- PUJADAS, W. & CHEN, F. F. A reliability centered maintenance strategy for a discrete part manufacturing facility. **Computers & Industrial Engineering**. V. 31, Issues 1-2, 1996, p. 241-244.
- QUEIROZ, H. L. **Manutenção em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica**. Florianópolis, 1988. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- RAJOTTE, C. & JOLICOEUR, A. Reliability centered maintenance implementation in Hydro-québec Transmission System. **IEEE**. 2000, p. 375-381.
- RAMÍREZ, E. F. F.; CALDAS, E. C. & JÚNIOR, P. R. S. **Manual Hospitalar de Manutenção Preventiva**. HURNP-UEL, Londrina, PR, 2002.
- RAMÍREZ, E.F.F. **Metodologia de Priorização de Equipamentos Médicos para Programas de Manutenção Preventiva em Hospitais**. Campinas, 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas.
- REDER, W. & FLATEN, D. Reliability centered maintenance for distribution underground systems. **IEEE**. 2000, p. 551-556.
- RHINE, K. & FODOR, J. Assessing Equipment Repair and Asset Management. **Administrative Radiology Journal**. May, 1998, p. 22-25.
- RIDGWAY, M. Classifying Medical Devices According to Their Maintenance Sensitivity: A Practical, Risk-Based Approach to PM Program Management. **Biomedical Instrumentation & Technology**, may/jun. 2001, p. 167-176.
- SAKURADA, E. Y. **As Técnicas de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos e Análise da Árvore de Falhas no Desenvolvimento e na Avaliação de Produtos**. Florianópolis, 2001. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.

SALES, N. P. Aplicação de RCM2 na Petrobrás/Replan. In: **Anais do III Seminário Brasileiro de Confiabilidade na Manutenção**. São Paulo, SP. p. 37-74, 2000.

SANTOS, R. A. L. **Sistemas Centralizados de Gases e Vácuo Medicinais – Uma Abordagem para o Gerenciamento da Tecnologia Médico-Hospitalar**. Florianópolis, 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.

SANTOS, M. S. R. S. **Projeto de Oficina para Manutenção de Equipamentos Biomédicos**. João Pessoa, 1998. Monografia (Especialidade em Engenharia Clínica) - Centro de Ciências da Saúde, Universidade Federal da Paraíba.

SAÚDE – MINISTÉRIO DA SAÚDE, **Capacitação a Distância em Gerenciamento da Manutenção de Equipamentos Médico-Hospitalares**. Carta Convite 02/2000, Brasil, 2000.

\_\_\_\_\_, **Segurança no Ambiente Hospitalar: Saúde e Tecnologia**, Brasília, p. 60, 1995.

\_\_\_\_\_, **Normas para Projetos Físicos de Estabelecimentos Assistenciais de Saúde: Instalações Fluido-Mecânicas**, Portaria 1884, Brasília, 1994.

\_\_\_\_\_, **Equipamentos para Estabelecimentos Assistenciais de Saúde: Planejamento e Dimensionamento**, Brasília, p. 19-21, 1994.

SHERWIN, D. J. A construtive critique of reliability-centered maintenance. **Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium – IEEE**. 1999; p. 238-244.

SILVA, H. P. **Sistema Microcomputadorizado para a Avaliação de Desempenho de Ventiladores Pulmonares**. Florianópolis, 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.

SILVA, C. J. Implantação de Manutenção Centrada em Confiabilidade em Máquina de Corte de Tubos de Aço. **TT025**, In: **Anais CD-Rom do XIII Congresso Brasileiro de Manutenção**. Salvador, BA, 1998.

- SIMMONS, D. A. & WEAR, J. O. **Clinical Engineering Manual**. North Little Rock, AR, Scientific Enterprises, 3ª edição, 1988.
- SINCOK, H. J. & AMARAL, R. V. Compartilhando Informações Operacionais com a Manutenção para a Melhoria da Confiabilidade. In: **Anais do III Seminário Brasileiro de Confiabilidade na Manutenção**. São Paulo, SP. p. 22-36, 2000.
- SIQUEIRA, K. T. Tutela Responsável de Ativos Físicos. In: **Anais do III Seminário Brasileiro de Confiabilidade na Manutenção**. São Paulo, SP. p. 111-120, 2000.
- SMITH, Anthony M. **Reliability-Centered Maintenance**. USA: McGraw-Hill, Inc. , 1993.
- SMITH et al. Using reliability-centered maintenance to support corporate Tqm objectives. **Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium – IEEE**. 1991, p. 101-107.
- SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS (SAE). **Evaluation Criteria for Reliability-centered Maintenance (RCM) Processes**, SAE JA1011, Warrendale, PA, p. 10, Aug. 1999.
- SU, k. et al. Knowledge architecture and framework design for preventing human error in maintenance tasks. **Expert Systems with Applications**. (19) 2000, p. 219-228.
- TAVARES, L., 2001. **Manutenção centrada no negócio (Business Centered Maintenance)**. <http://www.manter.com.br/Artigos/artigo.asp?id=49>, 10 p. (disponível em 10/12/2001).
- TAVARES, L. A. **Excelência na Manutenção**. Casa da Qualidade, 2. Ed., Salvador, BA, 1996.
- TESDAHL, S., A., & TOMLINGSON, P., D.; 1997. **Equipment Management Breakthrough Maintenance Strategy for the 21st Century**. <http://www.metal.ntua.gr/msslabs/MinellT97/papers/TS06/TS06.html>
- TORRESCANO, F. G. **Análise para a Utilização do QDF na Manutenção Centrada em Confiabilidade RCM**. Rio de Janeiro, 1999. Dissertação (Mestrado em Computação) – Departamento de Sistemas e Computação, Instituto Militar de Engenharia.

- TRAN, T. G. Use of Maintenance Insurance to Minimize Costs. **Journal of Clinical Engineering**, v. 19, mar/abr. 1994. p. 143-147.
- VATN, J. Maintenance optimisation from a decision theoretical point of view. **Reliability Engineering and System Safety**. (58) 1997, p. 119-126.
- VENEZIANO, W. H. **Estudo para Dimensionamento de Centros Regionais de Engenharia Clínica em Santa Catarina**. Florianópolis, 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- VERRI L. A. Sucesso em Paradas de Manutenção. **TT063, In: Anais CD-Rom do XIII Congresso Brasileiro de Manutenção**. Salvador – BA, 1998.
- VIZZONI, E. et al. Aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade na Revisão do Programa de Manutenção de Disjuntores e Seccionadores de Alta Tensão. **GMI-004, In: Anais do XVI Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica**. Campinas, SP, 2001.
- VIZZONI, E. et al. Projeto Piloto de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) Subestação de Adrianópolis – Setor de 500kV. **TT048, In: Anais CD-Rom do XIV Congresso Brasileiro de Manutenção**. Foz do Iguaçu, PR, 1999.
- VIZZONI, E. **Manutenção Centrada em Confiabilidade – Avaliação de sua Aplicabilidade e Adaptação a Subestações de Energia Elétrica**. Rio de Janeiro, 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- WEAR, J. O. Technology and the Future of Medical Maintenance. **Health State Journal**, may. 1999, p. 12-19.
- WEBSTER, J. G. & COOK, A. M. Clinical Engineering: Principles and Practices. IN: TOPHAM, W. S. **Preventive Maintenance and Repair**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice - Hall, Inc. p. 279-307, 1979.
- WILLIS, G. Failure Modes and Effects Analysis in Clinical Engineering. **Journal of Clinical Engineering**, v. 17(1), jan/feb. 1992. p. 59-63.

- WYREBSKI, J. **Manutenção Produtiva Total – Um Modelo Adaptado.** Florianópolis, 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO “**Maintenance and Repair of Laboratory, Diagnostic Imaging, and Hospital Equipment**”. Switzerland, 1994.
- XAVIER, J. N. 2001. **Indicadores na Manutenção – parte VI.** <http://www.manter.com.br/Artigos/>, (disponível em 10/12/2001).
- XAVIER, J. N. 2000. **Manutenção – Tipos e Tendências.** <http://www.manter.com.br/Artigos/>, (disponível em 10/12/2001).
- XU, Y. The Art and Science of Troubleshooting Medical Equipment: A Model for Troubleshooting Medical Equipment Down to the Component Level. **Biomedical Instrumentation & Technology**, mar/apr. 1997. p. 129-136.
- ZANIBONI, R. **Planejamento Estratégico para uma Estrutura de Engenharia Clínica para Santa Catarina.** Florianópolis, 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.