

**GLADSTON LUÍS HIRAIWA**

**METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DO  
PERÍODO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA EM  
EQUIPAMENTOS ELETROMÉDICOS**

**FLORIANÓPOLIS**

**2001**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA**  
**ELÉTRICA**

**METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DO**  
**PERÍODO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA EM**  
**EQUIPAMENTOS ELETROMÉDICOS**

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

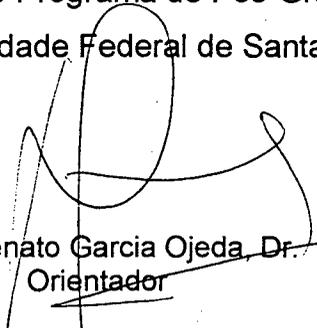
**GLADSTON LUÍS HIRAIWA**

Florianópolis, Abril, 2001

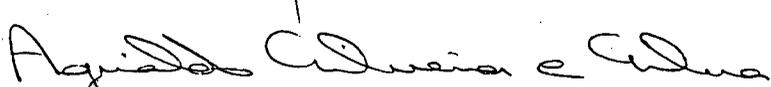
# METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DO PERÍODO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA EM EQUIPAMENTOS ELETROMÉDICOS

Gladston Luís Hiraiwa

'Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre 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.'

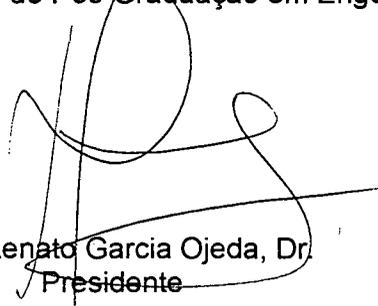


Prof. Renato Garcia Ojeda, Dr.  
Orientador



Prof. Agnaldo Silveira e Silva, EE. Ph. D.  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

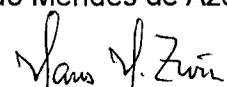
Banca Examinadora:



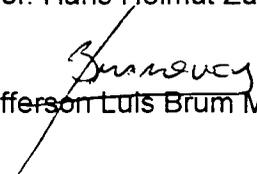
Prof. Renato Garcia Ojeda, Dr.  
Presidente



Prof. Fernando Mendes de Azevedo, E.E., Dr.



Prof. Hans Helmut Zum, Ph.D.



Prof. Jefferson Luís Brum Marques, Ph.D.

# *Dedicatoria*

A meus pais, Mario e Elia  
pela dedicação e apoio constantes à  
minha vida profissional.

À Cristalina Yoshie  
pelo estímulo, compreensão e incentivo  
permanente à realização deste trabalho.

# *Agradecimentos*

*A Deus por ter conseguido mais uma vitória dentre muitas que tenho conquistado.*

*A todos os professores, doutorandos, mestrandos, bolsistas e funcionários que colaboraram com meu crescimento pessoal e acadêmico enfim ao GPEB onde conheci pessoas maravilhosas.*

*Ao CNPq pela bolsa de estudo e a UFSC pelas instalações, possibilitando o desenvolvimento dessa pesquisa.*

*Por fim agradeço a Kleide, Marcos, Claudinéia, Luiz Antônio e a todos que estiveram ao meu lado apoiando em algum momento, durante os créditos ou na fase de dissertação. Levo comigo a lembrança e amizade que fiz durante o período do desenvolvimento deste trabalho.*

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

# **METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DO PERÍODO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA EM EQUIPAMENTOS ELETROMÉDICOS**

**Gladston Luís Hiraiwa**

Abril/2001

Orientador: Renato Garcia Ojeda, Dr.

Área de Concentração: Engenharia Biomédica

Palavras-chave: engenharia clínica, manutenção preventiva, período da inspeção, equipamentos eletromédicos, priorização de equipamentos.

Número de Páginas: 92.

Cada vez mais, em instituições de saúde, estão se usando equipamentos para monitorização, terapia e suporte à vida do paciente. Conseqüentemente, cresce a dependência dessa tecnologia, exigindo maior confiabilidade dos equipamentos. A fim de contribuir no gerenciamento dessa tecnologia, este trabalho apresenta uma proposta de metodologia para determinar o período em que deve ser realizada a manutenção preventiva em equipamentos eletromédicos evitando a aplicação indeterminada destes procedimentos, já que estudos mostram que menos de 10% das manutenções preventivas foram realmente efetivas. Inicialmente, são determinados períodos para a realização da manutenção preventiva para cada "tipo" de equipamento, e os ajustes são feitos através da análise do histórico de manutenções recentes de cada equipamento. Também são apresentadas e comparadas algumas metodologias para priorização de equipamentos. Essas metodologias podem auxiliar as estruturas de engenharia clínica a distribuir a carga de trabalho nos equipamentos mais importantes dentro do hospital, pois, geralmente, os recursos financeiros e humanos são limitados.

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

## **METHODOLOGY FOR THE DETERMINATION OF PREVENTIVE MAINTENANCE PERIOD IN ELECTROMEDICAL EQUIPMENTS**

**Gladston Luís Hiraiwa**

April/2001

Advisor: Renato Garcia Ojeda, Dr.

Area of Concentration: Biomedical Engineering

Keywords: clinical engineering, preventive maintenance, inspection period, electromedical equipment, priority of equipments.

Number of Pages: 92.

Nowadays, health institutions are increasingly using, every time more, equipment for monitoring, therapy and support to the patient's life. Consequently grows the dependence of this technology, demanding great equipment reliability. In order to contribute to the management of this technology, this work presents a proposal methodology trying to determine the optimal period for preventive maintenance for electromedical equipment. Our recent studies show that less than 10% of the performed preventive maintenance were really effective. Initially, periods are determined for the preventive maintenance for each "type" of equipment and, the adjustment are made through the analysis of the history of recent maintenance performance of each equipment. Also are presented and compared some methodologies to establish the priority of equipments. These methodologies can assist the clinical engineering department to distribute the workload in the more critical equipment inside a hospital, because generally the financial and human resources are limited.

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	13
1.1 OBJETIVO GERAL	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.3 JUSTIFICATIVAS DA PESQUISA	16
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	18
<b>2. ESTADO DA ARTE</b>	20
2.1 – INTRODUÇÃO	20
2.2 – MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS	20
2.2.1 – <i>Etapas da Manutenção Preventiva</i>	24
2.2.2 – <i>Níveis de Manutenção Preventiva</i>	25
2.3 – FALHA E DEFEITO	26
2.3.1 – <i>Classificação das Falhas</i>	26
2.3.2 – <i>Tipos de Padrões de Modos de Falhas</i>	28
2.3.3 – <i>Classificação dos defeitos</i>	29
<b>3. PRIORIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS PARA PROGRAMAS DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA</b>	31
3.1 MÉTODOS DE PRIORIZAÇÃO	32
3.1.1 <i>Método de Martins (1990)</i>	32
3.1.2 <i>Método de Hertz (1990)</i>	37
3.1.3 <i>Método AHA (1996)</i>	39
3.1.4 <i>Método ROMSYS ou de Capuano/Koritko (1996)</i>	40

3.1.5 Método de James (1999)	41
3.2 COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS	42
<b>4. METODOLOGIA</b>	<b>45</b>
4.1 INTRODUÇÃO	45
4.2 CADASTRAMENTO DOS EQUIPAMENTOS	46
4.3 PRIORIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS	48
4.4 ESTABELECIMENTO DE CRITÉRIOS DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA	48
4.4.1 <i>Elaboração de Roteiros de Manutenção Preventiva</i>	50
4.4.2 <i>Determinação do Intervalo da Manutenção Preventiva</i>	51
4.5 REGISTRO DO HISTÓRICO DAS MANUTENÇÕES	53
4.6 ANÁLISE DO INTERVALO DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA PARA CADA EQUIPAMENTO	54
4.6.1 <i>Ajuste do Intervalo da Manutenção Preventiva</i>	55
4.7 – CARACTERIZAÇÃO DA METODOLOGIA	58
4.7.1 – <i>Priorização de equipamentos eletromédicos</i>	59
4.7.2 – <i>Manutenção Preventiva</i>	61
4.7.3 – <i>Estudo de casos</i>	63
<b>5. CONCLUSÕES</b>	<b>68</b>
5.1 MAIORES DIFICULDADES	70
5.2 TRABALHOS FUTUROS	71
<b>ANEXO 1</b>	<b>74</b>
DESCRIÇÃO DA CATEGORIA DE CRITÉRIOS DE RISCO SEGUNDO A AHA	74
<b>ANEXO 2</b>	<b>76</b>

CRITÉRIO DO NÍVEL DE RISCO SEGUNDO O ROMSYS _____	76
<b>ANEXO 3</b> _____	79
PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA (LUCATELLI, 1998). _____	79
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> _____	82
<b>GLOSSÁRIO</b> _____	90

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – TIPOS DE MANUTENÇÃO _____	21
FIGURA 2.2 – TIPOS DE PADRÕES DE MODOS DE FALHAS _____	28
FIGURA 4.1 – FICHA DE CADASTRO DE EQUIPAMENTO _____	47
FIGURA 4.2 – FLUXOGRAMA DAS REGRAS _____	58
FIGURA 4.3 - HISTÓRICO DAS MANUTENÇÕES ANTES DAS REGRAS DE AJUSTE DO INTERVALO. _____	63
FIGURA 4.4 – MANUTENÇÕES COM O AJUSTE DO INTERVALO DA MP (APLICAÇÃO DAS REGRAS). _____	65
FIGURA 4.5 – HISTÓRICO DAS MANUTENÇÕES _____	66
FIGURA 4.6 – HISTÓRICO DAS MANUTENÇÕES COM A APLICAÇÃO DAS REGRAS A PARTIR DE MAR/99. _____	66
FIGURA 4.7 – MANUTENÇÕES OCORRIDAS ENTRE SET/99 A NOV/00. _____	67

## LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 – RISCO PERCEBIDO _____	38
TABELA 4.1 – INTERVALO DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA SUGERIDA PELA AHA _____	52
TABELA 4.2 – CRITÉRIOS DE PRIORIZAÇÃO PARA UM VENTILADOR PULMONAR _____	60
TABELA 4.3 – CLASSIFICAÇÃO DOS VALORES SEGUNDO O CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO _____	60
TABELA 4.4 – FREQUÊNCIA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA POR ANO _____	61
TABELA 4.5 – RELAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DA UTI CC SUBMETIDOS AO PROCEDIMENTO _____	62

# 1. INTRODUÇÃO

Desde que o homem passou a habitar a Terra, desenvolveu equipamentos para que o auxiliassem em seus trabalhos diários. Isso ocorreu de forma mais ou menos lenta até o século XIX, durante a Revolução Industrial, quando houve um aumento significativo no desenvolvimento dessas máquinas. O surgimento de equipamentos cada vez mais complexos obrigou, então, ao melhoramento das instalações industriais, ao treinamento dos usuários e, sobretudo, ao aperfeiçoamento das técnicas de manutenção desses maquinários.

Nos últimos anos, os equipamentos na área médica tiveram grande desenvolvimento, difundindo-se de tal forma que, em instituições de saúde, cada vez mais estão se usando aparelhos para monitorização, terapia e suporte à vida do paciente. Assim, o médico, que antes tratava seus pacientes baseando-se quase que totalmente na sua experiência e intuição, passou a depender enormemente dessas novas tecnologias, conseqüentemente, uma maior confiabilidade passou a ser exigida dos equipamentos.

A fim de melhorar a confiabilidade nos equipamentos, investimentos devem ser realizados no treinamento constante dos usuários, na melhor qualificação da equipe clínica e técnica, nas políticas eficientes de manutenção e compras adequadas de novos equipamentos. Especificamente em relação ao último aspecto, sabe-se que, na realidade, a aquisição de novos equipamentos geralmente é demorada e difícil e, para dificultar ainda mais, a grande maioria das instituições, especialmente as públicas, utilizam os equipamentos de forma incorreta.

Para minimizar ou até mesmo eliminar esses problemas, alguns procedimentos devem se tornar rotina tanto para o pessoal técnico quanto pelos usuários, os quais vão desde a limpeza do aparelho até a sua retirada para manutenção. Sobretudo, em vista da dificuldade de compra de novos equipamentos atualmente e dos seus altos custos, tenta-se investir em treinamentos da equipe técnica, procurando otimizar procedimentos, e na adaptação de técnicas de manutenção, principalmente a preventiva, da indústria para a saúde (LUCATELLI, 2000). Através da manutenção preventiva, procura-se acompanhar as condições de operação dos equipamentos e, assim, realizar previsões e evitar falhas.

Portanto, a manutenção tornou-se um dos principais pontos em estudos de confiabilidade (ROLIM, 1997) (LUCATELLI, 2000). Vários estudos têm sido feitos tentando estabelecer métodos para melhorar o gerenciamento da manutenção dos equipamentos médicos, buscando desenvolver políticas que possam ser aplicadas à maioria dos equipamentos, com redução dos custos, mas sem comprometer a eficiência. Porém, algumas variantes, como a diversidade de equipamentos existentes nos hospitais e a variada tecnologia de software e hardware, dificultam a elaboração de metodologias. E, para comprometer ainda mais o gerenciamento, equipamentos iguais podem ser submetidos a condições de tempo e uso diferentes dentro do hospital.

Levando em consideração as condições de tempo e uso de cada equipamento, e restringindo para os equipamentos mais importantes determinados pelo hospital e pela estrutura de engenharia clínica, apresenta-se neste trabalho uma proposta de metodologia para auxiliar no gerenciamento de equipamentos médicos.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo principal deste trabalho é apresentar uma proposta de metodologia para a determinação dos intervalos entre as manutenções preventivas dos equipamentos eletromédicos<sup>1</sup> analisando o histórico desses equipamentos. Com isso, pretende-se otimizar os recursos humanos e financeiros na execução de manutenções preventivas em alguns equipamentos existentes nos hospitais.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Este trabalho pretende determinar o período para a realização da manutenção preventiva de alguns equipamentos eletromédicos, analisando manuais de fabricantes e recomendações de instituições que lidam com os mesmos. Procura-se determinar, inicialmente, o período para a manutenção preventiva para alguns equipamentos; posteriormente, com base nas regras da metodologia e no histórico de cada equipamento, o período é ajustado para cada tipo de tecnologia médica.

Visa-se, também, apresentar algumas metodologias de priorização para equipamentos e compará-las entre si. Para auxiliar no planejamento da execução

---

<sup>1</sup> 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 (ABNT, 1994).

de programas de manutenção preventiva, aplica-se um critério de priorização buscando determinar quais são os equipamentos mais importantes dentro de um hospital.

### **1.3 JUSTIFICATIVAS DA PESQUISA**

Nos últimos anos, a manutenção de equipamentos vem desempenhando uma função cada vez mais importante em virtude, sobretudo, da escassez de novos recursos para investimentos no parque tecnológico existente em empresas e indústrias. Isso ocorre principalmente nos hospitais do Brasil, onde o orçamento financeiro, quando existe, é muito pequeno. Por isso a necessidade de cada vez mais otimizar métodos e processos, reduzindo os custos, porém mantendo o bom desempenho dos equipamentos e/ou sistemas, além da qualidade dos serviços. Periodicamente, devem-se fazer manutenções preventivas para verificar o seu correto funcionamento, ajustar caso apresentem desvios na calibração ou, até, trocar as peças que estão gastas e poderão apresentar falhas num futuro próximo.

A manutenção tem como função “manter ou restabelecer um bem dentro de um estado específico ou como uma medida para assegurar um determinado serviço” (MIRSHAWAKA & OLMEDO, 1993). Em empresas modernas, existe uma Gerência de Manutenção, que é reconhecida como contribuinte para o lucro da empresa. Ela tem como objetivo maximizar a produção (disponibilidade) com o menor custo e a mais alta qualidade sem infringir normas de segurança e causar danos ao meio ambiente, mantendo registros de manutenção por equipamentos de forma a compor um histórico. Infelizmente, muitas estruturas de engenharia

clínica e setores de manutenção em estabelecimentos assistenciais à saúde não possuem um banco de dados confiável sobre os equipamentos existentes para que se possa realizar uma correta análise estatística.

É comprovado que a manutenção preventiva aumenta a vida útil dos equipamentos além de reduzir as falhas ou a manutenção corretiva, que é cara e geralmente emergencial. Através da manutenção preventiva, procura-se acompanhar as condições de operação dos equipamentos e, assim, realizar previsões e evitar falhas. As rotinas da manutenção preventiva geralmente são determinadas pelos fabricantes e pelo pessoal técnico com experiência nos aparelhos. Contudo, depois de implantada nos setores responsáveis pela manutenção, dificilmente, os procedimentos são avaliados quanto a sua eficiência e/ou eficácia.

Durante os procedimentos de manutenção preventiva, duas situações são freqüentemente encontradas: o equipamento era pouco usado e não necessitava de inspeção ou troca de peças, ou o equipamento estava sendo utilizado já fora das suas características. Essas situações mostram uma manutenção preventiva desnecessária no primeiro caso, implicando dinheiro e tempo desperdiçados que poderiam ser alocados em outros equipamentos, e mais crítico no segundo caso, pois, com o equipamento funcionando fora das suas especificações, poderia estar causando um erro de medição ou, até mesmo, um dano irreversível no paciente. Portanto, para melhor aproveitamento da manutenção preventiva, deve-se realizar a verificação dos procedimentos dessa rotina e determinar adequadamente o período na qual ela é realizada.

Atualmente, os períodos da manutenção preventiva são determinados, sobretudo, conforme as experiências do pessoal envolvido na manutenção dos

equipamentos, experiências de sistemas de manutenção preventiva por instituições similares e informações de manutenção fornecidas pelos fabricantes, não havendo pesquisa que confirme se os períodos determinados são realmente os melhores.

Apesar dos vários benefícios que o programa de manutenção preventiva oferece, sua implementação é cara e, dentro dos hospitais, existe uma grande diversidade de equipamentos definidos como médico-hospitalares. Por conseqüência, com os recursos limitados dos hospitais brasileiros, o programa de manutenção preventiva não pode ser aplicado a todos equipamentos, o que obriga a uma restrição. Na tentativa de reduzir o leque de equipamentos e agrupar os que têm as mesmas características, optou-se por trabalhar somente com equipamentos eletromédicos.

#### **1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Existe grande variedade de conceitos relacionados á manutenção entre os autores pesquisados, que, em alguns casos, até divergem entre si. Em vista disso, no capítulo 2, apresenta-se o Estado da Arte com os principais conceitos utilizados no desenvolvimento deste trabalho, tomando por base conceitos padronizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – e adequando a terminologia utilizada na literatura internacional.

Apesar da restrição para equipamentos eletromédicos, o programa de manutenção preventiva não pode ser aplicado a todos pois há limitação financeira e de recursos humanos; assim, devem-se aplicar critérios de priorização. No

capítulo 3, apresentam-se algumas metodologias de priorização existentes, as quais são comparadas entre si para, então, ser selecionado o critério mais abrangente e aplicável.

No capítulo 4, apresenta-se a metodologia desenvolvida para equipamentos eletromédicos. De posse de uma listagem de equipamentos, criada com base na tecnologia médica existente em alguns hospitais da Grande Florianópolis e de Curitiba, aplica-se o critério de priorização escolhido a partir do capítulo 3 e, após, a metodologia é proposta.

Finalmente, no capítulo 5, expõem-se às conclusões e algumas sugestões para trabalhos futuros.

## 2. ESTADO DA ARTE

### 2.1 – INTRODUÇÃO

Quando da realização do levantamento bibliográfico, encontraram-se divergências quanto às definições básicas relacionadas ao estudo da manutenção. Verificou-se, ainda, que não há consenso entre organizações e pesquisadores brasileiros e do exterior. Portanto, este capítulo destina-se a revisar e a relacionar alguns dos principais conceitos utilizados na atualidade, passo necessário para o desenvolvimento do trabalho.

### 2.2 – MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS

A **manutenção** de equipamentos é a “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” (ABNT, 1994).

A função Manutenção, conforme a maneira como é praticada, pode se decompor conforme indicado na Figura 2.1 (MIRSHAWKA & OLMEDO, 1993).

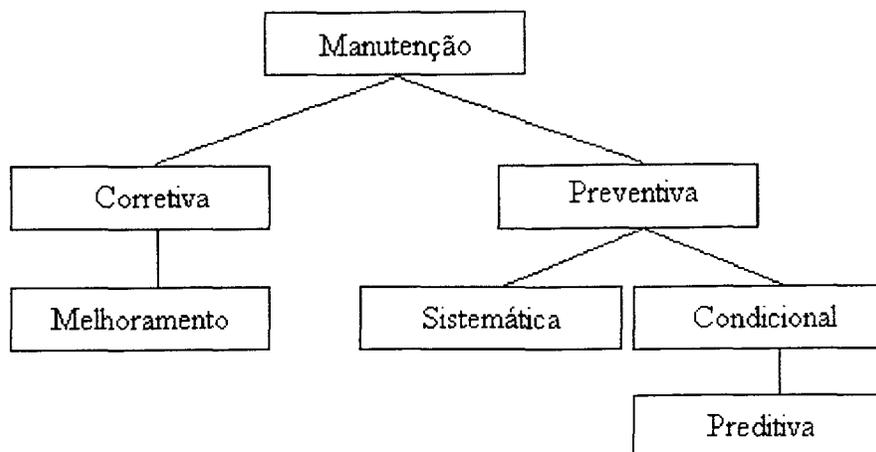


Figura 2.1 – Tipos de manutenção

A **manutenção corretiva** é efetuada após a ocorrência de uma pane, sendo destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida. Em ocasiões nas quais há urgência em restabelecer o funcionamento do equipamento ou sistema, a manutenção corretiva é também conhecida como **manutenção forçada**.

A **manutenção de melhoramento** é um conjunto de ações corretivas para a melhoria dos equipamentos, objetivando a redução das manutenções e melhorando a confiabilidade e o desempenho.

A **manutenção preventiva** destina-se a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item, sendo efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos. É subdividida em:

- **Manutenção sistemática ou programada:** ocorre em intervalos fixos, embora não necessariamente iguais, geralmente sendo usada somente se a sua utilização criar uma oportunidade para reduzir falhas que não podem ser detectadas antecipadamente, ou se for imposta pelas exigências da produção ou segurança. Muitas vezes, essa manutenção

é realizada independentemente do fato de ser necessária ou não, podendo representar um grande desperdício;

- **Manutenção condicional:** é executada de acordo com o estado do equipamento após a evolução de um sintoma significativo. A inspeção é realizada pela equipe técnica especializada e/ou com o auxílio de instrumentos. Os valores obtidos são comparados com os padrões estabelecidos, verificando-se se os resultados indicam quando os problemas potenciais irão acontecer.

A **manutenção preditiva**, que é, de fato, uma manutenção condicional baseada na evolução ao longo do tempo dos sintomas constatados e utilizando técnicas de Estatística e da Teoria da Probabilidade, procura reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva.

Várias políticas e métodos de manutenção têm sido desenvolvidos para serem utilizadas em cada situação, levando em consideração o custo e evitando deixar equipamentos importantes fora de operação desnecessariamente. Obviamente, quando se tem uma degradação muito rápida, dificilmente as falhas são descobertas a tempo de corrigir o problema. Em situações críticas, a decisão se dá entre substituir o equipamento falhado ou simplesmente repará-lo para que retorne à operação. Para situações programáveis, a dificuldade encontra-se em determinar o período das inspeções e/ou quais são os itens que devem ser inspecionados.

Independentemente das situações críticas ou programadas, podem-se adotar algumas políticas de manutenção bem conhecidas. Basicamente, existem

três procedimentos (SILVA, 1994) que são praticados de acordo com a importância do equipamento e levando em consideração os custos envolvidos:

- **Reparo mínimo** – após a falha ou na inspeção do equipamento, somente os itens que apresentaram o defeito são reparados, retornando rapidamente ao funcionamento. O índice de confiabilidade não é alterado, retornando ao mesmo ponto anterior à ocorrência da falha ou da inspeção;
- **Reforma** – são reparos e sobretudo trocas de componentes visando melhorar os índices de confiabilidade do equipamento. Algumas reformas podem aumentar a manutenibilidade<sup>2</sup> do equipamento podendo reduzir o tempo de manutenções futuras;
- **Substituição** – consiste em realizar a troca completa do equipamento ou de seus componentes de modo que retorne à operação tão bom quanto um novo.

Os reparos mínimos são realizados após a falha do equipamento, o qual deve, geralmente, retornar rapidamente à operação. A reforma e a substituição devem ser programadas, pois além de exigirem tempo, os custos envolvidos são elevados.

---

<sup>2</sup> manutenibilidade – probabilidade de uma dada ação de manutenção efetiva, para um item sob dadas condições de uso, poder ser efetuada dentro de um intervalo de tempo determinado, quando a manutenção é feita sob condições estabelecidas e usando procedimentos e recursos prescritos.

## 2.2.1 – Etapas da Manutenção Preventiva

Os programas de manutenção preventiva devem ser elaborados de forma a garantir que os procedimentos a serem executados sejam os mais completos possíveis e realizados da mesma maneira todas as vezes. Os roteiros de manutenção preventiva devem ser simples e de fácil entendimento, porém não devem ser muito superficiais. Um procedimento de manutenção preventiva deve conter basicamente os seguintes itens (CALIL & TEIXEIRA, 1998):

- **Inspeção visual e mecânica** – verificação completa, inspecionando as partes externas e internas do equipamento. Visualmente, deve-se verificar a integridade física do equipamento e de seus componentes internos, os testes de função verificam se peças precisam ser ajustadas ou trocadas;
- **Limpeza e lubrificação** – são geralmente necessárias depois de realizadas as inspeções. Devem ser um processo padrão, descrito no procedimento, com os tipos de solventes ou agentes de limpeza e métodos que forneçam a limpeza mais efetiva, além dos tipos de lubrificantes e locais onde devem ser aplicados;
- **Calibração e ajuste** – verificação de indicadores e níveis de acordo com o padrão determinado normalmente pelo fabricante ou órgão governamental;
- **Testes de desempenho e segurança** – são testes para verificar se o equipamento está funcionando corretamente, garantindo que o aparelho esteja calibrado e forneça segurança (elétrica, radiológica, mecânica, biológica) para o paciente e usuário.

## 2.2.2 – Níveis de Manutenção Preventiva

Dependendo dos objetivos e necessidades da estrutura de engenharia clínica, os programas de manutenção preventiva podem ser divididos em dois tipos de aplicação:

- **Nível fixo**, no qual a manutenção preventiva é realizada sempre com os mesmos procedimentos verificando os mesmos atributos cada vez que é executada. Geralmente, são manutenções preventivas abrangentes em que são avaliados a segurança e o desempenho dos equipamentos. Por ser mais amplo, a vantagem desse sistema é que a equipe executora segue os mesmos procedimentos cada vez que a realiza, por outro lado, o tempo exigido para a execução desse tipo de procedimento é muito maior, havendo a necessidade, muitas vezes, de que o equipamento seja retirado do setor, o que acarreta um tempo de parada maior e aumento do custo da manutenção preventiva.
- **Nível variável**, no qual os parâmetros avaliados e testados do equipamento variam de acordo com a necessidade da manutenção preventiva. Geralmente são manutenções preventivas específicas, recomendadas por fabricantes ou por normas, para verificar se há a necessidade de troca de itens degradados entre as manutenções preventivas abrangentes. Esse tipo de manutenção pode proporcionar economia de recursos em relação à manutenção de nível fixo, porém pode ser mais difícil de administrar.

É comum a execução de manutenções preventivas específicas (nível variável) entre as manutenções preventivas de nível fixo.

## 2.3 – FALHA E DEFEITO

Este trabalho adota a distinção entre falha e defeito (TAVARES, 1992), embora alguns autores associem os dois termos, usando-os como sinônimos. Segundo a ABNT (1994), denomina-se **falha** de um equipamento “o término da capacidade de um item desempenhar uma função requerida”. Já o **defeito** no equipamento é “qualquer desvio de uma característica de um item em relação aos seus requisitos”, ou seja, uma ocorrência que não impede o seu funcionamento, podendo, contudo, a curto ou longo prazo, acarretar a sua indisponibilidade.

### 2.3.1 – Classificação das Falhas

A AFNOR – Association Française de Normalisation classificou as falhas em função de alguns itens mostrados no Quadro 2.1 (MIRSHAWKA & OLMEDO, 1993).

Em função de (da)	Falha
Velocidade ou forma de manifestação	1.1 – Progressiva. 1.2 – Repentina.
Momento de aparecimento	2.1 – Durante o funcionamento. 2.2 – Ao parar (quando a função requisitada não é mais utilizada). 2.3 – Na utilização.
Grau de importância	3.1 – Parcial (inaptidão para cumprir a (s) função(funções) requisitada(s) de forma completa). 3.2 – Completa (perda completa da função)
Velocidade de aparecimento e grau de importância	4.1 – Por degradação: ao mesmo tempo progressiva e parcial. 4.2 – Catalética: ao mesmo tempo repentina e

	completa.
Causas	5.1 – Por fraqueza inerente à concepção ou fabricação. 5.2 – Má utilização. 5.3 – Má conservação. 5.4 – Envelhecimento ou desgaste. 5.5 – Primária (não provocada por falha de um outro equipamento). 5.6 – Secundária (conseqüência de alguma outra falha).
Origem	6.1 – Interna (origem da falha é atribuída à própria máquina, equipamento, dispositivo e sistema). 6.2 – Externa.
Conseqüências	7.1 – Crítica (susctível de causar danos corporais ou de conduzir a outras conseqüências julgadas inaceitáveis). 7.2 – Não-crítica. 7.3 – Maior ou principal (susctível de influenciar uma função considerada como sendo de importância vital). 7.4 – Menor (sem imobilização do material, a produção não é desacelerada).
No tocante a sua característica	8.1 – Intermitente (perda repetitiva e momentânea, completa ou parcial de uma função requisitada). 8.2 – Fugitiva ou transitória (perda de curta duração, não repetitiva, completa ou parcial de uma função requisitada). 8.3 – Sistemática (ligada de maneira segura a uma causa que não pode ser eliminada a não ser que seja por uma modificação). 8.4 – Reproduzível (que pode ser provocada à vontade simulando a (s) sua (s) causa (s)). 8.5 – De causa comum (que pode influenciar simultaneamente ou em cascata vários componentes de uma entidade ou toda ela).

Quadro 2.1 – Classificação das falhas

Faz parte da manutenção, principalmente da corretiva, verificar e analisar as falhas ocorridas em um equipamento e não somente retirá-lo do estado de pane ou reparar um sistema avariado. A análise das falhas é muito importante para que sejam evitados os seus reaparecimentos. Também o registro dessas

falhas e sua análise, contribui em muito para a manutenção preventiva, na tentativa de amenizar ou até evitar a quebra do equipamento.

### 2.3.2 – Tipos de Padrões de Modos de Falhas

Diversas bibliografias relacionam a “curva da banheira” como único padrão de modo de falha. Contudo, com a evolução dos equipamentos, verificou-se o surgimento de novos padrões de modos de falha, como mostra a Figura 2.2 (MOUBRAY, 1997) (DUNN, 1998) (SILVA, 1998) (LUCATELLI, 2000).

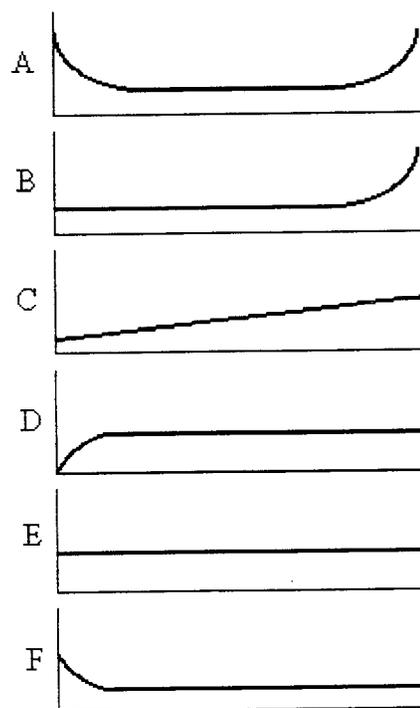


Figura 2.1 – Tipos de padrões de modos de falhas

A curva do padrão A, conhecida como “curva da banheira”, mostra um alto índice de falha no início e no fim da “vida útil” do equipamento, caracterizando a “mortalidade infantil” e o envelhecimento, respectivamente; o padrão B associa a

falha com o desgaste e a fadiga; o padrão C indica um aumento linear do índice de falha sem indicar o fim da “vida útil”; o padrão D mostra um baixo índice de falha do equipamento inicialmente, o qual cresce rapidamente até atingir um nível constante; o padrão E indica um índice de falha constante independentemente da idade do aparelho; o padrão F mostra um alto índice de quebra no início, o qual diminui até atingir um valor constante.

Estudos em aeronaves civis indicaram que os padrões A, B e C ocorrem em itens mais simples devido ao desgaste e à fadiga, representando 11% dos modos de falha. Os padrões D, E e F representam os itens mais complexos, como sistemas de controle hidráulico, eletrônico e pneumático, respondendo pelos outros 89%, sendo que só o padrão F representa 68% dos modos de falha (DUNN, 1998) (SILVA, 1998) (LUCATELLI, 2000). Com isso, verificou-se que o padrão A, “curva da banheira”, até então a mais utilizada, ocorre em componentes mais simples, representando somente 4% dos modos de falha.

### 2.3.3 – Classificação dos defeitos

A ABNT (1994) define alguns conceitos de defeitos, a saber:

- **Defeito crítico** – defeito que, provavelmente, resultará em condições perigosas e inseguras para pessoas, danos materiais significativos ou outras conseqüências inaceitáveis;
- **Defeito não-crítico** – defeito que não seja crítico;

- **Defeito maior**<sup>3</sup> – defeito que, provavelmente, resultará em uma falha ou reduzirá substancialmente a utilização do item para o fim a que se destina;
- **Defeito menor**<sup>4</sup> – defeito que não seja maior;
- **Defeito de projeto** – defeito de um item devido a projeto inadequado;
- **Defeito de fabricação** – defeito de um item devido à não-conformidade da fabricação com o projeto ou com os processos de fabricação especificados.

---

<sup>3</sup> Nota: Um defeito maior pode ser crítico ou não-crítico.

<sup>4</sup> Nota: Um defeito menor pode ser crítico ou não-crítico.

### **3. PRIORIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS PARA PROGRAMAS DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA**

Toda máquina ou equipamento em funcionamento necessitará, algum dia, de manutenção, seja ela para uma simples limpeza, seja por uma necessidade de reforma. Essa manutenção poderá corrigir ou prevenir uma falha. Como mencionado anteriormente, a manutenção corretiva é realizada somente após a ocorrência da falha e a preventiva procura prevenir a falha antes que ela ocorra. Sabe-se também que a prática de somente uma delas não resolve por completo: praticando somente a manutenção corretiva, a parada repentina de alguns equipamentos traria consequências graves e irreversíveis; já a prática somente da manutenção preventiva, em alguns equipamentos, teria uma alta relação custo-benefício não compensando o investimento (SIMMONS & WEAR, 1988).

A manutenção preventiva tem como principal objetivo a redução das falhas que podem ocorrer em equipamentos eletromédicos; conseqüentemente, as suas implementações reduzem o número de paradas não programadas, prevenindo os acidentes que possam causar danos ao paciente e/ou usuários. Com a diminuição de paradas emergenciais, os custos com a manutenção corretiva são reduzidos consideravelmente, além de diminuir o tempo em que o equipamento fica parado no conserto. Com isso, há uma melhora na qualidade dos serviços prestados em razão da maior confiabilidade que o aparelho passa a oferecer, além do aumento de sua vida útil.

Por outro lado, a implementação da manutenção preventiva exige uma equipe treinada, além de uma estrutura mínima para execução. No Brasil, o desenvolvimento de programas de manutenção preventiva de equipamentos

hospitalares tem se restringido por causa da limitação de recursos materiais, humanos e financeiros (CALIL & TEIXEIRA, 1998).

Em virtude desses fatores, dá-se extrema importância à priorização de equipamentos a serem atendidos dentro de um programa de manutenção preventiva. Com isso, a equipe técnica é treinada e os recursos financeiros são aplicados gradativamente nos equipamentos mais importantes. Inicialmente, é feita uma consulta à equipe técnica, cuja experiência possibilita selecionar quais são os equipamentos que serão submetidos ao programa. Isso ocorre em virtude da dificuldade de se encontrarem referências na literatura e, também, da falta de orientação da grande maioria dos manuais que acompanham os equipamentos.

Após a pré-seleção dos equipamentos, algumas metodologias, já desenvolvidas, poderão auxiliar na priorização dos mesmos. Em seqüência, descrevem-se alguns métodos de priorização.

### **3.1 MÉTODOS DE PRIORIZAÇÃO**

#### **3.1.1 Método de Martins (1990)**

Propõe a construção de uma matriz de prioridades para determinar a ordem de importância dos equipamentos. Os dados para a construção desta matriz são baseados nas características de cada equipamento. Para cada critério de avaliação são estabelecidos índices que podem variar de 0 a 10; quanto maior for o índice, maior será a importância do equipamento para o dado critério.

Os critérios de avaliação para estabelecer a matriz de prioridades são descritos a seguir.

**Custo de Manutenção Corretiva** – é obtido através de um levantamento da média dos custos de serviços de manutenção corretiva para cada equipamento a ser avaliado durante um determinado período. Após, esse valor é dividido pelo maior custo médio desse mesmo equipamento no período avaliado e multiplicado por 10 para que o valor final fique entre 0 (zero) e 10.

$$CMC_i = \frac{CMC\_MED_i}{CMC\_MAX_i} \times 10, i = 1,2,3,\dots,N \quad (3.1)$$

Onde:

$CMC_i$  – custo de manutenção corretiva de um equipamento  $i$ ;

$CMC\_MED_i$  – média do custo de manutenção corretiva num dado período para o equipamento avaliado;

$CMC\_MAX_i$  – maior custo de manutenção corretiva no dado período para o mesmo equipamento avaliado.

**Manutensibilidade** (Mantenabilidade) – é a avaliação da dificuldade de se efetuar o reparo em um determinado equipamento. Para determinar esse valor, deve ser realizado um estudo do tempo médio de conserto para cada equipamento avaliado. Esse tempo pode ser definido em razão do número de horas que foram gastas no serviço em um determinado período. Após, esse valor é dividido pelo maior tempo médio desse mesmo equipamento no período avaliado e multiplicado por 10 para que o valor final fique entre 0 (zero) e 10.

$$M_i = \frac{TMC\_MED_i}{TMC\_MAX_i} \times 10, i = 1,2,3,\dots,N \quad (3.2)$$

Onde:

$M_i$  – manutensibilidade de um equipamento  $i$ ;

$TMC\_MED_i$  – tempo médio de manutenção corretiva num dado período para o equipamento avaliado;

$TMC\_MAX_i$  – maior tempo de manutenção corretiva no dado período para o mesmo equipamento avaliado.

**Não Confiabilidade** – probabilidade de falha de um equipamento num determinado período. Para determinar esse valor, verifica-se o número de consertos realizados para cada equipamento num período definido. Calcula-se a média no período e, após, divide-se pelo maior número de consertos realizados dentro desse período. Por fim, multiplica-se por 10 para que o valor final fique entre 0 (zero) e 10.

$$NC_i = \frac{NMC_i}{NMC\_MAX_i} \times 10, i = 1,2,3,\dots,N \quad (3.3)$$

Onde:

$NC_i$  – não-confiabilidade de um equipamento  $i$ ;

$NMC\_MED_i$  – número médio de consertos executados num dado período para o equipamento avaliado;

$NMC\_MAX_i$  – maior número de consertos no dado período para o mesmo equipamento avaliado.

**Grau de Dependência** – determina a importância de um equipamento em relação ao conjunto de equipamentos destinados a um mesmo procedimento médico. Estima-se o grau de dependência de cada equipamento em relação ao conjunto de equipamentos analisados. Após, divide-se cada valor pelo maior valor assinalado no grupo de equipamentos avaliados. Por fim, o resultado é multiplicado por 10 para que fique entre 0 (zero) e 10.

$$GD_i = \frac{NEDA_i}{NEDA\_MAX} \times 10, i = 1,2,3,\dots,N \quad (3.4)$$

Onde:

$GD_i$  – grau de dependência do equipamento  $i$ ;

$NEDA_i$  – grau de dependência do equipamento  $i$  em relação aos equipamentos utilizados dentro de um mesmo procedimento médico;

$NEDA\_MAX$  – maior valor do grau de dependência dado a um equipamento dentro do conjunto de equipamentos avaliados.

**Grau de Utilização** – avalia a utilização de cada equipamento com base no número de horas trabalhadas em uma semana. Estima-se a média do número de horas em que o equipamento é utilizado por semana. Então, divide-se pelo número de horas da semana ( $7 \times 24 = 168$ ) para obter o percentual de utilização para cada equipamento. Após, esse percentual é dividido pelo maior percentual de utilização obtida dentre os equipamentos avaliados para verificar o seu grau de utilização em relação aos demais. Por fim, multiplica-se por 10 para enquadrar os resultados entre 0 (zero) e 10.

$$GU_i = \frac{NHUE_i}{168} \times \frac{1}{MVR} \times 10, i = 1,2,3,\dots,N \quad (3.5)$$

Onde:

$GU_i$  – grau de utilização do equipamento  $i$ ;

$NHUE_i$  – número médio de horas em uso efetivo do equipamento  $i$  em uma semana;

$\frac{NHUE_i}{168}$  – percentual de utilização do equipamento  $i$ ;

$MVR$  – maior valor percentual de utilização obtida dentre os equipamentos avaliados.

**Não-Existência de Alternativa** – determina a impossibilidade de um equipamento ser temporariamente substituído, tanto interna quanto externamente ao setor, por outro caso haja uma falha. Divide-se a diferença entre o número total de equipamentos que realizam a mesma função e os que podem ser emprestados pelo número total daqueles que realizam a mesma função. Após, o resultado é multiplicado por 10 para que os valores fiquem entre 0 (zero) e 10.

$$NEA_i = \frac{NEMF - NEPSE}{NEMF} \times 10, i = 1,2,3,\dots,N \quad (3.6)$$

Onde:

$NEA_i$  – não-existência do equipamento  $i$ ;

$NEMF$  – número total de equipamentos que realizam a mesma função;

$NEPSE$  – número total de equipamentos que realizam a mesma função e que podem ser emprestados.

**Grau de Urgência** – indica a prioridade no atendimento aos setores atendidos dentro do hospital, definida em conjunto com a direção ou unidade de saúde. São atribuídas notas de 0 (zero) a 10, indicando o grau de urgência nas respostas aos chamados dos setores.

### 3.1.2 Método de Hertz (1990)

Esta metodologia propõe a priorização nos equipamentos que são mais importantes e críticos no cuidado com o paciente e que, provavelmente, poderão causar dano quando apresentarem algum tipo de falha. Outra característica é a verificação do período de inspeção, pois quanto mais atrasado estiver para inspeção, maior será a sua prioridade.

Hertz (1990) atribui três passos que devem ocorrer em seqüência para determinar a probabilidade de causar dano:

- uma peça do equipamento está quebrada;
- o usuário não percebe que o equipamento está quebrado;
- o equipamento quebrado é usado e, então, causa dano ao paciente.

Como cada passo é um evento independente e eles devem ocorrer seqüencialmente, a probabilidade da ocorrência de um dano é o produto das três probabilidades individuais:

$$P(\text{dano}) = P(\text{equip. quebrado}) \times P(\text{oper. não nota}) \times P(\text{equip. causa dano})$$

Tomando por base a fórmula, é possível avaliar cada equipamento através da probabilidade relativa, que pode variar de alta, média ou baixa. Então, para cada equipamento, pode-se atribuir um “valor de gravidade” conforme indicado abaixo:

$$\text{Valor de gravidade} = \text{RP(quebrado)} \times \text{RP(observado)} \times \text{RP(dano)} \quad (3.7)$$

Onde:

RP(quebrado) = a probabilidade relativa do equipamento estar quebrado;

RP(observado) = a probabilidade relativa em que o operador do equipamento nota que o equipamento está quebrado antes de usá-lo;

RP(dano) = a probabilidade relativa em que o equipamento quebrado cause um dano se for usado.

E a cada probabilidade relativa é determinado um valor numérico baseado no seu risco percebido (alto, médio ou baixo), conforme a Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Risco percebido

	<b>Alto</b>	<b>Médio</b>	<b>Baixo</b>
<b>RP(quebrado)</b>	3	2	1
<b>RP(observado)</b>	1	2	3
<b>RP(dano)</b>	3	2	1

Dependendo da combinação das probabilidades relativas, o valor de gravidade pode assumir um dos dez valores possíveis, variando de 1 a 27. Essa nota apenas indica uma comparação de risco entre os equipamentos avaliados, sem se preocupar com a quantificação exata.

Para determinar a prioridade do equipamento, um Índice de manutenção preventiva (MP) é estabelecido levando em conta o valor de gravidade do equipamento e o tempo desde a última inspeção. O algoritmo deste Índice de MP é:

Se o tempo desde a última MP < intervalo de MP, então:

$$\text{Índice de MP} = 0 \quad (3.8)$$

Caso contrário:

$$\text{Índice de MP} = \text{valor de gravidade} \times \frac{\text{tempo desde a última MP}}{\text{intervalo de MP}} \quad (3.9)$$

Dessa forma, o Índice de MP é zero se o equipamento não estiver atrasado para inspeção. Caso contrário, quanto mais atrasado estiver, mais alto será o Índice de MP e mais priorizado estará o equipamento.

### 3.1.3 Método AHA (1996)

Este método avalia os riscos clínicos e físicos associados a cada aparelho e é dividido em cinco categorias:

- **Função do Equipamento (E)** – verifica a área onde o equipamento é utilizado e a função que desempenha;
- **Aplicação Clínica (A)** – verifica o risco potencial do paciente ou do equipamento durante o uso;
- **Exigência de Manutenção Preventiva (P)** – descreve o nível e a frequência da manutenção preventiva exigida;

- **Probabilidade de o Equipamento Falhar (F)** – verifica a razão da antecipação do Tempo-Médio-Entre-Falhas, baseado em serviços no equipamento e incidentes na história;
- **Classificação do Meio de Uso (U)** – avalia a principal área de uso do equipamento.

Cada categoria está subdividida em categorias específicas que estão assinaladas por pontos (Anexo 1). Cada equipamento é submetido a essa lista e os valores aplicados à fórmula abaixo:

$$\text{Total} = E + A + \left( \frac{P + F + U}{3} \right) \quad (3.10)$$

O resultado varia de 3 a 20 sendo que, quanto maior for esse valor, maior será a sua prioridade.

#### 3.1.4 Método ROMSYS ou de Capuano/Koritko (1996)

O ROMSYS – *risk-oriented maintenance system*, ou sistema de manutenção baseada no risco, trabalha a priorização a partir dos conceitos baseados no risco. Cada equipamento é submetido à avaliação das razões definidas abaixo:

- **Razão de Função (FR)** – caracteriza a proposta do equipamento em relação ao paciente;
- **Razão de Conseqüência (CR)** – especula o efeito que o mau funcionamento do equipamento teria sobre o paciente/equipe;

- **Razão de Manutenção (MR)** – indica todos aspectos que contribuem para a necessidade de intervenção técnica;
- **Razão de Proteção (PR)** – verifica a existência de alguns tipos de sistemas de prevenção de falhas contidos nos equipamentos;
- **Razão de Fatalidade (LR)** – indica a presença de saídas perigosas que o aparelho pode ter.
- **Razão de Uso (UR)** – quantifica quanto um aparelho é usado.

Os pesos e os critérios para avaliação estão detalhados no Anexo 2. Após a obtenção dos valores, o resultado é obtido através da soma de todas as razões a fim de se determinar qual é a prioridade de cada equipamento avaliado.

### 3.1.5 Método de James (1999)

Esta metodologia classifica os equipamentos conforme os seus riscos intrínsecos, ou seja, riscos do próprio aparelho. James (1999) propôs uma classificação dividida em riscos físicos, clínicos e técnicos.

A categoria de **risco físico** verifica os perigos relacionados à possibilidade de choque elétrico, explosão, uso apropriado e considerações de aplicação, assepsia, limpeza e instalação. Já os **riscos clínicos** estão associados com o erro operacional, técnico ou outros problemas de aplicação, e os **riscos técnicos** referem-se aos erros de medições de parâmetros ou entrega de energia.

James (1999) também criou uma avaliação qualitativa para verificar os níveis dos riscos de cada aparelho. São eles:

**Risco baixo** – relacionado apenas às características de desempenho da função do usuário (botões funcionais, displays);

**Risco baixo-médio** – além da definição do risco baixo, confia na garantia da segurança elétrica;

**Risco médio** – além da definição do risco baixo-médio, confia na manutenção do próprio equipamento (bateria, filtros, sifões de água);

**Risco médio-alto** – além da definição do risco médio, confia na transmissão, cálculo, ou visualização da medida quantificada ou na visualização ou exatidão de uma característica de operação de um aparelho calibrado (monitor fisiológico ou centrífuga);

**Risco alto** – além da definição do risco médio-alto, confia na entrega de uma energia medida e calibrada, medição, ou biomateriais (desfibriladores, ventiladores, marca-passos, bombas de infusão).

### 3.2 COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS

Para facilitar a análise dos métodos apresentados anteriormente, o Quadro 3.1 apresenta os principais itens que cada metodologia utiliza para determinar a priorização.

	MARTINS	HERTZ	AHA	ROMSYS	JAMES
Custo da manutenção corretiva	X				
Tempo de reparo (Mantenabilidade)	X			X	
Probabilidade de falha (Confiabilidade)	X	X	X		X
Dependência em relação a outros equipamentos	X				
Tempo de uso	X			X	X
Substituição por outro equipamento	X				
Local onde o equipamento é utilizado	X		X		X
Intervalo da manutenção preventiva		X	X		X
Função do equipamento			X	X	X
Risco ao paciente		X	X	X	X
Proteção dada pelo equipamento				X	X
Risco ao usuário				X	X

Quadro 3.1 – Comparativo dos métodos de priorização utilizados

Pode-se verificar que o método de Martins avalia vários itens relacionados à manutenção dos equipamentos. Sua aplicação necessita de registros de manutenção efetivos e confiáveis, o que na maioria dos departamentos de engenharia clínica, ainda não ocorre.

O método de Hertz trabalha com as probabilidades relativas de falha e de risco ao paciente, tornando muito subjetiva a priorização.

Uma das categorias do método da AHA, Exigência da Manutenção Preventiva, avalia o período da manutenção preventiva conflitando com a proposta deste trabalho.

As metodologias de ROMSYS e James avaliam praticamente os mesmos itens, mas de forma diferente, porém o método de James é novo e ainda faltam

referências para um estudo mais aprofundado. Para este trabalho, optou-se, então, pela utilização do método de Capuano/Koritko (ROMSYS), pois, além de já ser conhecido na área médica, sua aplicação não depende de históricos e registros dos equipamentos, que são, ainda, um dos maiores problemas em setores de manutenção.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 INTRODUÇÃO

É comum que os intervalos de manutenção preventiva sejam determinados pelos fabricantes e por órgãos dedicados a área médica. Porém, esses períodos são determinados, geralmente, com base nos “tipos” ou categorias de equipamentos. Dados práticos indicam que a maioria dos procedimentos de manutenção preventiva não exigiu reparos durante sua execução (KENDALL, 1993). Então por que não alterar os períodos de manutenção preventiva ajustando-os de forma a melhorar a eficiência dos procedimentos?

Um ponto chave, para o estabelecimento dos intervalos de manutenção preventiva apropriados, consiste na identificação de dois modos de falhas primárias<sup>5</sup> falha aleatória e falha relacionada ao tempo.

Experiências de estruturas de engenharia clínica em equipamentos médicos comprovam que muitos equipamentos, em geral, não necessitam de manutenção preventiva; já, outros poderiam ter sua frequência reduzida. Apenas alguns tipos de equipamentos deveriam ter seus períodos de manutenção preventiva mantidos independentemente do seu histórico de falhas. Quanto aos equipamentos restantes, poderiam ter seu período de manutenção preventiva determinado pelos seus históricos de reparos (KENDALL, 1993).

---

<sup>5</sup> falha primária – falha de um item que não é causada direta ou indiretamente pela falha ou pane de outro item (ABNT, 1994).

A fim de possibilitar a análise do histórico dos equipamentos, deve-se construir um banco de dados referente aos equipamentos existentes em um estabelecimento assistencial à saúde, na qual devem constar algumas informações mínimas como o tipo e a quantidade de equipamentos, quais setores em que estão alocados, entre outros.

## **4.2 CADASTRAMENTO DOS EQUIPAMENTOS**

O cadastramento dos equipamentos é o primeiro passo no esforço de gerenciar a variedade e o número de equipamentos utilizados dentro do hospital. É preciso identificar os tipos de equipamentos, suas características, onde estão localizados, quem é o responsável por eles, custos, datas e documentações existentes. Um método para registro dessas informações e outras relacionadas a cada equipamento deve ser estabelecido de forma que os dados possam ser recuperados futuramente, analisados e utilizados em decisões e solução de futuros problemas que possam ocorrer.

O formulário básico mostrado na Figura 4.1 sugere as informações mínimas exigidas para se construir a base do cadastro de cada equipamento.

Nº de Controle	Tipo de Equipamento		
Modelo	Fabricante	nº Série	nº Patrimônio
Local/Setor	Data Instalação	Custo Aquisição	Garantia
Fornecedor		Assistência Técnica	
Características, Instruções Especiais e Comentários			
Documentação Existente	<input type="checkbox"/> Manual Operador <input type="checkbox"/> Manual Serviço <input type="checkbox"/> Esquema Elétrico		
Data do Cadastro		Responsável pelo Cadastro	

Figura 4.1 – Ficha de cadastro de equipamento

Todos os campos devem ser preenchidos a fim de auxiliar no gerenciamento da estrutura de engenharia clínica, possibilitando o cálculo da depreciação dos equipamentos, ou decisões de reparo, modificação ou compra de novos equipamentos. Também deve ser colocada no equipamento uma etiqueta identificada por um código igual ao do seu cadastro o qual facilitará em muito a sua identificação antes de qualquer procedimento a ser nele realizado.

O cadastramento dos equipamentos visa ao controle do parque tecnológico, possibilitando o aproveitamento máximo dos equipamentos, garantindo que estejam funcionando corretamente, que o tempo de parada seja previsto e que quando do término da vida útil do equipamento, haja recursos para sua substituição.

### 4.3 PRIORIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

Após o cadastramento e de posse do inventário existente, para otimizar o gerenciamento da manutenção aproveitando ao máximo os recursos limitados, os equipamentos eletromédicos devem ser classificados de forma a se priorizar os mais importantes para a realização da manutenção preventiva em um estabelecimento assistencial à saúde.

A priorização poderá basear-se em critérios de *risco*, verificando os equipamentos que apresentam alto risco à vida do paciente ou usuário em caso de falha; da *importância estratégica*, pois a parada de alguns equipamentos importantes dificulta ou compromete a realização de um ou mais serviços oferecidos pelo hospital, e a *recomendação* por parte de órgãos governamentais e fabricantes (CALIL & TEIXEIRA, 1998).

Com a aplicação desses critérios, muitos equipamentos podem ser selecionados para o programa de manutenção preventiva. Para este trabalho, foi escolhido o critério baseado no risco de Capuano & Koritko (1996).

### 4.4 ESTABELECIMENTO DE CRITÉRIOS DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Antes de se iniciar um programa de manutenção preventiva, devem ser determinados o seu nível e a sua frequência, de acordo com os objetivos do hospital e com a capacidade da estrutura de engenharia clínica existente. Se a manutenção preventiva for muito detalhada e freqüente, tempo e, possivelmente, dinheiro estarão sendo desperdiçados; em oposição, se o procedimento for

superficial e o período de manutenção preventiva for longo demais, o trabalho não será efetivo, também sendo desperdiçados tempo e dinheiro.

A determinação do nível no qual a manutenção preventiva será realizada "é crucial para Engenheiros Clínicos e Técnicos Biomédicos para selecionar aqueles atributos a serem verificados com a melhor garantia de segurança e desempenho com custos operacionais ótimos" (SIMMONS & WEAR, 1988). Portanto, não existe um nível de manutenção preventiva que seja o melhor; os atributos a serem verificados e os critérios a serem seguidos devem ser estabelecidos de acordo com os recursos disponíveis do hospital e as estruturas de engenharia clínica.

Quanto à frequência, Webster (1979) sugere um dos critérios, mostrado no Quadro 4.1, que podem ser usados para determinar a efetividade da manutenção preventiva. É um critério simples, que serve como uma orientação inicial, podendo ser modificado conforme os objetivos da estrutura de engenharia clínica.

Conforme aumente a informação sobre os equipamentos submetidos ao programa de manutenção preventiva, o planejamento inicial deverá ser revisado ao menos anualmente e, se necessário, ajustado para o melhor aproveitamento do equipamento e dos recursos disponíveis. Depois de dois ou três anos, a programação estaria com seu intervalo estabilizado e, então, seria apenas modificada em razão de aumento do uso do equipamento ou, ao contrário, de uma redução percebida, o que significa uma redução na frequência de manutenção preventiva (WEBSTER, 1979). Por causa do tempo e do custo envolvidos com a manutenção preventiva, um esforço continuado deveria ser feito para otimizar a programação, verificando a possibilidade de aprimorar os procedimentos com os conhecimentos adquiridos.

FREQUÊNCIA DE PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA		
MUITO BAIXA	ADEQUADA	MUITO ALTA
Sempre fora da calibração. O equipamento fornece resultados errôneos.	Calibração ligeiramente fora, mas não atrapalha o funcionamento do equipamento.	Equipamento sempre calibrado na manutenção preventiva. Nenhum ajuste é necessário.
Reclamações freqüentes da operação do equipamento.	Nenhuma reclamação recebida sobre a operação do equipamento.	
Freqüência de reparos aumenta ou não se altera.	Freqüência de reparo é reduzida.	
Equipamento sujo, falta de lubrificação, partes soltas podendo provocar danos.	Alguma limpeza, lubrificação e leve aperto são necessários para deixar o equipamento funcionando corretamente.	O equipamento não requer nenhuma limpeza, lubrificação ou aperto.

Quadro 4.1 – Critérios para determinação do programa de manutenção preventiva

#### 4.4.1 Elaboração de Roteiros de Manutenção Preventiva

A falta de roteiros de manutenção preventiva nas estruturas de engenharia clínica dificulta muito o trabalho de implantar uma rotina de manutenção preventiva no hospital. Por isso, tomando por base os procedimentos de setores mais avançados, como a indústria, e a experiência de pessoas na manutenção dos equipamentos, tais roteiros de manutenção preventiva podem ser elaborados.

O roteiro de manutenção preventiva deve detalhar todos os procedimentos a serem realizados, a lista de ferramentas e peças a serem substituídas, equipamentos para teste e material de consumo necessário. Esse guia deve ser o mais completo possível, não tão detalhado de modo que sua leitura e compreensão se tornem difíceis e cansativas, nem superficial a ponto de

desconsiderar informações importantes. Ele deve ser escrito de forma a garantir que os procedimentos de manutenção preventiva sejam realizados da mesma maneira todas as vezes e com um nível mínimo de eficiência. Um procedimento de manutenção preventiva deve conter, basicamente, os seguintes itens: inspeção geral do equipamento, procedimentos de limpeza e lubrificação, instruções de calibração e ajuste e testes de funcionalidade e segurança.

#### 4.4.2 Determinação do Intervalo da Manutenção Preventiva

Inicialmente, os períodos de manutenção preventiva são determinados com base nos manuais dos fabricantes e de informações encontradas nas literaturas nacional e estrangeira (SIMMONS & WEAR, 1988) (KENDALL, 1993) (CALIL & TEIXEIRA, 1998). Essas referências dão suporte à estrutura de engenharia clínica a comparar os equipamentos que serão submetidos ao programa com outros similares, cujos períodos são conhecidos, avaliando a periodicidade dos itens importantes a serem verificados durante o procedimento de manutenção preventiva.

Para auxiliar na definição do intervalo para manutenção preventiva dos equipamentos eletromédicos, pode ser utilizada a seguinte classificação (SIMMONS & WEAR, 1988):

- **Equipamentos de salvamento** – São equipamentos que salvam vidas (ventiladores e incubadoras) ou que são usados principalmente para ressuscitação (desfibriladores). O teste do modo operacional e a manutenção preventiva devem, inicialmente, ser executados mensalmente e trimestralmente, respectivamente;

- **Equipamentos de suporte à vida** – São equipamentos que monitoram, diagnosticam e tratam os pacientes (monitores em geral, sistemas de monitoramento, analisadores de gases, máquinas de raios-X, etc.). O intervalo, inicialmente, deve ser trimestral para manutenção preventiva.
- **Equipamentos relacionados ao paciente** – São equipamentos que, de alguma forma, têm relação ou contato com o paciente (centrífugas, microscópios, refrigeradores, etc.) e que seus valores justificam a execução da manutenção preventiva. O intervalo é semestral.

A Tabela 4.1 apresenta o número de verificações da segurança (VS), verificações de desempenho (VD) e inspeções da manutenção preventiva (IMP) por ano, sugerido pela AMERICAN HOSPITAL ASSOCIATION - AHA *Maintenance Management for Medical Equipment* de 1996 para alguns equipamentos eletromédicos.

Tabela 4.1 – Intervalo da manutenção preventiva sugerida pela AHA

<b>Tipos de Equipamentos Eletromédicos</b>	<b>VS</b>	<b>VD</b>	<b>IMP</b>
Aparelho de Anestesia	2	12	12
Aparelho de Raios-X	1	2	2
Aparelho de Ultra-som	1	2	2
Aspirador Cirúrgico	1	2	2
Bisturi Elétrico	2	2	2
Bomba de Infusão	2	2	2
Capnógrafo	2	2	2
Desfibrilador	2	4	4
Eletrocardiógrafo	2	2	2
Incubadora	2	2	2
Monitor Multiparâmetros	2	2	2
Oxicapnógrafo	2	2	2
Oxímetro de Pulso	2	2	2
Unidade de Fototerapia	2	2	2
Ventilador Pulmonar	2	2	2

#### 4.5 REGISTRO DO HISTÓRICO DAS MANUTENÇÕES

Todos os trabalhos executados no equipamento, incluindo testes de segurança, manutenção preventiva, calibração e manutenções corretivas executadas pelos técnicos do hospital ou por contratos de serviços, devem ser registrados em um histórico de manutenções que acompanha o cadastro do equipamento. Esses registros de manutenção são úteis para verificar o que aconteceu de errado no equipamento em seu passado, verificar o seu desempenho e fazer projeções de orçamentos com uma lista de peças de reposição mais importantes, além de, muitas vezes, evitar a falha antes que esta aconteça. Com isso, o tempo de parada do equipamento pode ser reduzido consideravelmente.

A análise dos registros de manutenção também pode auxiliar nas projeções de cargas de trabalho da equipe, na estimativa do custo de materiais e do tempo de reparo de equipamentos similares, além de contribuir para o estabelecimento de prioridades de um programa de manutenção preventiva.

O registro da manutenção, sobretudo da preventiva, consiste na informação básica das datas, dos procedimentos realizados e dos resultados obtidos. O completo e mais fiel registro das ocorrências é fator importante, senão fundamental para o sucesso na determinação do intervalo da manutenção preventiva. Portanto, cabe às pessoas responsáveis pelo registro o total entendimento da importância deste trabalho.

#### 4.6 ANÁLISE DO INTERVALO DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA PARA CADA EQUIPAMENTO

Em geral, verificando os registros de manutenção, pode-se constatar que alguns equipamentos apresentam pouco ou nenhum indício de reparos, não necessitando de manutenções preventivas, cujos custos não compensam em relação ao valor do equipamento; outros, cujos períodos de manutenção preventiva são determinados por normas legais, determinações de fabricantes ou regulamentos internos do hospital, não devem ser alterados. Então, excluindo os equipamentos que, comprovadamente, não necessitam de manutenção preventiva e os que não podem ter seus intervalos de manutenção preventiva alterados, restam os equipamentos para os quais verificam-se as possibilidades de ajustar as frequências de manutenções preventivas de acordo com seus históricos de manutenção.

A chave para o estabelecimento dos intervalos de manutenção preventiva consiste na análise dos históricos de manutenção de cada equipamento, identificando os dois modos de falha primários. Embora, uma discussão possa ser levantada a respeito de que toda falha está relacionada com o tempo. A seguir são descritas as definições na qual os dois modos de falha são diferenciados (JAMES, 2000).

- **Falha aleatória** é “qualquer falha cuja causa ou mecanismo faça com que seu instante de ocorrência se torne imprevisível, a não ser no sentido probabilístico ou estatístico” (ABNT, 1994). Pode ser causada por diversos fatores como: descarga elétrica não identificada para o sistema, defeito de fabricante, abuso de usuário, etc.

Conseqüentemente, por não ser previsível, não pode ser evitada com manutenções preventivas programadas.

- **Falha relacionada com o tempo** é previsível podendo surgir de forma gradual ou de forma sistemática. A falha gradual é devida a mudanças das características de um dado item com o tempo podendo ser prevista por exames anteriores ou monitoração. A falha sistemática é “relacionada de um modo determinístico a uma certa causa, que somente pode ser eliminada por uma modificação do projeto, do processo de fabricação, dos procedimentos operacionais, da documentação ou de outros fatores relevantes” (ABNT, 1994). Essas falhas, gradual e sistemática, podem ser causadas por um desvio na calibração, desgaste de componentes, acúmulo de poeira, etc.

Um programa de manutenção preventiva não deve ser baseado na prevenção da falha aleatória e sim em falhas previsíveis e com possibilidade de serem evitadas. Todavia, as falhas aleatórias podem ser mais facilmente detectadas através de inspeções rotineiras entre as manutenções preventivas realizadas pela equipe técnica. À medida que os intervalos entre as manutenções preventivas são aumentados, essas inspeções tornam-se mais importantes.

#### 4.6.1 Ajuste do Intervalo da Manutenção Preventiva

Kendall (1993) sugeriu algumas regras para aplicar nos equipamentos que permitem o ajuste do intervalo da manutenção preventiva baseado, somente, nos seus históricos de manutenção. As regras são as seguintes:

*Regra 1:* Se mais que três reparos ocorreram entre as manutenções preventivas, a frequência da manutenção preventiva deveria ser aumentada para o intervalo padrão<sup>6</sup> seguinte.

*Regra 2:* Se menos que dois reparos ocorreram entre as manutenções preventivas, a frequência de manutenção preventiva deveria ser reduzida para o intervalo padrão<sup>6</sup> seguinte.

Tal programa analisa a relação entre o número de ordens de serviço de reparo e o número de ordens de serviço de manutenção preventiva:

$$\frac{\text{n}^\circ \text{ de ordens de serviço de reparo}}{\text{n}^\circ \text{ de ordens de serviço de MP}} = \text{razão de serviço} \quad (4.1)$$

Esse trabalho foi realizado no Baptist Memorial Hospital East, Memphis, Tennessee, sobre um período de 18 meses com aproximadamente 12.000 equipamentos médicos. Resultados indicaram que somente 8% de todas as ordens de serviço da manutenção preventiva resultaram em reparo no momento da sua execução.

Um levantamento das ordens de serviço foi realizado em alguns hospitais públicos da Grande Florianópolis analisando o número de manutenções corretiva e preventiva. Constatou-se que muitos registros antigos não refletiam a real situação do equipamento, então baseando nas regras anteriores e, procurando trabalhar com históricos de manutenção recentes, algumas regras foram

---

<sup>6</sup> intervalo padrão – é um período de tempo definido pela estrutura de engenharia clínica para a realização da manutenção preventiva.

determinadas para a análise de cada equipamento individualmente, com base no seu histórico de manutenções e falhas relacionadas com o tempo. As regras para ajuste do intervalo de manutenção preventiva são:

**Regra 1:** Se durante o período compreendido entre as duas últimas manutenções preventivas ocorreram duas ou mais manutenções corretivas, o intervalo da manutenção preventiva deve ser reduzido em um mês.

**Regra 2:** Se durante o período compreendido entre as três últimas manutenções preventivas não ocorreu nenhuma manutenção corretiva, o intervalo da manutenção preventiva deve ser aumentado em um mês.

**Regra 3:** Se em todas as três últimas manutenções preventivas realizadas ocorreu algum tipo de reparo durante os procedimentos preventivos, o intervalo da manutenção preventiva deve ser reduzido em um mês.

**Regra 4:** Se em todas as três últimas manutenções preventivas realizadas não ocorreu nenhum tipo de reparo durante os procedimentos preventivos, o intervalo da manutenção preventiva deve ser aumentado em um mês.

Um fluxograma das regras para análise das manutenções é ilustrado na Figura 4.2.

Essas regras são aplicadas logo após a execução da manutenção preventiva no equipamento, visando estabelecer o período do próximo procedimento. Caso ocorra conflito entre regras, uma indicando aumento e outra indicando redução do período, cabe à estrutura de engenharia clínica avaliar o equipamento e definir qual decisão deve ser tomada caso a indicação do intervalo seja menor que um mês, deve-se verificar o que está ocorrendo com o equipamento: ou pode estar muito velho ou pode estar sendo utilizado incorretamente. Inicialmente, estipulou-se doze meses como o tempo máximo do

intervalo da manutenção preventiva, o que assegura com que ela seja realizada em cada equipamento, pelo menos, uma vez ao ano.

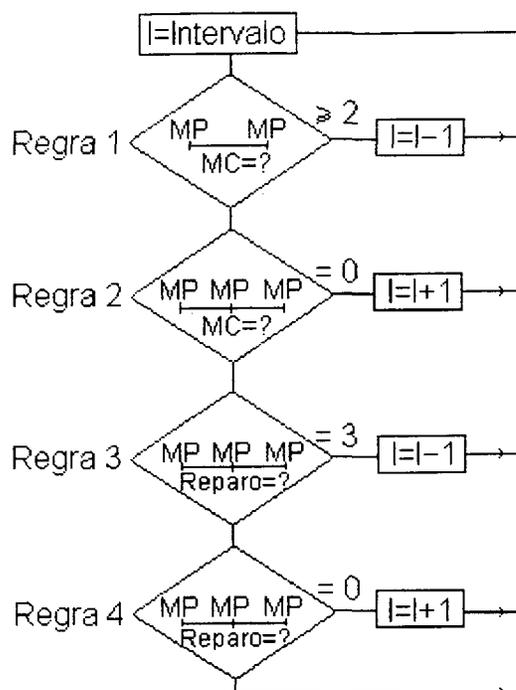


Figura 4.1 – Fluxograma das regras

#### 4.7 – CARACTERIZAÇÃO DA METODOLOGIA

Tem-se como principal objetivo, aplicar alguns procedimentos da metodologia apresentada anteriormente para a seleção, programação e execução da manutenção preventiva em equipamentos eletromédicos. Para isso, procedimentos como priorização dos equipamentos, definição de roteiros e a frequência da manutenção preventiva foram aplicados em alguns equipamentos eletromédicos do parque tecnológico de um hospital particular para análise do intervalo entre as manutenções preventivas.

#### 4.7.1 – Priorização de equipamentos eletromédicos

Um dos pontos mais importantes de um programa de manutenção preventiva é a seleção de equipamentos eletromédicos direcionando os recursos humanos e financeiros àqueles que, realmente, precisam desses cuidados. O critério de priorização utilizado, foi o método de ROMSYS onde é analisado o nível de risco que cada equipamento oferece a pacientes e/ou usuários (CAPUANO & KORITKO, 1996). A tecnologia dos equipamentos existentes no hospital, varia de acordo com a idade, fabricante e modelo. Portanto, foi estabelecido como critério para avaliação da priorização, o equipamento de maior quantidade dentre todos com mesma função. A Tabela 4.2 apresenta a avaliação do ventilador pulmonar segundo o critério utilizado e a Tabela 4.3 apresenta a classificação final de prioridade de alguns equipamentos eletromédicos com os respectivos valores avaliados.

A partir da listagem de equipamentos eletromédicos priorizados, pode-se verificar que a maioria dos equipamentos se encontrava em setores críticos do hospital como as unidades de terapia intensiva e centros cirúrgicos. Portanto, devido à concentração desses equipamentos, optou-se por aplicar as regras de análise do intervalo da metodologia apresentada, em uma unidade de terapia intensiva do hospital.

Tabela 4.2 – Critérios de priorização para um ventilador pulmonar

<b>VENTILADOR PULMONAR</b>			
<b>I – RAZÃO DE FUNÇÃO</b>		<b>IV – RAZÃO DE PROTEÇÃO</b>	
para salvar ou suporte a vida	<b>12</b>	sem alarme paciente	1
para tratar	6	sem alarmes de função	1
para monitorar	5	não são audíveis ou visíveis	1
para diagnosticar	3	sem mensagens de erro	1
apenas contato casual	2	sem testes contínuos	<b>1</b>
nenhum contato com o paciente	1	sem mecanismos de segur.	1
não relacionado com o paciente	0	não exige total atenção	1
<b>II – RAZÃO DE CONSEQÜÊNCIA</b>		sem autoteste no início	1
morte	<b>12</b>	sem autoteste manual	1
dano	6	Total	1
maltrato	3	<b>V – RAZÃO DE FATALIDADE</b>	
desconforto	2	direto	<b>5</b>
atraso no tratamento	1	indireto	3
nenhuma conseqüência	0	nenhum	0
<b>III – RAZÃO DE MANUTENÇÃO</b>		<b>VI – RAZÃO DE USO</b>	
ajustes eletrônicos	<b>2</b>	freqüente	<b>5</b>
ajustes mecânicos	<b>2</b>	esporádico	4
partes móveis	<b>2</b>	raro	2
troca de peças regulares	<b>2</b>	quase nunca	0
intervenção significativa do usuário	-2		
exigência organizacional	<b>2</b>		
limpeza regular exigida	<b>2</b>		
Total	12		
<b>Índice de Prioridade = 12 + 12 + 12 + 1 + 5 + 5 = 47</b>			

Tabela 4.3 – Classificação dos valores segundo o critério de avaliação

Equipamento	I	II	III	IV	V	VI	Total
Ventilador Pulmonar	12	12	12	1	5	5	47
Máquina de Hemodiálise	12	12	12	1	5	4	46
Aparelho de Anestesia	12	12	6	5	5	5	45
Bomba de Infusão	12	12	8	1	5	5	43
Desfibrilador – Cardioversor	12	12	8	1	5	3	41
Bisturi Elétrico	12	6	6	5	5	5	39
Incubadora	6	6	6	3	5	5	31
Aspirador Cirúrgico	6	6	6	5	3	4	30
Aparelho de Raios-X	3	1	12	3	5	5	29
Eletrocardiógrafo	5	1	10	3	3	5	27
Monitor Multiparâmetros	5	1	10	0	5	5	26
Eletroencefalógrafo	5	1	8	4	3	4	25
Monitor de Pressão Não-invasiva	5	1	2	3	5	5	21
Oxímetro de Pulso	5	1	0	3	5	5	19

#### 4.7.2 – Manutenção Preventiva

O programa de manutenção preventiva já fazia parte da rotina do setor, portanto, os procedimentos estavam definidos e os períodos determinados. Alguns equipamentos tinham seus procedimentos incompletos e sem listagem de ferramentas e materiais. Nesses foram revisados e redefinidos de acordo com manuais de fabricantes e literaturas (HUALLPA, 1994) (LUCATELLI, 1998). Os procedimentos de manutenção preventiva para o ventilador pulmonar e o desfibrilador/cardioversor, estão exemplificados no Anexo 3.

Quanto ao intervalo das manutenções preventivas, verificou-se que, praticamente todos, estavam de acordo com as recomendações de fabricantes e com os valores recomendados pela AHA. A Tabela 4.4 apresenta as frequências em que eram realizadas as manutenções preventivas na UTI, anualmente, para cada equipamento e as recomendadas pela AHA (1996).

Tabela 4.4 – Frequência de manutenção preventiva por ano

<b>Equipamento</b>	<b>UTI</b>	<b>AHA</b>
Desfibrilador/Cardioversor	4	2/4*
Eletrocardiógrafo	2	2
Monitor ECG ou Multiparâmetros	2	2
Oxímetro	2	2
Ventilador Pulmonar	2	2

\* verificação de segurança – duas vezes ao ano;  
manutenção preventiva – quatro vezes ao ano.

Durante o período de vinte meses foram acompanhados 20 equipamentos eletromédicos, os quais foram submetidos à metodologia proposta neste trabalho, os quais estão relacionados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Relação de equipamentos da unidade de terapia intensiva cardíaca submetidos ao procedimento

	Histórico		1999												2000								
	MPR	MC	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
1	Monitor de ECG (1)	0	0	MP					MPR									MP					
2	Monitor de ECG (2)	0	0	MP					MP									MP					
3	Monitor de ECG (3)	1	1	MP				MPR		MC					MP								MP
4	Monitor de ECG (4)	1	0	MP					MP									MP					
5	Monitor de ECG (5)	0	0	MP					MP									MP					
6	Monitor de ECG (6)	0	0	MP		MC			MP										MPR				
7	Monitor de ECG (7)	0	1	MP					MP	MC									MPR				MP
8	Monitor de ECG (8)	2	1	MP	MC			MC	MP				MPR		MC			MP				MC	
9	Ventilador Pulmonar (1)	0	0	MP					MP									MP					
10	Ventilador Pulmonar (2)	0	1	MPR					MP						MP								MP
11	Ventilador Pulmonar (3)	1	0	MPR					MP	MC								MP					
12	Ventilador Pulmonar (4)	0	1	MP	MC				MPR						MP								
13	Ventilador Pulmonar (5)	1	0	MP					MP									MP					
14	Desfibrilador/Cardioversor	0	1	MP									MPR					MP		MC			
15	Eletrocardiografo	1	1	MP	MC				MPR						MP					MC			MP
16	Oxímetro de pulso (1)	1	0	MP					MP						MC			MP					
17	Oxímetro de pulso (2)	0	0	MP					MP									MP					
18	Oxímetro de pulso (3)	0	0	MP					MPR									MP					
19	Oxímetro de pulso (4)	1	0	MP					MP										MPR				
20	Oxímetro de pulso (5)	0	0	MP					MP									MP					

MP – manutenção preventiva sem reparo

MPR – manutenção preventiva com reparo

MC – manutenção corretiva

#### 4.7.3 – Estudo de casos

Dois casos reais foram tomados como exemplo para apresentar a análise do ajuste do intervalo conforme as regras da metodologia proposta. O primeiro caso apresenta um aumento e, o segundo caso, apresenta uma redução no intervalo da manutenção preventiva.

##### Caso 1: VENTILADOR PULMONAR (4)

Para a implementação da análise do intervalo da manutenção preventiva através das regras propostas nesse trabalho, deve-se saber o histórico recente correspondente ao período de três manutenções preventivas. O intervalo utilizado entre as manutenções preventivas no ventilador era de seis meses. Portanto, foi realizado um levantamento dos últimos 12 meses, período correspondente a três manutenções preventivas. A Figura 4.3 ilustra o histórico das manutenções:

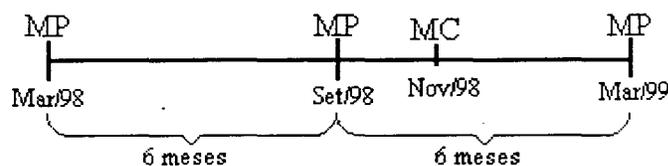


Figura 4.1 - Histórico das manutenções antes das regras de ajuste do intervalo.

Analisando as regras dessa metodologia para a determinação do intervalo de tempo para a próxima manutenção preventiva, temos:

**Regra 1:** Se durante o período compreendido entre as duas últimas manutenções preventivas ocorrerem duas ou mais manutenções corretivas, o intervalo da manutenção preventiva deve ser reduzido em um mês.

**Análise 1:** Verificando o período correspondente das duas últimas manutenções preventivas (MP), setembro de 1998 a março de 1999, há somente uma manutenção corretiva – MC (Nov/98), portanto essa regra não é aplicada.

**Regra 2:** Se durante o período compreendido entre as três últimas manutenções preventivas não ocorreu nenhuma manutenção corretiva, o intervalo da manutenção preventiva deve ser aumentado em um mês.

**Análise 2:** Verificando o período entre as últimas três manutenções preventivas, março de 1998 a março de 1999, há somente uma manutenção corretiva, portanto essa regra, também não é aplicada.

**Regra 3:** Se em todas as três últimas manutenções preventivas realizadas ocorreu algum tipo de reparo durante os procedimentos preventivos, o intervalo da manutenção preventiva deve ser reduzido em um mês.

**Análise 3:** Verificando as últimas três manutenções preventivas ocorridas em março e setembro de 1998 e março de 1999, verifica-se que em nenhuma ocorreu reparo, portanto essa regra não é aplicada.

**Regra 4:** Se em todas as três últimas manutenções preventivas realizadas não ocorreu nenhum tipo de reparo durante os procedimentos preventivos, o intervalo da manutenção preventiva deve ser aumentado em um mês.

**Análise 4:** Da Análise 3, pode-se concluir que a Regra 4 é aplicada, portanto, o intervalo para a próxima manutenção preventiva deve ser aumentado em um mês, passando de 6 para 7 meses, ficando programada para outubro de 1999.

Acompanhando os meses subsequentes, constatou-se que houve uma manutenção corretiva em maio de 1999 e durante os procedimentos de manutenção preventiva, em outubro de 1999, alguns ajustes tiveram que ser

realizados (MPR). Após a execução desta manutenção, novamente as regras de tempo foram aplicadas para determinar o próximo período da manutenção preventiva. A Figura 4.4, ilustra as manutenções ocorridas desde setembro de 98, início do estudo, até maio de 2000:

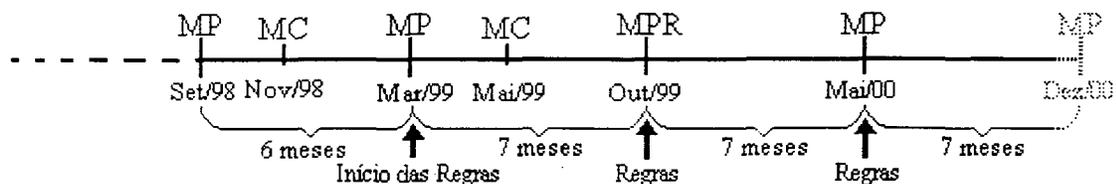


Figura 4.2 – Manutenções com o ajuste do intervalo da MP (aplicação das regras).

Após a manutenção preventiva de outubro de 1999, aplicando novamente as mesmas regras, no período correspondente de setembro de 98 a outubro de 99, verificou-se uma não indicação de mudança do intervalo, devido ao não enquadramento de nenhuma regra. Conseqüentemente, o próximo intervalo não é alterado, permanecendo em 7 meses, ficando os próximos procedimentos preventivos a serem realizados em maio de 2000.

Novamente, aplicando as regras após a manutenção preventiva de maio de 2000, constatou-se o não enquadramento de nenhuma regra, portanto o intervalo permanece o mesmo.

## Caso 2: MONITOR DE ECG (8)

O intervalo utilizado entre as manutenções preventivas no monitor de ECG era de seis meses, portanto, antes de implementar a análise das regras da metodologia proposta, um levantamento foi feito do seu histórico, últimos 12

meses, período correspondente a três manutenções preventivas. A Figura 4.5 ilustra o histórico das manutenções:

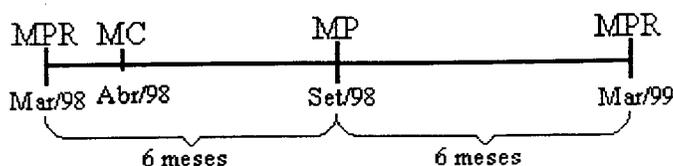


Figura 4.3 – Histórico das manutenções

Aplicando as Regras 1 e 2, nenhuma alteração no intervalo é indicada, pois, houve somente uma manutenção corretiva ocorrida em abril de 1998. Quanto as Regras 3 e 4, também não indica alteração no intervalo pois houveram duas manutenções preventivas com reparo (Mar/98 e Mar/99). Portanto, o próximo período para manutenção preventiva permanece em 6 meses, pois nenhum ajuste foi determinado pelas regras.

Em setembro de 1999, realizou-se a manutenção preventiva programada e nenhum reparo foi realizado durante os procedimentos preventivos no equipamento, mas duas manutenções corretivas ocorreram até então, uma em abril e outra em agosto como ilustra a Figura 4.6.

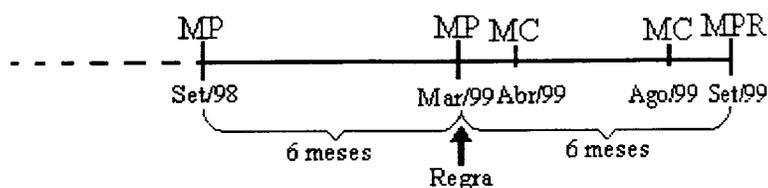


Figura 4.4 – Histórico das manutenções com a aplicação das regras a partir de Mar/99.

Para determinar o próximo período, após a manutenção preventiva de setembro de 1999, analisa-se o histórico correspondente a três manutenções

preventivas, período de doze meses (Se/98 a Set/99). Verifica-se, somente, a aplicação da Regra 1, duas manutenções corretivas entre as duas últimas manutenções preventivas. Portanto, o próximo intervalo passa de seis para cinco meses. O equipamento foi estudado até novembro de 2000 e os períodos das preventivas e as manutenções corretivas realizadas estão ilustrados na Figura 4.7.

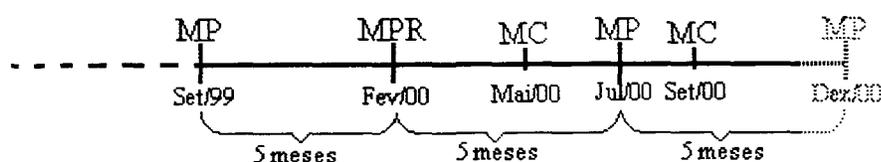


Figura 4.5 – Manutenções ocorridas entre Set/99 a Nov/00.

Pela Figura 4.7, verifica-se que o intervalo das manutenções preventivas subsequentes não se alteram devido ao não enquadramento das regras aplicadas.

Durante o período de 20 meses, período em que houve o acompanhamento dos equipamentos relacionados na Tabela 4.5, os resultados do estudo empreendido demonstram que, a maioria dos equipamentos poderia ter seus intervalos de manutenções preventivas aumentados, com isso, contratos de manutenção puderam ser revistos reduzindo custos.

## 5. Conclusões

Conforme levantamentos feitos nos registros de manutenções preventivas de alguns hospitais públicos e privados, constatou-se que, de todas manutenções preventivas executadas em equipamentos eletromédicos, menos de 10% exigiram algum tipo de ajuste ou reparo durante o procedimento de manutenção preventiva. Também o trabalho de Kendall (1993) verificou que somente 8% necessitaram de reparos, ou seja, a grande maioria dos equipamentos dispensou reparos nas manutenções preventivas.

As inspeções entre os procedimentos de manutenção preventiva são muito importantes, principalmente na detecção de falhas aleatórias. À medida que os intervalos forem aumentando, as inspeções pareceram tornar-se mais importantes. Todavia, não se encontrou bibliografia específica referente à relação inspeções e manutenções preventivas.

Dos 20 (vinte) equipamentos analisados indicaram um aumento do intervalo entre as manutenções preventiva na primeira aplicação das regras, contudo uma previsão da estabilização do período não foi possível devido ao período de amostragem não ser grande o suficiente. Acredita-se que mais um ou dois anos seriam necessários para uma afirmação mais concreta. Todavia, esse trabalho trouxe bons resultados pois, com o acompanhamento e aplicação das regras da metodologia apresentada, foi possível indicar a retirada de funcionamento de alguns equipamentos que estavam apresentando problemas sistemáticos comprovados pelo seus históricos e, também, tornou possível a revisão de alguns contratos de manutenção.

Para que o programa de manutenção preventiva tenha sucesso, é necessário que a equipe clínica esteja integrada no trabalho desenvolvido pela equipe técnica e que os procedimentos de manutenção interfiram o mínimo possível na rotina dos hospitais. Ainda, é importante salientar que nem mesmo o melhor e maior programa de manutenção preventiva poderá reduzir as falhas dos equipamentos caso eles sejam mal utilizados.

Certamente, algumas falhas ocorrem repentinamente, as quais, realmente, não podem ser detectadas ou prevenidas por um processo de manutenção preventiva, contudo muitas outras ocorrem por causa do desgaste provocado pelo uso normal do equipamento, que pode ser detectado antes de provocar um mau funcionamento do aparelho tornando a manutenção preventiva necessária.

Alguns procedimentos da manutenção preventiva como limpeza, lubrificação, ajuste e troca de peças defeituosas aumenta a vida útil do equipamento. Com isso, o equipamento fica em boas condições operacionais de uso além de o tempo de indisponibilidade ser minimizado. Conseqüentemente, os usuários têm uma maior confiabilidade e segurança no uso do equipamento pois sabe que o equipamento foi revisado e se encontra em condições de uso podendo ser utilizado com maior freqüência e trazer melhores resultados no cuidado com os pacientes.

Equipamentos que têm grande potencial de risco para os pacientes ou usuários devem ser verificados e testados diariamente antes de sua utilização. Isso se justifica porque em geral, a maioria dos equipamentos indica falhas durante inspeções simples, realizadas pelo próprio usuário antes da sua utilização.

## 5.1 Maiores Dificuldades

Durante o desenvolvimento da metodologia proposta, identificaram-se dificuldades que podem comprometer a implantação deste trabalho, as quais são:

- alguns equipamentos de cuidado crítico são usados diariamente, dificultando, por consequência, a execução da manutenção preventiva na data programada. E para comprometer ainda mais o programa, muitos setores não possuem equipamentos de reserva, o que pode provocar o adiamento ou até o cancelamento do procedimento. Para que o programa de manutenção preventiva não seja afetado, é desejável que haja um equipamento extra, de modo que a substituição possa ser feita enquanto o procedimento de manutenção esteja sendo realizado;
- há dificuldade em localizar o equipamento programado para a manutenção preventiva. Muitos equipamentos são transferidos do setor de origem para serem utilizados em outro setor do hospital, conforme a necessidade, o que dificulta em muito a sua localização, principalmente em grandes hospitais, acarretando atraso e perda de tempo no programa de manutenção preventiva. Devido à isso, é muito importante a cooperação das equipes clínicas e de enfermagem do hospital no entendimento da importância da execução da manutenção preventiva no período indicado;
- falta de manuais e dados técnicos referentes ao equipamento e seus acessórios. A existência desses dados pode facilitar o entendimento do

funcionamento do equipamento e contribuir, em muito, na diminuição dos esforços na execução da manutenção preventiva;

- falta de dados históricos confiáveis sobre as falhas dos equipamentos, o que dificulta o planejamento de um programa de manutenção preventiva mais eficiente. A experiência da equipe de manutenção pode auxiliar, em muito, na determinação do tipo e a frequência da falha.

## 5.2 Trabalhos futuros

- Implementação nos hospitais da Grande Florianópolis, gerenciados pelos Celecs<sup>7</sup> a fim de continuar os testes dentro da metodologia apresentada e gerar novos conhecimentos para trabalhos futuros;
- Estudo da possibilidade de criar níveis de manutenção preventiva para um mesmo equipamento, variando também os períodos de cada nível de manutenção preventiva;
- Ampliação da metodologia para equipamentos de apoio e de infra-estrutura, o que possibilitaria à estrutura de engenharia clínica ter um controle maior sobre o parque tecnológico instalado no hospital;
- Estudo da possibilidade de aumentar o período de manutenção preventiva para períodos superiores a doze meses;

---

<sup>7</sup> Celecs – Centros Locais de Engenharia Clínica que realiza as atividades de gerenciamento da tecnologia médico-hospitalar.

- Criação de um sistema automatizado, juntamente com um sistema especialista, para ajustar automaticamente o intervalo da manutenção preventiva para cada equipamento, tomando por base o histórico de registros de manutenções. Com esse sistema, eliminar-se-ia a quantidade de papéis gerados e facilitar-se-ia o gerenciamento, sobretudo em hospitais cujo número de equipamentos é elevado.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### Descrição da categoria de critérios de risco segundo a AHA

#### Categoria de risco I: **Função do Equipamento (E)**

- 10 Terapêutico – Suporte à Vida
- 09 Terapêutico – Cirúrgico ou Cuidado Intensivo
- 08 Terapêutico – Terapia Física ou Tratamento
- 07 Diagnóstico – Cirúrgico ou Monitoramento de Cuidado Intensivo
- 06 Diagnóstico – Outro Monitoramento Fisiológico
- 05 Analítico – Laboratório de Análise
- 04 Analítico – Acessórios de Laboratório
- 03 Analítico – Computador e Acessórios Relacionados
- 02 Variado – Relacionado ao Paciente
- 01 Variado – Não Relacionado ao Paciente

#### Categoria de risco II: **Aplicação Clínica (A)**

- 5 Potencial Morte do Paciente
- 4 Potencial Dano do Paciente
- 3 Terapia Inadequada ou Perda do Diagnóstico
- 2 Dano ao Equipamento
- 1 Nenhum Risco Significante Identificado

**Categoria de risco III: Exigência de Manutenção Preventiva (P)**

- 5 Mensal
- 4 Trimestral
- 3 Semestral
- 2 Anual
- 1 Não requerido

**Categoria de risco IV: Probabilidade de o Equipamento Falhar (F)**

- 5 Menos que três meses
- 4 Aproximadamente seis meses
- 3 Aproximadamente um ano
- 2 Aproximadamente três anos
- 1 Maior que cinco anos

**Categoria de risco V: Classificação do Meio de Uso (U)**

- 5 Locais de anestesia
- 4 Áreas de cuidado crítico
- 3 Locais úmidos/laboratórios/áreas de exames
- 2 Áreas de cuidado gerais
- 1 Áreas onde não há pacientes

## ANEXO 2

### **Critério do Nível de Risco Segundo o ROMSYS**

**Razão de Função (FR)** – caracteriza a proposta do aparelho.

selecionar um item (valor máximo 12)

12 – para salvar ou suporte a vida;

6 – para tratar;

5 – para monitorar;

3 – para diagnosticar;

2 – apenas contato casual;

1 – nenhum contato com o paciente mas está próximo;

0 – não relacionado com o cuidado com o paciente.

**Razão de Conseqüência (CR)** – especula o efeito que o mau funcionamento do aparelho teria sobre o paciente/equipe.

selecionar um item (valor máximo 12)

12 – morte;

6 – dano;

3 – maltrato;

2 – desconforto;

1 – atraso no tratamento;

0 – nenhuma conseqüência.

**Razão de Manutenção (MR)** – indica todos aspectos que contribuem para a necessidade de intervenção técnica em uma base regular.

valor “2” para cada item aplicado (valor máximo 12)

- ajustes eletrônicos;
- ajustes mecânicos;
- partes móveis;
- troca de peças regulares;
- intervenção significativa do usuário (dedução de 2);
- exigência organizacional;
- limpeza regular exigida.

**Razão de Proteção (PR)** – aumenta o nível do risco de acordo com os fatores de proteção que não são fornecidos no aparelho (se aplicável).

valor “1” para cada item aplicado (valor máximo 9)

- nenhum alarme do paciente;
- nenhum alarme de função;
- alarmes não são audíveis ou visíveis;
- nenhum código ou mensagem de erro;
- nenhum teste contínuo prático;
- nenhum mecanismo de falha de segurança;
- nenhuma atenção contínua do operador;
- nenhum autoteste no início;
- nenhum autoteste manual.

**Razão de Fatalidade (LR)** – indica a presença de saídas perigosas que o aparelho pode ter.

selecionar um item (valor máximo 5)

5 – direto;

3 – indireto;

0 – nenhum.

**Razão de Uso (UR)** – quantifica quanto um aparelho é usado que influencia sua falha potencial.

selecionar um item (valor máximo 5)

5 – freqüente;

4 – esporádico;

2 – raro;

0 – quase nunca.

## ANEXO 3

### Procedimentos de manutenção preventiva (LUCATELLI, 1998).

- VENTILADOR PULMONAR (AHA, 1982) (ESPERANÇA, 1996)

1. limpar o interior e o exterior da unidade e inspecionar componentes soltos ou danificados; verificar as condições físicas de todos os controles e o manômetro; verificar sons ou movimentos anormais;
2. verificar a limpeza da válvula expiratória, inspecionar as condições do diafragma, substituí-lo se necessário;
3. inspecionar as condições dos tubos de respiração, nebulizadores e outros acessórios conectados ao paciente e à unidade;
4. procurar vazamentos em todas as mangueiras, tubos e encaixes;
5. inspecionar todos os filtros e seus compartimentos; limpar como recomendado pelo fabricante;
6. verificar a operação da unidade através de uma fonte de oxigênio externa;
7. analisar o regulador de pressão, o temporizador expiratório, o temporizador manual, o controle de sensibilidade, o controle da taxa de fluxo, o controle de pressão e o acelerador de fluxo;
8. verificar se a unidade está ciclando corretamente; verificar a pressão adequada e a taxa de fluxo; verificar se os sistemas de alarmes estão

fracos ou falhando; verificar as lâmpadas do painel quando executado o autoteste;

9. analisar se a operação do manômetro está adequada e precisa recalibrar se necessário;
10. comparar a medição do termômetro do equipamento com outro de calibração conhecida;

- DESFIBRILADOR/CARDIOOVERSOR (AHA, 1982) (DOMINGOS, 1997)

1. observar danos aparentes, aspecto geral e limpeza;
2. verificar as condições físicas do cabo e conector de força;
3. inspecionar as condições físicas das pás e cabos do desfibrilador, limpar quando necessário;
4. inspecionar a integridade mecânica de todas as chaves, controles, conectores, medidores, etc.;
5. verificar a operação da unidade, medir a energia entregue em 50, 100, 200, 300, 400 e no máximo ajuste em Joules;
6. inspecionar as condições do capacitor, carregando a unidade no ajuste máximo e mantendo a carga por um minuto; verificar se a unidade mantém, aproximadamente, 80% da carga máxima após 1 minuto;
7. inspecionar as condições da bateria, carregar e descarregar, rapidamente, a unidade dez vezes na regulagem máxima, verificar se a unidade carrega num período de tempo razoável;
8. testar o desempenho operacional do sincronizador;

9. inspecionar o traço da tela ajustar a intensidade, a posição, a amplitude, etc.;
10. inspecionar o registrador gráfico; verificar a condição do estilo de pressão e calor e a velocidade do registrador;
11. inspecionar a operação da tela e do registrador gráfico;
12. analisar a corrente de fuga de cada cabo do paciente;
13. verificar a corrente de fuga e a integridade do terra da carcaça do equipamento;
14. inspecionar o interior da unidade, verificando se há sinais de riscos físicos ou elétricos; limpar o interior com aspirador de pó ou ar comprimido;
15. inspecionar as condições físicas da bateria;
16. lubrificar o motor do registrador e a engrenagem;
17. verificar a fonte regulada de tensão;
18. analisar o ganho, a resposta em frequência e a rejeição de modo comum da tela e do registrador gráfico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, J. T. A risk-related preventive maintenance system. **Journal of Clinical Engineering**, v. 17, p. 65-68, Jan./Feb. 1992.

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.

ARAÚJO, M. D.; CHAINHO, A. P. Formas de gerenciamento da inspeção de equipamentos. In: Anais do V Seminário Brasileiro de Manutenção Preditiva e Inspeção de Equipamentos. São Paulo, pp. 1-15, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO – ABRAMAN. **Situação da manutenção no Brasil – CD-Rom**. Rio de Janeiro, RJ, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Confiabilidade e manutenibilidade – terminologia**. NBR 5462, Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Equipamentos eletromédicos – Parte 1 – Prescrições gerais para segurança**. NBR IEC 601-1, Rio de Janeiro, 1994.

AULA 01, Telecurso 2000, Junho 1999. Introdução à manutenção: material didático. Disponível em <http://www.bibvirt.futuro.usp.br/acervo/matdidat/tc2000/tecnico/manutencao/manutencao.html>. Acesso em: Março/2000.

AULA 02, Junho 1999. TPM – Planejamento, organização, administração: material didático. Disponível em: <http://www.bibvirt.futuro.usp.br/acervo/>

matdidat/tc2000/tecnico/manutencao/manutencao.html. Acesso em: Março/2000.

AULA 03, Junho 1999. CPM – (Critical Path Method) – Método do caminho crítico: material didático. Disponível em: <http://www.bibvirt.futuro.usp.br/acervo/matdidat/tc2000/tecnico/manutencao/manutencao.html>. Acesso em: Março/2000.

AULA 05, Junho 1999. Manutenção preventiva: material didático. Disponível em: <http://www.bibvirt.futuro.usp.br/acervo/matdidat/tc2000/tecnico/manutencao/manutencao.html>. Acesso em: Março/2000.

AULA 06, Junho 1999. Manutenção preditiva: material didático. Disponível em: <http://www.bibvirt.futuro.usp.br/acervo/matdidat/tc2000/tecnico/manutencao/manutencao.html>. Acesso em: Março/2000.

AULA 35, Junho 1999. Aplicações da manutenção: Material didático. Disponível em: <http://www.bibvirt.futuro.usp.br/acervo/matdidat/tc2000/tecnico/manutencao/manutencao.html>. Acesso em: Março/2000.

BAULD, T. J. The definition of clinical engineering. **Journal of Clinical Engineering**, v. 16, p. 403-405, 1991.

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, pp. IC41-IC47. 1997.

BELTRAME, E. Gestão da manutenção preditiva – uma abordagem confiabilística. In: V SEMINÁRIO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO PREDITIVA E INSPEÇÃO DE EQUIPAMENTOS. **Anais**, São Paulo, pp. 125-135, 1999.

- BEN-ZVI, S. An urgent plea for realistic preventive maintenance guidelines. **medical instrumentation**, v.16, n.2, pp. 115-116, Mar./Apr. 1982.
- BRONZINO, J. D. Technology Management. In: \_\_\_\_\_. **Management of medical technology**. Stoheman, MA: Butterworth-Heinemann, pp. 67-110, 1992.
- CALIL, S. J.; TEIXEIRA, M. S. Gerenciamento de manutenção de equipamentos hospitalares. São Paulo: Fundação Peirópolis, 1998.
- CAPUANO, M.; KORITKO, S. Risk-oriented maintenance - increase the effectiveness of your PM program. **Biomedical Instrumentation & Technology**, pp. 25-37, Jan/Feb, 1996.
- CARPIO, A.; FLORES, J. M. Análisis y propuesta para una gestión de mantenimiento hospitalario. In: 1er CONGRESO LATINOAMERICANO DE INGENIERIA BIOMÉDICA. **Anales**. Mazatlán, México, IC20-pp.475-480, 1998.
- CHAVES, L. M. C. G.; CAVALCANTI, L. A. R. Inspeção sensorial de ronda – a caminho da falha zero. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO. **Anais**. Salvador, 1998. CD-ROM.
- COELHO, E. Análise de desgaste – uma poderosa ferramenta de manutenção preditiva. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO. **Anais**. Salvador, 1998. CD-ROM.
- CORRÊIA FILHO, O. R. Gerenciamento pró-ativo em rotas inteligentes de inspeções termográficas. In: V SEMINÁRIO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO PREDITIVA E INSPEÇÃO DE EQUIPAMENTOS. **Anais** São Paulo, pp. 87-95, 1999.
- CRUZ, M. M. Um modelo para maximizar a performance e mensurar o valor agregado da manutenção preditiva. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO. **Anais** Salvador, 1998. CD-ROM.

da CUNHA, M. D. Implantação da manutenção preditiva em plataforma da bacia de campos. In: V SEMINÁRIO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO PREDITIVA E INSPEÇÃO DE EQUIPAMENTOS. **Anais** São Paulo, pp. 16-28, 1999.

DUNN, S.; 1998. **Reinventing the maintenance process – towards zero downtime**. Disponível em: <http://www.maintenanceresources.com/References/MaintenanceManagement/Reinventing.shtml?id=19524>. Acesso em: Nov./1999.

FLEMING, P. V. Implementando a MCC em um ambiente TPM. In: III SEMINÁRIO BRASILEIRO DE CONFIABILIDADE NA MANUTENÇÃO. **Anais** São Paulo, pp. 76-86, 2000.

FLEMING, P. V. & FRANÇA, S. R. R. Considerações sobre a implementação conjunta de TPM e MCC na indústria de processos. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO. **Anais** São Paulo, 1997. CD-ROM.

GERAGHETY, T.; 1998. **Obtendo efetividade do custo de manutenção através da integração das técnicas de monitoramento de condição, RCM e TPM**. Disponível em: [http://www.rcm2.com.br/sql-RCM2-ttec\\_integracao\\_mbcrcmtpm.html](http://www.rcm2.com.br/sql-RCM2-ttec_integracao_mbcrcmtpm.html). Acesso em Nov./1999.

GOUWS, J.; GOUWS; L. E. 1997. **Optimized combination of maintenance types**. Disponível em: <http://www.metal.ntua.gr/msslab/MineIT97/papers/DiscOpen.html> First International Conference on Information Technologies in The Minerals Industry – MineIT'97. Acesso em Nov./1999.

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.

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. Establishing the priority of equipment inspections. **Biomedical Instrumentation & Technology**, v. 24, pp. 410-416, Nov/Dec 1990.

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 (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual de Campinas.

JAMES, P. J. Engineering endpoints and maintenance intervals. **Biomedical Instrumentation & Technology**, v. 33, n. 4, pp. 309-316, Jul/Aug 1999.

JAMES, P. J. Establishing maintenance intervals based on measurement reliability of engineering endpoints. **Biomedical Instrumentation & Technology**, v. 34, n. 2, pp. 105-113, Mar/Apr 2000.

KARMAN, J. **Manutenção hospitalar preditiva**. São Paulo. Pini, 1994.

KENDALL, E. B.; CRONK, J. W.; WHITE, R. N. Real-time flexible preventive maintenance scheduling. **Biomedical Instrumentation & Technology**, v. 27, pp. 16-20, Nov/Dec. 1993.

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: XII CONGRESSO CHILENO DE INGENIERÍA ELÉTRICA. **Anales** v. II. Temuco, Chile, pp.708-711, 1997.

LUCATELLI, M. V. **Proposta de aplicação da manutenção centrada em confiabilidade em equipamentos médico-assistenciais**. Florianópolis, 2000.

Exame de Qualificação (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.

MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL. **TPM – Total predictive maintenance**:

Disponível em: <http://www.gold.com.br/~mab/html>. Acesso em: Jun./1999.

MARTINS, M. C. et al. Uma proposta de priorização de equipamentos médico-hospitalares para manutenção preventiva. **Revista Brasileira de Engenharia**, 7:2, pp. 561-71, 1990.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Equipamentos para estabelecimentos assistenciais de saúde: planejamento e dimensionamento**, Brasília, 1994.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Segurança no ambiente hospitalar: saúde e tecnologia**, Brasília, 1995.

MIRSHAWKA, V. Qualidade, confiabilidade e manutenibilidade. **Electron**, pp. 36-48, Jun./1989.

MOUBRAY, J. 1999. **Tutela responsável – a missão da manutenção**. Disponível em: <http://www.rcm2.com.br/sql-RCM2-tutela.html>. Acesso em: Fev./2000.

MOUBRAY, J. 1999. **Maintenance management – a new paradigm**. Disponível em: <http://www.maintenanceresource.com/ReferencesLibrary/RCM/MaintParadigm.htm>. Acesso em: Fev./2000.

MOUBRAY, J. **Reliability-Centered maintenance**. 2nd Woodbine: NJ Industrial Press Inc., 1997.

MOUSSAVI, S.; WHITMORE, K. Review of scheduled performance assurance inspections. **Journal of Clinical Engineering**, v. 18, pp. 159-64. Mar/Apr. 1993.

NEPOMUCENO, L. X. **Técnicas de manutenção preditiva**. São Paulo, Edgard Blücher, 1989, v.1.

PATTON JR, J. D. **Maintainability & maintenance management**. 3rd Instrument Society of America, 1994.

PEREIRA FILHO, J. S.; OLIVEIRA, L. F. S.; LIMA, J. E. P. A Utilização da inspeção baseada em risco para redução dos custos de inspeção e manutenção. In: V SEMINÁRIO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO PREDITIVA E INSPEÇÃO DE EQUIPAMENTOS. **Anais São Paulo**, pp. 147-162, 1999.

ROLIM, R. L. **Análise de confiabilidade para gerenciamento operacional de sistemas automatizados de pesagem rodo-ferroviária**. São Paulo, 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia e Automação Elétrica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SANTOS, M. S. R. S. **Projeto de oficina para manutenção de equipamentos biomédicos**. João Pessoa, 1998. Monografia (Especialização em Engenharia Clínica) - Centro de Ciências da Saúde, Universidade Federal da Paraíba.

SCARPINI, E., 1997. **Atuação dos profissionais de engenharia clínica**. Disponível em :[http://www.geocities.com/HotSprings/Spa/5646/atuacao\\_port.html](http://www.geocities.com/HotSprings/Spa/5646/atuacao_port.html). Acesso em: Fev./2000.

SILVA, C. J. Implantação de manutenção centrada em confiabilidade em máquina de corte de tubos de aço. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO. **Anais Salvador**, 1998. CD-ROM.

SIMMONS, D. A.; WEAR, J. O. **Clinical engineering manual**. 3ª ed. North Little Rock, Scientific Enterprises, 1988.

TAVARES, L. A. **Excelência na manutenção**. 2ª ed. Salvador; Casa da Qualidade, 1996.

TAVARES, A. L. **Filosofia da manutenção** – controle de manutenção por computador. Curso de Engenharia de Manutenção de Subestações – CEMAN92-SE/SC Convênio Eletrobrás – UFSC.

TESDAHL, S., A.; TOMLINGSO, P., D. 1997. **Equipment management breakthrough Maintenance strategy for the 21st century**. Disponível em: <http://www.metal.ntua.gr/msslab/MinellT97/papers/TS06/TS06.html>. Acesso em: Mar./2000.

VERRI L. A. Sucesso em paradas de manutenção. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO. **Anais** Salvador, 1998. CD-ROM.

MIRSHAWKA, V.; OLMEDO, N. L. **Manutenção – combate aos custos da não-eficácia – a vez do Brasil**. São Paulo: McGraw-Hill, 1993.

WEBSTER, J. G.; COOK, A. M. **Clinical engineering: principles and practices**. In: TOPHAM, W. S. **Preventive maintenance and repair**. Englewood Cliffs, Prentice - Hall, Inc. pp. 279-307, 1979.

WEBSTER, J. G. **Clinical engineering** – principles and practices. Prentice-Hall, 1979.

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.

## 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; é 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.

**Eficácia** – é a capacidade de um item atender a uma demanda de serviço de determinadas características quantitativas.

**Eficiência** – é fazer corretamente as coisas por meio da solução de problemas, da economia de recursos, do cumprimento com as obrigações e da diminuição dos custos.

**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.

**Inspeção** – ato de observar, examinar, vistoriar.

**Item** – qualquer parte, componente, dispositivo, subsistema, unidade funcional, equipamento ou sistema que possa ser considerado individualmente.

**Manutenabilidade** – 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, destinados a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item.

**Manutensibilidade** –avaliação da dificuldade de se efetuar o reparo em um determinado equipamento.

**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.

**Paciente** – pessoa que está sob cuidados médicos.

**Reparo** – parte da manutenção corretiva na qual são efetuadas as ações de manutenção efetiva sobre o item, excluindo-se os atrasos técnicos.

**Usuário** – responsável pela utilização do equipamento.

**Vida útil** – período de tempo no qual o equipamento é utilizado de forma a desempenhar suas funções requeridas.