

Gestão da Confiabilidade Tecnológica no Ambiente Hospitalar

Marcos Vinícius Lucatelli, Renato Garcia Ojeda e Wayne Brod Beskow



Brasil

PUBLICADO
1/3/2003

Este trabalho apresenta o processo de gestão da confiabilidade tecnológica, com enfoque especial à aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC/RCM) na gestão da manutenção de equipamentos médico-hospitalares, e os resultados alcançados em sete hospitais públicos da Grande Florianópolis, pelo Grupo de Pesquisas em Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Santa Catarina, no período de 1998 a 2000. No contexto deste estudo, a gestão da tecnologia médico-hospitalar é apresentada como função de Estruturas de Engenharia Clínica, que têm a responsabilidade relativa a todo o ciclo de vida da tecnologia, abrangendo desde seleção, compra, instalação, testes, treinamento de operadores e mantenedores, gestão da manutenção, até a substituição tecnológica, o que tem tornado fundamental a atuação de engenheiros clínicos na manutenção e aprimoramento da confiabilidade nesses ambientes.

INTRODUÇÃO

A elevada inserção de tecnologia em procedimentos de atendimento à saúde, embora os tenha qualificado e agilizado, originou um conjunto de situações, normalmente complexas de serem resolvidas, que caracterizam, na atualidade, o Gerenciamento da Tecnologia Médico-Hospitalar (GTMH), o que pode ser percebido nas suas diversas etapas.

Esse processo necessita ser desenvolvido por uma equipe de profissionais com perfil específico, o que tem motivado internacionalmente a expansão e o reconhecimento das atividades de Engenharia Clínica.

Segundo a definição do American College of Clinical Engineering, "o engenheiro clínico é um profissional que apóia e promove a segurança do paciente aplicando habilidades de engenharia e administração à tecnologia médico-hospitalar".

Esse perfil tem servido como interface entre os diferentes elementos envolvidos no processo de GTMH, qualificando-o em muito, tanto em aspectos técnicos - funcionalidade, segurança, disponibilidade, manutenibilidade e confiabilidade, como nos gerenciais - relacionados à organização dos serviços, à otimização no dispêndio de recursos e à gestão de pessoal -, aspectos potencializados com a adoção e implantação da MCC/RCM.

Ressalta-se, ainda, que a confiabilidade de equipamentos, procedimentos e sistemas é, hoje, uma das principais preocupações nos diversos segmentos da indústria e de serviços, os quais focalizam os riscos à segurança operacional, ao meio ambiente e à otimização dos recursos disponíveis. Nesse sentido, o setor hospitalar, classificado como um ambiente de gestão complexa, não é exceção, o que evidencia a necessidade de estabelecimento e aprimoramento da confiabilidade nesses ambientes.

GERENCIAMENTO DE TECNOLOGIA MÉDICO-HOSPITALAR

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

A área hospitalar, assim como as demais, acompanhou essa tendência global de incorporação de tecnologia, o que tem levado a inevitáveis transformações, muitas vezes não assimiladas, de sua

gestão e utilização pelos profissionais de saúde. A tecnologia tornou-se cada vez mais confiável e, em muitos casos, menos dependente de intervenções. Em contrapartida, o uso dessa tecnologia voltada ao paciente aumentou significativamente, ao ponto de transformar a atuação do médico quase que totalmente dependente de variáveis e resultados por ela fornecidos. Ainda que as necessidades de manutenção dessa tecnologia tenham diminuído, o aumento do número de equipamentos, de normas de segurança e funcionalidade, aliados à necessidade constante de atualizações e treinamento, exige uma gestão qualificada e especializada.

Faz-se necessário, por isso, a gestão de tecnologia médico-hospitalar através de estruturas de engenharia clínica que assumam responsabilidades, abrangendo os diversos aspectos relativos à tecnologia, como: a *aquisição*, enfocando o planejamento, a especificação, a escolha, o recebimento e a instalação; o *uso*, garantindo o aperfeiçoamento e a atualização constantes de operadores e técnicos; a *disponibilização*, mantendo programas de manutenção que assegurem o controle de riscos, a segurança e a confiabilidade dos equipamentos e, por fim, a *substituição*, determinada pelo final de um ciclo de vida custo-efetivo desejado.

A Emergency Care Research Institute (ECRI) define gerenciamento de tecnologia médico-hospitalar como "uma abordagem sistemática, responsável por garantir que equipamentos custo-efetivos, eficazes, seguros e apropriados estejam disponíveis para atender com qualidade a demanda do cuidado à saúde".

Carpio & Flores (1998) enquadram essa definição nas atividades realizadas na *gestion do mantenimiento* (forma análoga a gerenciamento de tecnologia), classificada em oito enfoques: compra, recepção/instalação, capacitação de operadores, manutenção preventiva (MP), manutenção corretiva (MC), controle de qualidade e gestão da informação. Como propõe Bronzino (1992), essas ações podem ser agrupadas em quatro etapas: aquisição, treinamento, gestão da manutenção e substituição. Analogamente a esses autores, Tesdahl & Tomlinsom (1997) abordam o ciclo de vida do equipamento através dos mesmos aspectos, porém com um número maior de etapas, conforme mostrado na Figura 1. Desse modo, a seguir, discute-se cada um desses pontos, com especial atenção à gestão da manutenção, tema deste trabalho.

Figura 1: A gestão de equipamentos, segundo o seu ciclo de vida

2.1 Aquisição

O processo de aquisição exige qualificação e conhecimento, envolvendo várias etapas e estudos prévios à compra de tecnologia, muitas vezes não realizados seja por desconhecimento seja por falta de preparo, sobretudo em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS) de países em desenvolvimento.

2.1.1 Planejamento

Dentre as etapas do processo de aquisição de tecnologia, a primeira delas consiste no planejamento tecnológico estratégico, o qual envolve dois diferentes níveis de implantação: os níveis macro e micro, de acordo com o nível gerencial envolvido.

O nível macro caracteriza-se por retratar as diretrizes globais, em nível municipal, estadual e até nacional, de utilização ou incorporação de tecnologia, segundo os planos diretores que envolvem diversos aspectos, como localização geográfica, demografia, sistema viário, cultura, recursos tecnológicos, índice de desenvolvimento social, complexo econômico regional, epidemiológico, etc.

Por outro lado, o nível micro é representado pelo planejamento da instituição, no qual diretrizes internas direcionam a aquisição de tecnologia.

2.1.2 Especificação

Nessa etapa da aquisição, mediante a comprovação da sua necessidade e viabilidade de compra segundo o planejamento e a disponibilidade de recursos, o departamento de engenharia clínica, através do engenheiro responsável, deve interagir com a equipe clínica (médicos e enfermeiros), que possui experiência na área, a fim de estabelecer as necessidades clínicas que deverão ser supridas pela nova tecnologia.

A interação com a equipe clínica é fundamental e indispensável para a utilização plena da tecnologia, evitando a evidente subutilização e o desperdício de recursos. Com base nisso, podem-se estabelecer os objetivos clínicos gerais, quantificar o tipo e número de variáveis fisiológicas, sejam elas mensuradas, gravadas ou analisadas, juntamente com o nível de exatidão requerida e, por fim, a sua utilidade clínica.

Ainda nessa fase, são estabelecidas as necessidades de documentação técnica, treinamento de técnicos e termo de garantia, entre outros pré-requisitos.

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

2.1.3 Recebimento e Instalação

Finalizada a etapa de aquisição de tecnologia, efetiva-se seu recebimento e instalação. No recebimento deve-se dar especial atenção à verificação e comparação de todos os itens listados no pedido de compra ou nos termos licitatórios, de modo que estes sejam conferidos e atendidos, estando-se alerta a acessórios, peças de reposição, normas, etc., sob pena da não-aceitação do equipamento e posterior não-pagamento, no caso do não-atendimento de item (s).

É imprescindível que a montagem do equipamento seja realizada ou, pelo menos, acompanhada por um representante da empresa fornecedora, além de um membro da equipe de engenharia clínica, e que sejam feitos os testes funcionais e de segurança de acordo com o especificado por normas compatíveis, para que, no caso de inadequações ou defeitos constatados, exija-se a substituição ou manutenção com proporcional "manutenção" do período de garantia.

A instalação do equipamento deve ser precedida por uma série de medidas que visam prevenir erros de adequação. Dentre os pré-requisitos de instalação exigidos, citam-se:

- o espaço físico deve ser observado para todo equipamento adquirido, principalmente quando esse possui grande dimensão, evitando-se, assim, o problema de indisponibilidade física, tradicionalmente morosa para a disponibilização;
- a infra-estrutura exigida engloba todos os requisitos necessários ao funcionamento do equipamento, tais como: exigências elétricas (número de fases, corrente e tensões exigidas), circuito de emergência compatível, disponibilidade de gases (ar condicionado ou comprimido, oxigênio, óxido nitroso, vácuo) e outras exigências especiais, como água tratada, iluminação, radioproteção, etc.;

- condições especiais de operação, tais como temperatura, umidade, vibração e campos elétricos e magnéticos.

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

2.2 Treinamento

O aumento da utilização e a diversificação de EMH nos Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS) levaram ao aumento das atividades exercidas pelos setores. A complexidade tecnológica exige profissionais conhecedores dos novos métodos, dos novos conceitos e tendências para um melhor desempenho de suas funções.

Na atualidade, muito se discute sobre a forma de melhorar a qualidade do atendimento na área da saúde sem, entretanto, se considerar os problemas que representam o uso inadequado dos equipamentos, como também a qualidade dos serviços de manutenção.

Geralmente, o profissional, por não ter acesso aos treinamentos, obtém o conhecimento na prática, através de colegas, ou empiricamente, sem ter, portanto, acesso a um aprendizado sistemático e de qualidade. Por isso, é de extrema importância que os treinandos recebam instruções sobre os equipamentos com os quais irão trabalhar e por profissionais capacitados, sejam técnicos da empresa ou engenheiros clínicos. A meta principal de um treinamento deve ser assegurar que os profissionais estejam devidamente orientados para realizar um trabalho responsável.

O treinamento de operadores e técnicos deve ser regular e contínuo, visando a sua atualização e aperfeiçoamento no que diz respeito à correta utilização e suporte, garantindo a segurança e a confiabilidade nos procedimentos. A capacitação dos usuários não pode ser desenvolvida apenas no período de instalação do equipamento, mas em todo o período de sua vida útil. O treinamento pode ser realizado *in loco*, mediante a constatação da necessidade; individualmente ou, em caso da detecção de uma "carência crônica", a equipe de engenharia clínica deve estabelecer horários compatíveis para a realização de um treinamento orientado a esses operadores.

2.3 Gestão da Manutenção

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

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

A manutenção planejada de equipamentos e instalações médico-hospitalares é, em muito, baseada em padrões e normas da área industrial, tendo sempre por primeira premissa o fato que a manutenção não é o objetivo; o objetivo primeiro é a disponibilidade do equipamento, que se utiliza da manutenção como um meio para alcançar tal objetivo.

Nos últimos vinte anos, a Organização Mundial da Saúde (World Health Organization - WHO) tem feito muitos esforços para compensar essas utilizações inadequadas de recursos, investindo no treinamento de técnicos em manutenção e, em menor grau, na educação de engenheiros.

Pesquisas realizadas em nível latino-americano indicam, segundo a Organização Panamericana de Saúde (OPS), que, dos equipamentos existentes, o percentual de indisponibilidade por falta de algum aspecto referente ao gerenciamento oscila entre 30% e 96%, dependendo do tipo, especialidade, complexidade e fonte de financiamento do hospital limites esses considerados intoleráveis na atualidade.

Esse mesmo pesquisador descreve a situação da tecnologia em EAS da Argentina, apontando que 68% dos equipamentos estão indisponíveis, dos quais 8% devem-se a falhas normais; 9%, a instalações inadequadas; 12%, a falhas catastróficas⁴ e, como a principal causa, o uso inadequado, respondendo por 71% da indisponibilidade de EMH.

Manutenção Corretiva - Sem dúvida, a política de manutenção predominante geralmente em qualquer EAS é a corretiva, utilizada em todos esses ambientes e, na grande maioria das vezes, sendo a única empregada. Essa é a realidade encontrada em países em desenvolvimento, onde a preocupação é restaurar o equipamento não importando a verificação de sua funcionalidade e segurança.

Do mesmo modo, uma pesquisa realizada pela Associação Brasileira de Manutenção - Abraman, envolvendo vinte setores da indústria brasileira, dentre eles o hospitalar, indicou a supremacia da MC. Segundo a Abraman, através do documento intitulado A situação da manutenção no Brasil, publicado em 1999, por ocasião do XIV Congresso Brasileiro de Manutenção, a MC representa 48,72% dos recursos aplicados na manutenção.

Cabe ressaltar, entretanto, que o índice apresentado não retrata a realidade encontrada na grande maioria dos hospitais brasileiros, os quais não possuem um sistema de controle de custos ou de gerenciamento de manutenção, o que, certamente, elevaria esse índice a patamares superiores a 80%. Lucatelli (1997) estimou o percentual de MC realizada no Hospital Universitário da Universidade Federal de Florianópolis em, aproximadamente, 90%.

Mesmo em países desenvolvidos, onde a formação e qualificação dos profissionais de engenharia clínica e os recursos disponíveis, tanto de infraestrutura como tecnológicos, não representam fatores que dificultam o gerenciamento da tecnologia, o índice de atividades de manutenção corretiva de técnicos em equipamentos médico-assistenciais representa 66,67% das horas trabalhadas em manutenção.

Manutenção Preventiva - A aplicação da MP em EMH teve início há trinta anos nos Estados Unidos, por influência da sua utilização na indústria a partir de 1950, em razão da pressão exercida pela sociedade por equipamentos mais seguros e confiáveis. No Brasil, entretanto, surgiu apenas no final da década de 1980, buscando diminuir custos e prolongar a vida útil dos equipamentos.

Segundo Webster (1979), um programa de MP bem estabelecido e eficiente pode aumentar a produtividade de um serviço em 25%, diminuir os custos de operação em até 30% e aumentar em 50% o tempo de vida útil dos equipamentos.

Entretanto, nem todo EMH pode/deve ser inspecionado periodicamente, como determina o Ministério da Saúde (1995). A manutenção utiliza-se de duas políticas básicas: a correção e a prevenção de defeitos. A primeira caracteriza-se pela atuação somente após a ocorrência da falha; a segunda, por procedimentos que visam antecipar-se à falha e corrigi-la.

É necessário, portanto, a correta dosagem das políticas para que não se dependa da irracionalidade da gestão de recursos e das conseqüências de uma estratégia puramente curativa e para que se evite o desperdício de recursos, tanto humanos quanto financeiros, provocada por uma estratégia totalmente programada. Nesse sentido, um estudo feito por Bem-Zvi (1982) mostra que um procedimento médio de MP de duas horas realizadas sobre 3.500 equipamentos semestralmente exigiria 14.000 horas/homem por ano. Levando-se em conta que

se dispunha de 35 horas/semana/técnico, necessitar-se-ia de oito técnicos dedicados exclusivamente à MP, ignorando-se férias, doenças, ou feriados, ou seja, a MP deve, imperiosamente, ser seletiva para que seja economicamente viável [16].

Segundo a Abramam (1999), o percentual de aplicação de recursos da MP gastos na realização de tarefas programadas preestabelecidas na área hospitalar é de 34,19%. Esse índice situa-se dentro dos padrões mundiais na medida em que em países do Primeiro Mundo representa 33,34% [9].

Manutenção Preditiva - Esta política de manutenção procura apurar a condição e o estado do equipamento, não se baseando em critérios estatísticos ou cronológicos, mas, sim, realizando o controle de parâmetros dos equipamentos, como a análise da natureza das partículas presentes no lubrificante (espectrometria); desgastes através de exames microscópicos transferidos ao lubrificante (ferrografia), detecção de fissuras estruturais (ultra-som), além da mensuração de velocidade, ruído, aquecimento, vibração, desalinhamento, entre outros[11].

A manutenção preditiva (MPd) surgiu há, aproximadamente, trinta anos, tendo sido adotada amplamente pela indústria, como mencionado anteriormente; entretanto, as técnicas utilizadas para monitoração da condição são possíveis em apenas

20% dos modos de falhas e somente na metade desses casos justifica-se o investimento necessário [17].

A aplicação de técnicas de manutenção preditiva em EAS, considerando-se a abordagem empregada até então, é bastante restrita e seletiva, basicamente respondendo pela monitoração das condições predial ou de infra-estrutura (rede de gases, rede elétrica - na monitoração de subestações, por exemplo). Tal constatação é explicada pelas características construtivas dos EMH, majoritariamente eletroeletrônicos, quando os melhores resultados alcançados pela MPd são em sistemas hidráulicos, pneumáticos ou mecânicos. Nesse sentido, Dunn (1998) alerta que "qualquer um com experiência em equipamentos eletrônicos perceberá que as falhas são totalmente imprevisíveis", o que limita muito a utilização da MPd em EAS [18].

Em contraponto, a Abramam (1999) relata que o percentual de aplicação dos recursos na manutenção para a área hospitalar é de 17,09% no Brasil. Além disso, cita que, dos hospitais participantes da pesquisa, 33,34% não utilizam monitoração da condição de equipamentos; 44,44% utilizam-se de monitoramento manual; 22,22% valem-se de coletores e programas para coleta de dados de monitoração da condição e nenhum dos participantes adota monitoramento automático [12].

MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

Através do estudo dos procedimentos e técnicas da MCC, identificaram-se suas características, métodos e preceitos, utilizados na indústria com vistas a serem aplicados a EMH, e as particularidades encontradas em EAS. Nesse sentido, almeja-se aproximar as inovações das políticas e metodologias de manutenção, grandemente consagradas na indústria, em razão, sobretudo, da necessidade de sobrevivência imposta pelo mercado globalizado. Porém, apesar do alto nível tecnológico e científico empregado na indústria e de o setor de manutenção ser uma das principais fontes de diferenciação de qualidade e competitividade, normalmente responsável pela maior parte dos custos operacionais totais da empresa - em torno de 35%, valor que, por vezes, pode ser multiplicado por 300% em razão do impacto da quebra [19] -, o retrato da gestão da manutenção no setor da saúde, na maioria dos casos, ainda é encarado como uma fonte inesgotável de gastos, "um mal necessário".

O estabelecimento de uma metodologia de manutenção custo-efetiva, como propõe a MCC, é de fundamental importância na área hospitalar, em virtude de suas exigências e características tecnológicas (diversificada e complexa), apesar de, ainda hoje, principalmente em países

emergentes, serem utilizadas metodologias ultrapassadas, subaproveitadas, ou simplesmente nem se as utilizarem. Diversas estatísticas retratam essa realidade, entre as quais as de Lamberti, o qual indica que o índice de equipamentos médicos fora de uso gira em torno de 50%, chegando, em alguns casos, a 75%. Isso se deve à falta de infra-estrutura adequada para instalações (não atendendo aos requisitos do equipamento), falta de orientação de operadores ou danos não solucionados por falta de peças, documentação técnica ou preparo técnico [9].

Por conseguinte, os benefícios oferecidos pela MCC enquadram-se na expectativa de satisfação das necessidades presentes em EAS, caracterizados pela criticidade própria do ambiente hospitalar e das conseqüências oriundas da indisponibilidade e/ou inadequação das funções dos equipamentos, tanto sociais como econômicas. Mediante isso, o estudo das necessidades individuais de cada item e das políticas de manutenção mais adequadas, segundo suas características e custos inerentes, como propõe a MCC, foi desenvolvido visando à disponibilização da função requerida, ao invés de se manter o equipamento como proposto pelas metodologias empregadas atualmente.

A adoção da MCC nos diversos setores de bens e serviços tem revertido em benefícios, que, de maneira genérica, resultam no aumento da disponibilidade dos itens físicos, da segurança, tanto ambiental como de operadores, além da redução significativa de estoques de peças sobressalentes e do número de horas trabalhadas.

A MCC é uma metodologia utilizada para assegurar que qualquer item, sistema ou processo mantenha suas funções, controlando os riscos de segurança e integridade ambiental, a qualidade e a economia, por meio das políticas de manutenção existentes. Fleming define MCC como "uma consideração sistemática das funções do sistema, o modo como estas funções falham e um critério de priorização explícito baseado em fatores econômicos, operacionais e de segurança, para a identificação de tarefas de manutenção aplicáveis e custo/eficientes" [20].

Dessa definição podem ser extraídos os quatro objetivos principais e fundamentais que a MCC propõe, quais sejam [17] [20]:

- preservação da função do sistema;
- identificação das falhas funcionais e aplicação do método de análise dos efeitos e modos de falha (Failure Modes and Effects Analysis - FMEA);
- classificação e priorização das falhas funcionais segundo suas conseqüências;
- elaboração das atividades de manutenção segundo a viabilidade técnica e a otimização da relação custo/benefício, utilizando um Diagrama de Decisão.

3.1 Proposta de Aplicação

O método proposto pela MCC é resumido por Tesdahl & Tomlison e mostrado na Figura 2 [19]. A MCC emprega diferentes conceitos, mas não novos, no ambiente da manutenção. Entretanto, ela contradiz os preceitos tradicionais adotados, sobre tudo no âmbito hospitalar, de que a confiabilidade do equipamento é inversamente proporcional a sua idade operacional. Através do enfoque da preservação das funções dos itens, proporciona a identificação da natureza das falhas, o que resulta na redução direta de suas conseqüências.

Figura 2. Processo passo a passo de aplicação da MCC.

1 - Seleção dos equipamentos mais importantes

Processos de seleção ou priorização de equipamentos buscam a realização de atividades de manutenção que sejam importantes e necessárias, evitando-se, assim, desperdício de tempo e recursos, tanto materiais como humanos, em atividades ineficientes, do tipo sala a sala ou peça a peça [Capuano]. A priorização, assim, direciona o objetivo da manutenção para que, ao invés de "tentar realizar tudo", "busque fazer o que é necessário ser feito".

A seleção dos equipamentos no ambiente hospitalar é essencial ao bom andamento das atividades realizadas pela manutenção e à otimização dos recursos administrados pelo setor. A execução indiscriminada de atividades programadas de manutenção em EAS acarreta uma série de dificuldades ao setor, ainda mais considerando-se que a maioria das instituições de saúde possui uma quantidade limitada de técnicos em suas equipes de manutenção. Segundo Scarpini (1997), apenas 2% dos hospitais brasileiros possuem equipe própria de manutenção de equipamentos médicos [21].

Dentre a variada gama de métodos de seleção de equipamentos existentes, que incorporam desde a utilização do *feeling* de mantenedores até diversos critérios, tais como custos, importância clínica, grau de utilização, localização, risco, exigências de manutenção, recomendações do fabricante, entre outros, faz-se necessária a adaptação dos critérios para a obtenção de uma proposta particular aplicável à realidade do Brasil.

Para o desenvolvimento e conclusão dos trabalhos futuros, é proposta a aplicação dos critérios propostos pela American Hospital Association (1996), a qual fornece uma listagem completa de equipamentos, escores, procedimentos, frequências,

etc. [22]. Entretanto, apesar da utilização de procedimentos e critérios já estabelecidos, a metodologia MCC exige a consideração das especificidades de cada equipamento em seu contexto operacional (tempo de utilização, infraestrutura disponível, qualificação de operadores, condições operacionais, etc.).

2 - Identificação das funções dos sistemas/equipamentos O que, exatamente, cada equipamento selecionado faz em seu contexto operacional? Para dar resposta a essa pergunta é necessária a identificação das funções dos equipamentos, o que se apresenta como uma das atividades mais trabalhosas do processo MCC, derivando os passos seguintes. Primeiramente, a identificação das funções exige um aprofundado conhecimento pelo executor das funções exercidas pelos equipamentos selecionados. De modo genérico, ele deve estabelecer as funções

primárias e, posteriormente, subfunções (funções secundárias) atribuídas a cada subsistema do equipamento.

Essa fase é estabelecida através de reuniões periódicas, nas quais, com base no conhecimento de mantenedores especializados e de outros profissionais com formação e qualificação diversas, são discutidas e levantadas as funções dos sistemas/equipamentos selecionados.

3 - Estabelecimento de padrões de desempenho Qual é o nível de desempenho esperado para o equipamento nas condições sob as quais ele opera? Mediante a determinação das funções dos equipamentos selecionados, busca-se, então, definir a variação dos níveis de aceitabilidade de uma função.

Os EMH, em sua grande maioria, possuem seus parâmetros principais de funcionalidade regidos por normas nacionais e, na falta dessas, pelas internacionais, que estabelecem os níveis aceitáveis de funcionalidade (falha X falha funcional) para cada parâmetro avaliado.

4 - Determinação dos padrões de falha

A falha é constituída de qualquer condição que não permita que o equipamento atinja um padrão de desempenho estabelecido. Nesse sentido, o reconhecimento e identificação do padrão do modo de falha constituem parte fundamental no estabelecimento de programas de manutenção.

O estudo realizado por Nowlan e Heap em 1978 reconhece seis padrões de modos de falhas, mostrados na Figura 3, que estabelecem a quebra de paradigma em programas tradicionais de MP, principalmente em EAS, os quais se baseiam no padrão da curva da banheira (padrão A) para a definição de suas rotinas. O estudo mostra que apenas 11% dos modos de falhas correspondentes aos padrões A, B e C são regidos pelo desgaste, deterioração ou fadiga, com períodos de vida e descarte definidos, contudo extrapolados para todos os EMH [17].

Figura 3. Tipos de padrões de modos de falhas e respectivos percentuais levantados a partir do estudo em aeronaves.

Entretanto, o estudo de Nowlan e Heap mostram ainda que os padrões que melhor representam os equipamentos eletroeletrônicos, a grande maioria dos EAS, são representados pelos modos D, E e F na Figura 3, os quais melhoram pouco ou nada a sua confiabilidade mediante a execução da MP, pois a probabilidade de ocorrência da maioria das falhas com o envelhecimento do equipamento é baixa. De fato, restaurações ou descartes programados de itens têm grande chances de reintroduzir falhas em virtude de diversos fatores, resultando na "mortalidade infantil" do item.

5 - Listagem das conseqüências de falhas

Em que resulta cada falha específica? Uma vez definidas e listadas as falhas funcionais e os modos de falhas possíveis para cada EMH selecionado, devem-se, então, determinar e registrar as conseqüências de cada falha funcional.

Essa fase do processo MCC é de suma importância para o sucesso da sua implantação, pois, nos resultados ou definições obtidos aqui, serão baseadas as etapas posteriores, inclusive a determinação das políticas de manutenção.

6 - Classificação das conseqüências de falhas

Por causa do aumento da complexidade dos equipamentos, o número de modos de falhas se multiplicaram. Entretanto, as suas conseqüências dentro de uma organização podem ser classificadas em quatro grupos distintos, numa divisão que representa a base fundamental do diagrama de decisão na determinação das políticas de manutenção para cada função [17]:

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

Nesse sentido, o processo MCC avalia o resultado de cada falha funcional, visando balancear aspectos primordiais, os de segurança e os econômicos, de modo que se obtenha maior segurança com o melhor custo-benefício possível. A esses aspectos se relacionam diretamente, sobretudo, as conseqüências à segurança física, humana ou ambiental, altamente presentes em EAS em razão da natureza construtiva e operacional dos equipamentos empregados. Em segundo lugar, as conseqüências operacionais, ou seja, aquelas relacionadas diretamente às perdas econômicas resultantes das falhas, não envolvem apenas custos de conserto, mas também perdas decorrentes da indisponibilidade dos EMH (por ex.: falta de vagas na UTI, cancelamento de cirurgias e exames).

Uma particularidade dos EAS em relação ao setor industrial é a estreita relação existente entre perdas econômicas e conseqüências físicas a pacientes, os quais podem ter um quadro clínico agravado ou irreversível em razão da indisponibilidade tecnológica.

Desse modo, a manutenção de EMH em EAS deve visar à eliminação ou minimização em níveis aceitáveis das conseqüências à segurança e operacionais, sem, entretanto, descuidar-se das conseqüências ocultas, que podem levar aos mesmos prejuízos.

7 - Determinação das políticas de manutenção

A partir do ranqueamento das conseqüências das falhas funcionais, da aplicação do diagrama e preenchimento da planilha de decisão, tem-se como resultado a determinação, de forma sistemática e lógica, das políticas de manutenção mais indicadas tecnicamente e mais custo-efetivas para cada EMH.

4 RESULTADOS

4.1 GTMH em Sete Hospitais Públicos Estaduais em Santa Catarina

A equipe de Engenharia Clínica do Grupo de Pesquisas em Engenharia Biomédica (GPEB), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), iniciou suas atividades, inéditas na rede pública estadual, em 16 de janeiro de 1998.

Essas atividades, visam fornecer o suporte necessário a todo o processo pelo qual a tecnologia médico-hospitalar passa, iniciando pela sua especificação e avaliação das propostas, passando pelo recebimento, instalação, treinamento de operadores e todas as atividades necessárias para manter o equipamento de acordo com o especificado pelo fabricante, incluindo o que tange à manutenção.

O processo encerra-se e, ao mesmo tempo, reinicia-se com a retirada do equipamento de operação pela sua obsolescência ou pela relação custo/eficiência não ser mais justificada [23].

A gestão de tecnologia é realizada, atualmente, em sete hospitais com ampliação prevista para mais três, hospitais esses da rede pública estadual integrados ao sistema, conforme necessidade detectada por meio de um inventário de equipamentos e situação desses realizado em 1996. A essa estrutura de engenharia clínica implantada nesses hospitais chamou-se Centro Local de Engenharia Clínica (Celec), que possui uma equipe técnica formada, basicamente, por um engenheiro, um técnico e um estagiário, com possíveis variações de acordo com a necessidade e demanda local. Esta estrutura atende principalmente à tecnologia alocada nas unidades de tratamento intensivo (UTI) e centro cirúrgico (CC), onde, sabidamente, há uma maior concentração de tecnologia [23].

O contexto de desenvolvimento e aplicação do GTMH envolve o cenário de sete hospitais públicos que passaram a adotar um modelo composto por três níveis de abrangência: Nível Local, Nível de Referência Regional e Nível de Referência

Estadual, descritos a seguir [24]:

- **Nível Local** - representado por Centros Locais de Engenharia Clínica, implementados em diversos hospitais, tornando-se os responsáveis por todo o gerenciamento neste nível. A carga desses centros ficam as seguintes responsabilidades: acompanhamento da rotina de utilização dos equipamentos; identificação e diagnóstico de problemas com equipamentos; solicitação e acompanhamento de manutenção terceirizada; avaliação de orçamentos de serviços de terceiros; avaliação e programação de contratos de manutenção; execução de manutenção; suporte à especificação técnica para novas aquisições; identificação de necessidade de treinamento dos operadores (médicos, enfermeiros, técnicos em enfermagem); treinamento de operadores e mantenedores; execução de testes funcionais; estruturação administrativa e documental.
- **Nível de Referência Regional** - representado pelo Centro de Referência Regional, o qual desempenha as funções de gerenciamento e orientação técnica de referência para a região, bem como sistematizar os dados gerados em cada Celec, encaminhando-os periodicamente ao nível gestor na forma de relatórios com conteúdo técnico e econômico.
- **Nível de Referência Estadual** - representado pelo Centro de Referência Estadual instalado na UFSC, servindo fundamentalmente para a formação de recursos humanos, além de centralizar a solução de problemas de GTMH em nível macro. A Figura 4

apresenta uma descrição do avanço das responsabilidades da equipe de engenharia clínica do GPEB/UFSC, categorizando-o, assim como fez Bronzino (1992), em cinco níveis [4].

Os resultados apresentados a seguir referem-se aos dados coletados mensalmente através de relatórios mensais, num período de 36 meses, compreendidos entre janeiro de 1998 e dezembro de 2000.

De posse dos dados coletados e revisados, torna-se possível apresentar algumas "visões quantitativas" relacionadas ao desempenho dos níveis operacionais representados pelas estruturas locais. De forma sumária, a Tabela I apresenta alguns indicadores.

Figura 4: Evolução da responsabilidade da equipe GPEB/UFSC frente ao processo GTMH, em níveis cumulativos [24].

O comportamento sazonal da eficiência média do sistema é apresentado na Figura 5.

Figura 5: Eficiência Média Mensal ao longo dos 36 meses analisados, Média Global de 69,82% OS Concluídas ao Mês [24].

Figura 6: Distribuição das Horas Monitoradas em Atividades Internas, agrupadas nas principais ações realizadas pelo sistema [24].

4.2 Implementação da MCC em EMH

Com base no estudo da MCC no ambiente industrial, realizado no desenvolvimento de uma tese de doutorado, a qual exigiu extensa pesquisa bibliográfica e a participação em diversos eventos voltados ao tema (seminários, congressos e *workshop*), e na experiência acumulada em EAS, foi possível levantar as características, métodos e aplicações da metodologia, além de possibilitar o delineamento de uma estratégia de implementação para o setor hospitalar.

A MCC, assim como conceitos gerais relacionados à manutenção, são aspectos pouco conhecidos e difundidos entre a equipe técnica do GPEB atuante nos hospitais públicos estaduais de Florianópolis. Essa constatação motivou uma convocação geral dos membros da equipe para a explanação, introdução e nivelamento dos participantes frente à MCC e aos conceitos básicos de manutenção.

Nesta primeira reunião geral, 18 participantes, com diferentes níveis de formação (engenheiros, técnicos e acadêmicos), contemplando todos os sete hospitais da estrutura, receberam informações sobre os seguintes aspectos (a equipe é formada composta por 44 profissionais):

- evolução da manutenção;
- histórico da confiabilidade e da MCC;
- conceitos básicos de manutenção (falha, disponibilidade, manutenibilidade, confiabilidade);
- políticas de manutenção (corretiva, preventiva, preditiva e detectiva);
- objetivos da MCC;
- FMEA;
- consequências de falha;
- diagrama de decisão;
- planilhas de informação e decisão;
- processo da MCC;
- resultados e benefícios da MCC.

Ao final dessa reunião, a equipe escolheu como objeto do primeiro estudo de caso o Sistema de Ar Comprimido Medicinal do Hospital Governador Celso Ramos (HGCR), por tratar-se de um problema crônico, considerado de baixa complexidade e por ser parte do tema de uma dissertação de mestrado em andamento.

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

1. engenheira em curso de mestrado, com dissertação cujo tema é "Sistema de Abastecimento de Gases Medicinais";

2. engenheiros eletricitas com mestrado em Engenharia Biomédica atuantes em quatro diferentes hospitais;
3. engenheiros eletricitas com mestrado em Engenharia Biomédica com, pelo menos, sete anos de experiência;
4. técnicos em mecânica e elétrica especialistas em EMH, com, pelo menos, dez anos de experiência.

O número de participantes da equipe de revisão, onze no total, pode, inicialmente, ser considerado demasiado, como sugerem alguns autores [25]. Entretanto, um dos principais objetivos dessa equipe é formar multiplicadores, conhecedores da metodologia, e disseminadores do conhecimento nos diferentes hospitais em que atuam.

Uma vez definida a equipe de revisão e escolhido o Sistema de Ar Comprimido do HGCR como objeto de análise, estabeleceu-se a periodicidade das reuniões, uma vez por semana, e sua duração, duas horas e meia por encontro.

A contextualização do problema foi feita pelo técnico especialista, o qual fez a descrição do sistema, além de explicar o funcionamento individual de cada uma de suas partes. O sistema de ar comprimido do HGCR é composto por quatro elementos básicos: um compressor, dois reservatórios, um secador de ar e uma armadilha de água. A equipe de revisão optou por "olhar" o sistema como um item único, formado pelas diferentes partes.

A forma de apresentação dos resultados foi definida conforme proposto por Sales(2000) [26]:

resumo geral:

- 5 funções;
- 5 falhas funcionais;
- 27 modos de falhas.

estrutura dos modos de falha:

- 27 tem conseqüências de segurança;
- 25 tem conseqüências operacionais;
- 2 sem conseqüências operacionais.

estrutura das tarefas de manutenção:

- 5 são tarefas de MPd;
- 5 são tarefas de MP;
- 9 são tarefas de reprojeto;
- 5 são tarefas de MC.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

O modelo de GTMH desenvolvido pelo GPEB/UFSC no estado de Santa Catarina é baseado, fundamentalmente, na atuação de profissionais com qualificação e formação específicos no trato de EMH (o engenheiro clínico), buscando, em todas as fases do processo, o estabelecimento e aprimoramento da qualidade, fundamentalmente pela adequação ao uso.

Nesse sentido, reforça-se que a atuação de profissionais de engenharia clínica em todas as fases do GTMH é fundamental para a manutenção e o incremento da confiabilidade dos EMH, tornando-se um direcionamento inevitável no futuro a contemplação de todo EAS com essas

estruturas. O estado de SC possui 228 hospitais e o modelo desenvolvido pelo GPEB prevê 8 macro-regiões.

Os resultados mostrados na seção 4.1 embasam essas colocações, indicando, por exemplo, que o Celec realiza internamente 66,17%, em média, das ordens de serviço geradas mensalmente, o que se traduz em: maior disponibilidade dos equipamentos e maior agilidade na solução dos problemas. Deve-se considerar, nesse sentido, que todos os sete hospitais atendidos possuem uma equipe de manutenção generalista, formada por pintores, encanadores, mecânicos e eletricitistas, ou seja, sem profissionais especializados em EMH. Por essa razão, antes da implantação das estruturas, a quase totalidade dos reparos era realizadas por empresas terceirizadas, o que exigia o levantamento de, pelo menos, três orçamentos de empresas diferentes e a solicitação da aprovação pela Secretaria de Estado da Saúde, demandando expressiva quantidade de tempo (indisponibilidade do equipamento).

Outro aspecto relacionado é que os hospitais não possuíam equipamentos analisadores/simuladores, utilizados para a determinação da funcionalidade dos EMH, resultando, muitas vezes, na desconfiança (falta de confiabilidade) dos operadores em relação aos equipamentos. A Figura 6 retrata, de maneira genérica, esses e outros indicadores relacionados às principais atividades realizadas pelas equipes Celec nos hospitais constituintes da estrutura.

A implementação da MCC no Sistema de Fornecimento de Ar Comprimido do HGCR forneceu subsídios para diversas conclusões preliminares, relativas à inserção dessa metodologia em EAS.

Deu-se início aos trabalhos em 25 de maio de 2001, com a palestra de nivelamento dos conceitos, na qual se observou que os conceitos abordados constituíam aspectos pouco conhecidos pela maior parte dos participantes nos diferentes níveis. Nesse sentido, especial debate foi levantado a respeito da manutenção preventiva, realizada até então, em razão da sua definição. Questão levantada..."a avaliação periódica de parâmetros de funcionalidade caracteriza ma atividade de manutenção preventiva ou preditiva, já que, de certa forma, são avaliadas as condições do equipamento".

A partir daí, e com o início das discussões sobre o estudo de caso, dificuldades foram sendo percebidas, sobretudo, em relação à pontualidade do início das reuniões, pela diversidade de hospitais em que os membros atuam, e ao controle dos debates relativos ao tema, em razão do número de participantes, prejudicando a efetividade das reuniões. Ressalta-se que o número de participantes da equipe de revisão, onze no total, tem como objetivo formar multiplicadores, conhecedores da metodologia, e disseminadores do conhecimento nos diferentes hospitais em que atuam.

Dentre as constatações estabelecidas com base na análise do problema abordado, ressalta-se que o incremento do conhecimento a respeito do sistema é inevitável, proporcionando uma visão muito clara das suas funções, de como elas são efetivadas (funcionamento), do que causa a sua indisponibilidade, possíveis efeitos de sua indisponibilidade, como também se discutem e, por consequência assimilam-se, os aspectos relativos às normas pertinentes.

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

Além dessas conclusões preliminares, e tomando-se por base a metodologia para EAS, pretende-se alcançar resultados semelhantes aos obtidos pela implementação da MCC na indústria, os quais são bastante significativos.

Em relação à manutenção (na indústria), a partir da aplicação da MCC pode-se obter uma redução na quantidade de horas de manutenção total em até 29% [18].

Através desse índice pode-se inferir que, no ambiente hospitalar, além do incremento da vida útil dos EMH, a redução das atividades de manutenção resulta em diversos ganhos para diferentes setores do EAS. A administração terá uma queda significativa nos custos operacionais já que, de acordo com Tesdahl & Tomlingson, os custos com a manutenção de equipamentos extrapolam facilmente um terço dos custos operacionais totais da organização [19]. Os operadores dos EMH, por sua vez, terão um aumento proporcional de disponibilidade dos equipamentos, como também um incremento substancial de produtividade do setor. Por fim, o setor de manutenção, mediante a otimização de suas atividades, pode delegar uma maior atenção a atividades de caráter próativo, tais como treinamento de operadores, atividades de busca de causa de falha-raiz ou o desenvolvimento de procedimentos e rotinas pertinentes à certificação da qualidade do setor.

Outro resultado da correta aplicação da MCC na indústria é a redução significativa da quantidade de horas de trabalho na manutenção programada de até 87% [18].

Essa estimativa, se confirmada em EAS, refletirá diretamente, primeiramente, na redução de estoques de peças sobressalentes, o que se traduz em uma redução significativa dos custos de manutenção em razão dos altos valores cobrados tanto por EMH quanto por peça de reposição. Outro ganho resultante é a otimização da equipe técnica, a qual pode ser reduzida conforme a demanda de trabalho, assim como a possibilidade de uma dedicação mais efetiva em outros aspectos do gerenciamento de tecnologia médica, como o treinamento de operadores/mantenedores. Nesse sentido, o aprimoramento da eficiência e disponibilidade de EMH será incrementado, já que a grande maioria das causas de indisponibilidade de EMH deve-se ao mau uso desses, como mostrou Carpio & Flores, em estudo feito na Argentina, onde esse índice chegou a 71% [5].

Conseqüentemente, em virtude da redução dos índices das horas trabalhadas, tanto de manutenção total como da manutenção programada, a MCC pode proporcionar uma redução dos custos de materiais de manutenção em até 64% na indústria [18]. Pela redução do número de horas despendidas com atividades de manutenção e de manutenção programada, pode-se estimar uma redução significativa dos estoques de sobressalentes, como também de peças de reposição, o que se refletirá na proporcional redução dos custos de operação em EAS.

Além da redução dos custos operacionais, a correta aplicação da MCC resulta no aumento na disponibilidade de equipamentos em até 15% [18]. Esse índice alcançado na indústria pode ser significativamente aumentado em EAS quando da aplicação da MCC, em virtude do grande percentual de EMH fora de uso em países emergentes, estimados em 50-75% por Lamberti [9] e de 30-96% por Carpio & Flores [5]. Portanto, o índice de aumento de disponibilidade encontrado na indústria, onde os níveis de indisponibilidade representam a décima parte dos encontrados em EAS, pode ser aumentado em várias vezes, resultando em um incremento direto no número de atendimentos, cirurgias, exames, leitos, enfim, do lucro de EAS.

A confiabilidade de equipamentos interfere também no número de acidentes de trabalho e na programação operacional em EAS, o que se reflete novamente na disponibilidade dos equipamentos e, por sua vez, em conseqüências sociais e econômicas. Nesse sentido, a MCC proporciona um aumento na confiabilidade dos equipamentos em até 100% na indústria [18].

Além disso, a MCC promove o aprimoramento do desempenho operacional pela adoção da política de manutenção mais eficaz para cada equipamento. Assim, melhora a relação custo/benefício, estimando-se uma redução de 40 a 70% nas tarefas programadas e de 10 a 30% nos trabalhos de emergência [27].

Por fim, com o estabelecimento da MCC em EAS pretende-se rediscutir os indicadores de atividade compilados entre 1998 e 2000 frente a essa nova metodologia.

BIBLIOGRAFIA

- [1] BESKOW, W. B., RAUPP, F.A. & GARCIA, R. Análise estruturada em sistema de informação para o Gerenciamento de Tecnologia Médico-Hospitalar: expandindo-se atividades de engenharia clínica. In: Anales CD-Rom do XII Congresso Argentino de Bioingeniería. Buenos Aires, Argentina, 6p, 1999.
- [2] BAULD, T. J. The Definition of Clinical Engineering. *Journal of Clinical Engineering*, v. 16, p. 403-405, 1991.
- [3] LUCATELLI, M. V. & GARCIA, R. Proposta de Aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde. In: Anales em CD-Rom do II Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica. Havana, Cuba, 2001.
- [4] BRONZINO, J. D. Technology Management. IN: . Management of Medical Technology. Stoheman, MA: Butterworth-Heinemann, p. 67-110, 1992.
- [5] CARPIO, A. & FLORES, J. M. Analisis y Propuesta para una Gestion de Mantenimiento Hospitalário. In: Anales do 1er Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica. Mazatlan, México, IC20-pp.475-480, 1998.
- [6] TESDAHL, S., A., & TOMLINGSON, P., D.; 1997. Equipment Management Breakthrough Maintenance Strategy for the 21st Century.
- <http://www.metal.ntua.gr/msslslab/MinellIT97/papers/TS06/TS06.html>
- [7] 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.
- [8] ZANIBONI, R. Planejamento para uma Estrutura de Engenharia Clínica para Santa Catarina. Florianópolis, 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- [9] LAMBERTI C. et. al. A New Model to Estimate the Appropriate Staff for a Clinical Engineering Department. *J. Clinical Engineering*, vol.22, n.5, pp.335-341, 1997.
- [10] AMERICAN HOSPITAL ASSOCIATION - AHA Training Manual for Biomedical Equipment Technicians. Chicago, IL. 1988.
- [11] KARMAN, J. Manutenção Hospitalar Preditiva. Editora Pini, São Paulo, SP, 1994.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO - ABRAMAN. Situação da Manutenção no Brasil - CD-Rom. Rio de Janeiro, RJ, 1999.
- [13] LUCATELLI, M. V. & GARCIA, R. Procedimentos de Manutenção Preventiva de Equipamentos Eletromédicos. In: Anales do XII Congreso Chileno de Ingeniería Elétrica. vol. II. Temuco, Chile, pp.708-711, 1997.
- [14] WEBSTER, J. G. Clinical Engineering - Principles and Practices. Prentice-Hall, 1979.
- [15] MINISTÉRIO DA SAÚDE. Segurança no Ambiente Hospitalar: Saúde e Tecnologia, Brasília, p. 60, 1995.
- [16] BEN-ZVI, S. An Urgent Plea for Realistic Preventive Maintenance Guidelines. *Medical Instrumentation*, v.16, N.2, mar/apr, p. 115-116, 1982.
- [17] MOUBRAY, J. Reliability-Centered Maintenance. 2nd ed - Woodbine, NJ Industrial Press Inc., 1997.
- [18] DUNN, S.; 1998. Reinventing The Maintenance Process - Towards Zero Downtime. <http://www.maintenanceresources.com/References/MaintenanceManagement/Reinventing.shtml?id=19524>
- [19] TESDAHL, S., A., & TOMLINGSON, P., D.; 1997. Equipment Management Breakthrough Maintenance Strategy for the 21st Century.
- <http://www.metal.ntua.gr/msslslab/MinellIT97/papers/TS06/TS06.html>
- [20] FLEMING, P. V. & FRANÇA, S. R. R. Considerações Sobre a Implementação Conjunta de TPM e MCC na Indústria de Processos. TT044, In: Anais CD-Rom do XII Congresso Brasileiro de Manutenção. São Paulo - SP, 1997.
- [21] SCARPINI, E., 1997. Atuação dos Profissionais de Engenharia Clínica.
- http://www.geocities.com/HotSprings/Spa/5646/atuacao_port.html
- [22] AMERICAN HOSPITAL ASSOCIATION - AHA Maintenance Management for Medical Equipment. Chicago, IL. 1996.
- [23] LUCATELLI, M. V., *et al.* A Implantação de Paradas de Manutenção no Ambiente Hospitalar. In: Anais CD-Rom do XV Congresso Brasileiro de Manutenção. Vitória - ES, 2000.
- [24] BESKOW, W. B. Sistema de Informação para o Gerenciamento de Tecnologia Médico Hospitalar: Metodologia de Desenvolvimento e Implementação de Protótipo. Florianópolis, 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- [25] PALADY, P. FMEA - Análise dos Modos de Falhas e Efeitos. IMAM, 1997.
- [26] SALES, N. P. Aplicação de RCM2 na Petrobrás/Replan. In: Anais do III Seminário Brasileiro de Confiabilidade na Manutenção. São Paulo, SP. p.37-74, 2000.

- [27] SINCOK, H. J. & AMARAL, R. V. Compartilhando Informações Operacionais com a Manutenção para a Melhoria da Confiabilidade. In: Anais do III Seminário Brasileiro de Confiabilidade na Manutenção. São Paulo, SP. p. 22-36, 2000.

Marcos Vinícius Lucatelli Engenheiro Eletricista, Universidade Passo Fundo (1996). Mestre em ciências e doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.

Renato Garcia Ojeda Engenheiro Eletricista, USACH (1981). Mestre e Doutor em ciências pela UFSC (1986/1992). Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Elétrica da UFSC.

Wayne Brod Beskow Engenheiro Eletricista, Universidade Federal de Santa Maria (1994). Mestre em ciências e Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFSC.