

PROPOSTA DE UM MODELO PARA PREDIÇÃO DE MANUTENÇÕES DE EQUIPAMENTOS MÉDICO-HOSPITALARES: UM ESTUDO MULTICASOS EM HOSPITAIS DA GRANDE FLORIANÓPOLIS (SC)

Sigmundo Preissler Junior, Tales Vicente Viegas, William Alberto Cruz Castañeda, Gertrudes Dandolini e João Artur Souza

Departamento de Engenharia e Gestão do Conhecimento
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
CEP 88.040-970 - Bairro da Trindade - Florianópolis - SC - Brasil

Resumo. *As instituições hospitalares são responsáveis pelo atendimento emergencial e saúde em geral de centenas de milhares de habitantes. Nestas organizações é comum a presença e frequente utilização de equipamentos médico-hospitalares que por sua vez demandam constantes serviços de manutenção. A preocupação com a manutenção destes aparelhos se dá pelo fato de sua ampla utilização e pela necessidade de estarem em pleno funcionamento quando em situações de necessidade de uso em curto espaço de tempo. Desta forma, o presente artigo apresenta um modelo para predição de manutenção de equipamentos médico-hospitalares. É apresentado ainda um estudo multicase em hospitais da grande Florianópolis(SC).*

Palavras chave: *Equipamentos médico-hospitalares. Manutenção. Predição*

Abstract. *The hospitals are responsible for emergency care and general health of hundreds of thousands of inhabitants. In these organizations is common the presence and frequent use of medical equipment which in turn require constant maintenance. The concern with the maintenance of these devices is partly because of its wide use and the need to be up and running when in situations of need for use in short time. Thus, this paper presents a model for predicting maintenance of medical equipment. It also presented a multicases study in hospitals of Florianopolis (SC).*

Key words: *Medical and hospital equipment. Maintenance. Prediction*

1. Introdução

O hospital é uma entidade destinada a assistir pessoas, prevenir doenças, tratar e reabilitar pacientes, a elevar o padrão profissional e realizar pesquisas. Por isso é considerada uma das instituições mais complexas, tanto sob o ponto de vista arquitetônico, de engenharia, de instalações, de equipamentos, como de tecnologia e de administração. Do ponto de vista dos seus equipamentos, estes são de uso contínuo e constante, devem estar prontos e disponíveis para uso imediato, durante vinte quatro horas por dia. A interrupção durante um procedimento ou o retardo em sua disponibilidade pode levar a desfechos graves e mesmo fatais. A manutenção do Equipamento Médico-Hospitalar (EMH) é diversificada e progressivamente mais técnica e especializada. A previsão e detecção precoce de falhas ou defeitos coíbe interrupções, interdições evitáveis, mobilização e dispêndios desnecessários (KARMAN, 1994).

Diversos esforços e projetos mais complexos bem como novas técnicas de trabalho tem sido empregados no estudo da manutenção preditiva destes equipamentos. Hoje em dia, existe uma crescente conscientização dos gestores hospitalares no que tange a importância da manutenção e qualidade dos equipamentos.

Nos últimos anos, têm-se discutido a incorporação do gerenciamento da manutenção preditiva nos hospitais. A maior premissa da manutenção preditiva é que o monitoramento regular da condição mecânica real, o rendimento operacional e outros indicadores da condição operativa dos equipamentos e sistemas de processos fornecerão os dados necessários para assegurar o intervalo máximo entre os reparos.

Entende-se por Tecnologia da Informação (TI), “todo *software* e todo *hardware* de que uma empresa necessita para atingir os seus objetivos organizacionais” (LAUDON; LAUDON, 2007). A este termo (TI), acrescenta-se a comunicação, a fim de compreender além do *hardware* e *software* organizacional os processos de comunicação entre os dispositivos computacionais e as pessoas.

Na atualidade, as Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) desempenham um papel importante no apoio dos cuidados de saúde (MATTOS; GUIMARÃES, 2005). São empregadas, dentre tantas aplicações, na manutenção das condições de funcionamento e na gestão dos serviços dos dispositivos médicos. Tudo isto com o objetivo de apoiar o sistema hospitalar que exige uma abordagem integrada.

Diante deste cenário, questiona-se: como possibilitar ao gestor de recursos médico-hospitalares a tomada de decisão antecipada no que diz respeito à manutenção de equipamentos médico-hospitalares?

Desta forma, neste artigo tem-se como objetivo propor um modelo de uma solução baseada em TIC que permita auxiliar na predição da manutenção de equipamentos médico-hospitalares, incorporando ferramentas que facilitem a predição da vida útil do equipamento e apoiar assim aos gestores no processo de tomada de decisão.

Os objetivos específicos deste trabalho são: realizar um levantamento bibliográfico em trabalhos correlatos a fim de identificar pesquisas já realizadas na área estudada; realizar um estudo multicasos na cidade de Florianópolis(SC) com vistas a identificar a necessidade e realidade na manutenção de equipamentos médico-hospitalares e por fim propor um modelo para predição de manutenção dos equipamentos médico-hospitalares.

Foram eleitos, aleatoriamente três hospitais da grande Florianópolis(SC) e nestes realizou-se uma pesquisa descritiva com base nos levantamentos documentais sobre o histórico de manutenção dos equipamentos médico-hospitalares. Realizaram-se entrevistas semiestruturadas com os gestores dos hospitais pesquisados e análise documental dos registros de manutenção dos equipamentos médico-hospitalares das referidas organizações. Posteriormente, elegeram-se os três equipamentos com maior quantidade de ocorrências em manutenção no período compreendido entre Janeiro à Junho 2012.

1.1 Justificativa

Na literatura pesquisada (MEMP, 2007; OLIVEIRA, 2004; MOBLEY, 2002) foram encontrados dois enfoques diferentes sobre a manutenção preditiva. O primeiro onde é considerada uma subdivisão da manutenção preventiva. Sendo esta uma forma de manutenção em que a lei de degradação (evolução do desgaste do equipamento) é desconhecida e a supervisão dos parâmetros de controle é realizada de forma contínua através de rondas e inspeções, ficando caracterizada a manutenção preventiva por acompanhamento. (OLIVEIRA, 2004, p.35)

O segundo enfoque também conhecido por manutenção “sob condição” ou com base no estado do equipamento, pode ser realizada com supervisão de modo contínuo ou de forma periódica. Nesta última abordagem, a manutenção preditiva é considerada uma evolução ou quebra de paradigma em relação à manutenção preventiva sistemática baseada no tempo.

Ficando assim, a manutenção preditiva, manutenção baseada na condição e monitoramento de condições inclusas nas chamadas tarefas pró-ativas “sob condição”. Portanto, técnicas preditivas empregadas permitirão a avaliação do estado do equipamento, através de medição, acompanhamento ou monitoramento de parâmetros, sendo a manutenção preditiva considerada como um avanço em relação à manutenção preventiva.

Com este novo paradigma se fornecem os meios para atingir níveis de confiabilidade que superam o desempenho do equipamento ou sistema. A implementação de um programa de análise preditiva de conhecimento (NONAKA; TAKEUCHI, 2005) deve ser baseado em medidas, que são obtidas do monitoramento de dados significativos no equipamento. Esta análise é realizada por instrumentos de controle avançados e software preditivo que recolhem dados que confirmam possíveis falhas e reparações específicas e que são concluídas antes do equipamento falhar. Tudo isso, visa a manutenção que poderia comprometer o desempenho ou segurança e a manutenção corretiva é executada quando o equipamento está fora dos parâmetros de operação desejada (MEMP, 2007).

A maior premissa na análise preditiva é que o monitoramento regular da condição mecânica real, o rendimento operacional e outros indicadores da condição operativa das máquinas e sistemas de processo fornecerão os dados necessários para assegurar o intervalo máximo entre os reparos (MOBLEY, 2002).

2. Desenvolvimento

Quando se pensa em implantar programas de análise preditiva, um dos primeiros passos é saber o que se espera desses novos programas, quais os resultados, os benefícios esperados. Para que e por que este resultado é tão importante?

Segundo Ishikawa (1986) se não há item de controle, não há gerenciamento. Portanto, os programas a serem implantados devem estar associados às palavras: indicadores e/ou item de controle.

O presente estudo foi realizado em três hospitais de grande porte na rede pública de Saúde do Estado de Santa Catarina. Por meio de entrevista com os gestores destas instituições, obtiveram-se os seguintes indicadores que nortearão o levantamento de dados da presente pesquisa. Os indicadores sobre equipamentos médico-hospitalares (EMH) foram obtidos no período de Janeiro à Junho 2012, a saber:

- Custo de manutenção versus valor do equipamento;
- reparos repetidos e
- número de ordens de serviço por setor do hospital.

2.1 Levantamento e análise dos dados

Os EMH utilizados para este levantamento de dados foram: Eletrocardiógrafo (ECG), Ventilador Pulmonar (VTP) e Autoclave (AUT). Segundo a pesquisa realizada junto aos gestores das instituições por meio de entrevista semiestruturada, estes três EHM são aqueles que possuem maior ocorrência de manutenção nas instituições hospitalares que gerenciam. O gráfico da Figura 01 apresenta o numero total destas EMH em uso por cada hospital.

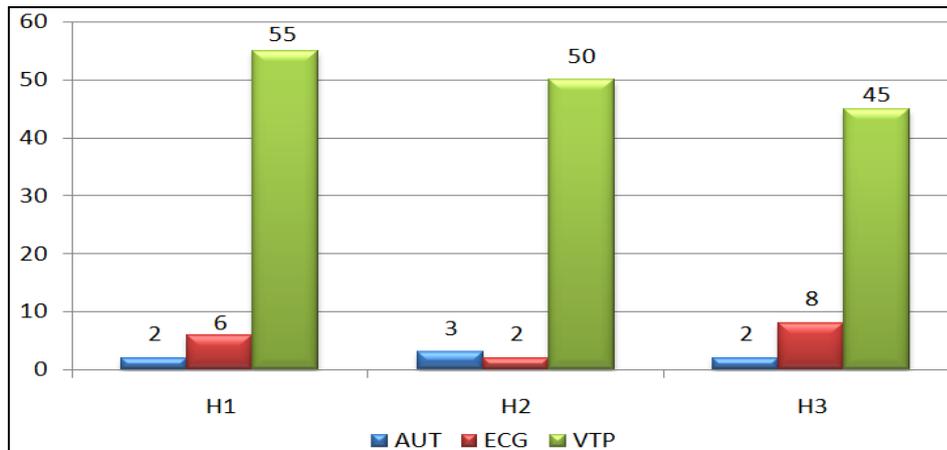


Figura 01 - Número total de EMH em uso por Hospital.
Fonte: os pesquisadores

Os gráficos das Figuras 02 e 03 mostram indicadores de custo de manutenção *versus* valor do equipamento. Os custos de manutenção foram levantados para que se possa compreender a relação custo e benefício da implantação de políticas de gestão e prevenção dos equipamentos bem como a predição destas manutenções.

O gráfico da Figura 02 mostra o indicador de valor do EMH com o objetivo principal de saber qual o percentual máximo ideal a ser gasto com a manutenção de um equipamento em relação ao seu valor de aquisição.

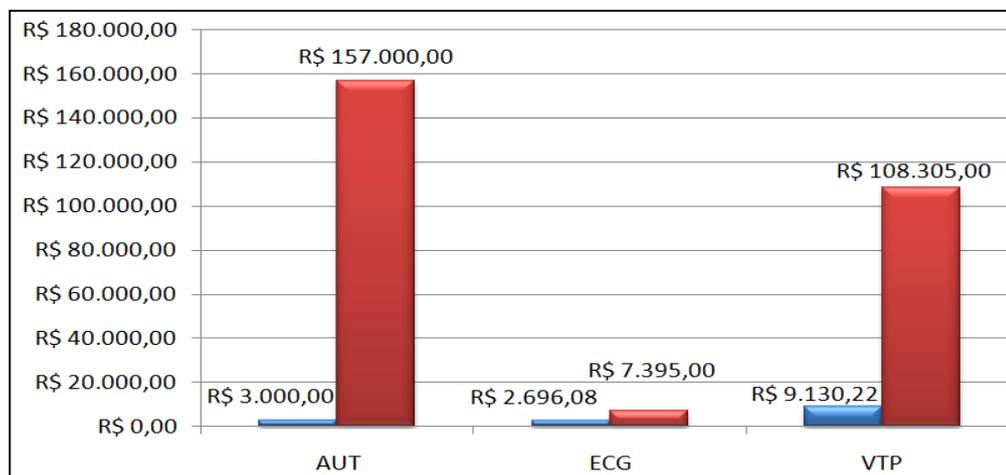


Figura 02. Indicador de valor da EMH nos Hospitais.
Fonte: os pesquisadores

Nos dados do custo estimado da manutenção de cada EMH inclui-se tanto o custo de hora técnica/gerenciamento, assim como a troca de peças da EMH. Tais custos são expressos na Figura 03. Os valores foram coletados junto às equipes responsáveis nos referidos hospitais pesquisados.

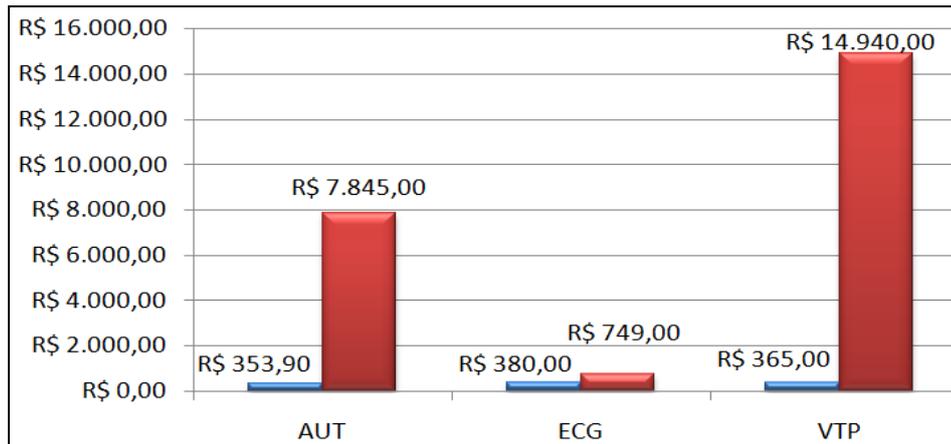


Figura 03. Indicador de custo de manutenção dos EMH nos Hospitais.
Fonte: os pesquisadores

A Figura 04 mostra o indicador de reparos repetidos (IRR). O IRR representa o número de reparos efetuados na EMH durante o período especificado apresentando problemas crônicos. Os problemas crônicos são aqueles de difícil resolução. Estes problemas necessitam ser medidos por se tratarem de equipamentos que requerem funcionamento rápido em curto período de tempo de manutenção no caso de falhas.

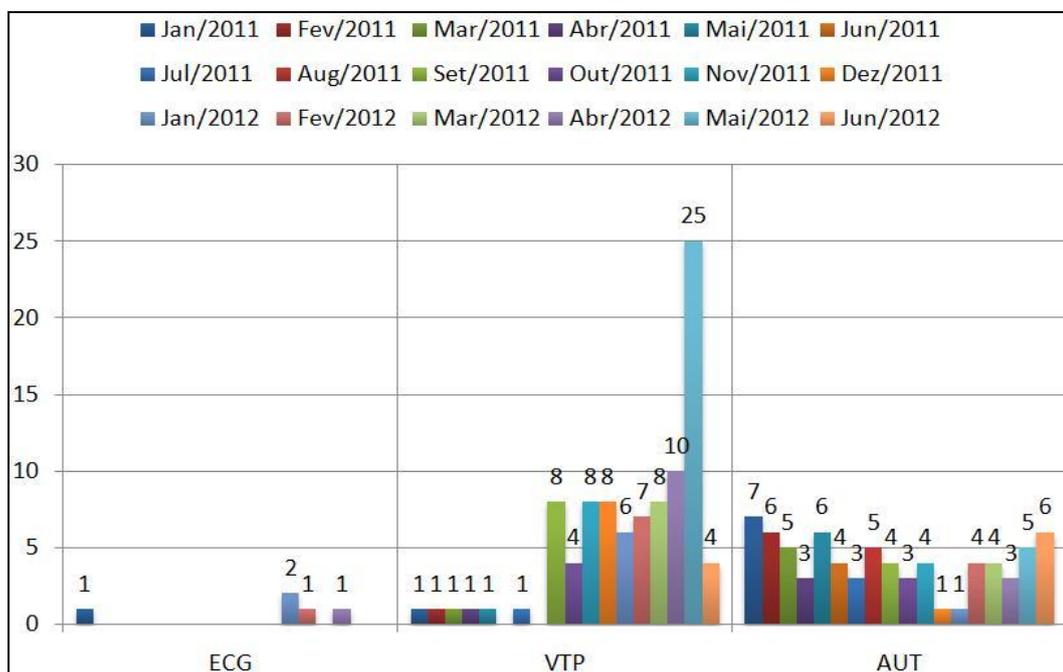


Figura 04. Indicador de reparos repetidos.
Fonte: os pesquisadores

A Figura 05 apresenta o número de ordens de serviço (INOS). O INOS definem o número total de ordens de serviço para cada EMH. Neste gráfico pode-se perceber claramente a diferença entre o número de INOS entre os EMH. Uma atenção especial para os VTP que se destacam com 80 INOS no período, frente à 61,3 das AUT e apenas 3,3 para os ECG.

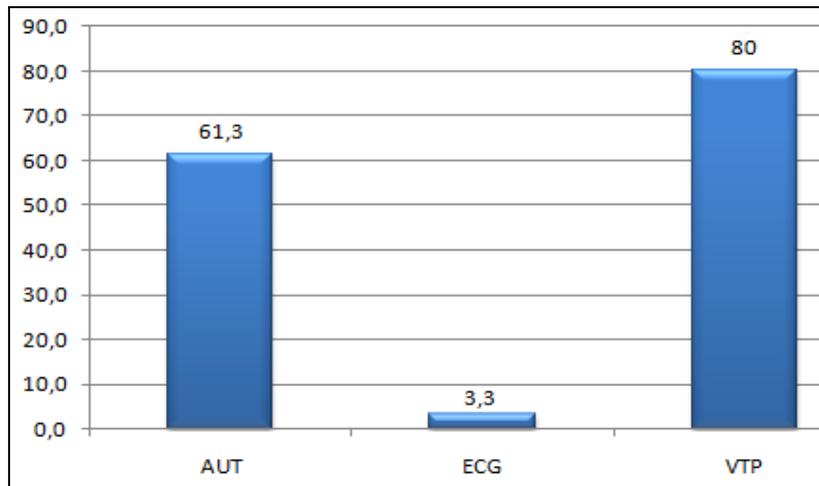


Figura 05. Indicador de número de ordens de serviço (média).
Fonte: os pesquisadores

Para que se possa comparar, empregar e implementar os indicadores acima citados é necessário que se utilize uma mesma base de informação. O desenvolvimento de novos programas de manutenção preditiva deve ser capaz de utilizar estes dados, disponibilizando as informações para gestores e melhorando assim o controle sobre os elevados custos de manutenção das EMH das instituições de saúde. Dentre os motivos principais de manutenção nos equipamentos destacam-se os elementos contidos no Quadro 01.

Quadro 01 . Principais motivos de manutenção em equipamentos
Fonte: os pesquisadores

Autoclave	Eletrocardiógrafo	Ventilador Pulmonar
<ul style="list-style-type: none"> • Câmara sem pressão. • Fusível queimado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Baterias e/ou pilhas descarregadas. • Erro no sensor de papel. 	<ul style="list-style-type: none"> • Substituição Kit 5 mil horas. • Bateria (troca/carregamento). • Troca de resistência. • Falha no transdutor de fluxo. • Limpeza (interna, filtros). • Substituição (cassete respiratório, diafragma, célula de oxigênio). • Erro 40 e 200004 (reinício). • Pressão baixa na rede de ar. • Ajustes e calibração. • Sensor de fluxo quebrado.

2.2 Objetivos do modelo para predição de manutenção EMH

Em resposta ao objetivo geral deste trabalho, pretende-se apresentar um modelo de uma solução baseada em TIC para auxiliar os gestores hospitalares na predição de manutenção de seus equipamentos médico-hospitalares. Os objetivos deste modelo são:

- Analisar pesquisas no contexto de equipamentos médico-hospitalares com maior incidência de manutenção.
- Analisar pesquisas que no contexto utilizem TIC's para extração de dados.
- Definir equipamentos médico-hospitalares nos quais serão aplicadas as técnicas e ferramentas para manutenção preditiva.
- Propor um modelo de solução baseada em TIC para realizar predição de manutenções para equipamentos médico-hospitalares.

2.3 Modelo proposto

Com base nas informações obtidas em entrevistas com os gestores das instituições, do levantamento de dados nos hospitais, propõe-se um modelo de solução computacional. O modelo proposto está dividido em sete camadas funcionais as quais são ilustradas na Figura 06 e apresentadas a seguir:

- **Camada 1** – Aquisição de dados: fornece os dados através de transdutores ou sensores digitais.
- **Camada 2** – Manipulação de dados: realiza transformações no sinal assim como calcula descritores significativos através de algoritmos especializados. Com a implantação dos sensores, que poderão fornecer dados ininterruptamente, o modelo deverá selecionar os dados conforme a decisão analítica proposta. Como este estudo é recente, realizou-se uma pesquisa sobre qual algoritmo dever-se-ia utilizar e propõe-se adotar os algoritmos para a manipulação dos dados (*data mining*): árvores de decisão e associação de regras. Tais algoritmos são citados em repetidos estudos como no artigo de Huang (2008) e Peng (2006).
- **Camada 3** – Monitoramento das condições: recebe os dados a partir dos módulos de sensores, compara os dados com os valores esperados e geram alertas com base em limites.
- **Camada 4** – Avaliação do estado do equipamento: recebe dados do monitoramento da condição e prescreve se o estado do componente de monitoração esta degradado. Além disso, é capaz de gerar um diagnóstico baseado nas tendências do histórico de manutenção e o *status* operacional, mas também propor possíveis falhas.
- **Camada 5** – Prognóstico: planeja o estado futuro ou estima a vida útil do equipamento, considerando a estimativa de perfis de utilização futura.
- **Camada 6** – Suporte à decisão: gera medidas recomendadas e alternativas relacionadas com a manutenção ou como deve ser gerenciado o equipamento até este concluir sua função sem alguma ocorrência de incidente. Leva em consideração o histórico operacional, perfil atual e futuro assim como objetivos de alto rendimento e restrições dos recursos.
- **Camada 7** – Camada de apresentação, responsável pelo *front end* com o usuário final, ou seja, a interface de inteiração entre sistema computacional e usuário.



Figura 06 – Modelo Proposto
Fonte: os pesquisadores

A figura 6 apresenta o modelo proposto para a predição de manutenção de equipamentos médico-hospitalares. Este modelo é disposto em sete camadas que vão desde a coleta física de informações por meio de sensores nos equipamentos (EHM) até a interface de apresentação para os usuários do sistema e responsáveis pelo monitoramento e manutenção dos EHM nas unidades hospitalares.

Abaixo são dispostas algumas informações relevantes e propostas para a implementação do modelo bem como a explicação das camadas em nível de aplicação. Este modelo proposto deverá ser aplicado em um protótipo computacional no ano de 2013. Tema este abordado na seção que segue.

Após implantação do modelo proposto deve-se iniciar a etapa de “limpeza dos dados”. Neste processo considera-se a sazonalidade dos sensores verificando anormalidades, ruídos e desvios de padrões.

O sistema deverá passar por uma etapa de análise de regras para associar e agrupar dados, descartando informações que não sejam classificadas. O processo de validação das regras de ser constante e incremental para construir uma base para predizer um comportamento. Por fim, passa-se para uma fase de teste e concretização do algoritmo definido.

O sistema deverá identificar os padrões que irão ser fornecidos constantemente pelos sensores acoplados ao EMH, fazendo com que os “melhores” dados sejam armazenados e processados. Sugere-se a criação de “clusters” de informações para que quando ocorram os mesmos atributos possa-se predizer o comportamento do equipamento e realizar uma sugestão de correção do problema.

Ao encontro de toda a informação de manutenções que irão ser geradas pela predição, pretende-se predizer os custos de manutenção de um equipamento monitorado em um determinado espaço de tempo. O principal objetivo deste modelo é identificar padrões e predizer o ciclo de manutenções e a vida útil do EMH.

Pode-se dividir o projeto em etapas: a primeira parte, a coleta dos dados, onde serão enviados dados pelos sensores para a base de chamados de manutenção dos EMH realizando a modelagem do processo. Também nesta parte deverá se aplicar o modelo de dados, verificando se a coleta foi realizada com sucesso. Na segunda parte será realizada uma análise

dos dados e utilizando os algoritmos de árvore de decisão e classificação por regras e por fim haverá o descarte das informações que forem consideradas repetitivas ou desnecessárias e também serão documentados as funcionalidades para o desenvolvimento da ferramenta. Na terceira etapa será elaborado um sistema computacional conforme as especificações da etapa anterior. Na quarta etapa serão validadas as funcionalidades desenvolvidas e corrigidas. Já na quinta etapa deve-se realizar as previsões dos equipamentos selecionados e realizar as análises comparativas com o histórico de suas manutenções. Também é importante analisar as previsões do ciclo de vida do equipamento e os dados já coletados. Na sexta etapa haverá a customização das visões para apresentação dos dados para os gestores dos hospitais.

Após estas etapas, o sistema estará pronto para ser testado e homologado. Os testes deverão ocorrer por um especialista que deverá validar as previsões e visões e assim homologar os dados gerados.

Por fim ocorrerão os treinamentos e a implantação do sistema para operacionalizar o setor de suporte do hospital. Na implantação ocorrerá a criação dos ambientes de produção e treinamento, bem como a sua configuração e instalação do servidor. No treinamento serão abordados processos como: cadastrar os equipamentos, configurar o sistema e parametrizá-lo. Também serão abordados itens como a monitorar os equipamentos, a analisar os prognósticos, a analisar e configurar as visões, a analisar as medidas para o suporte à decisão, a analisar o ciclo de vida do equipamento e a gerar relatórios. Tal projeto deverá ser iniciado no ano de 2013. O projeto tem previsão de desenvolvimento e implantação em onze meses, como se pode visualizar no cronograma da Figura 07.

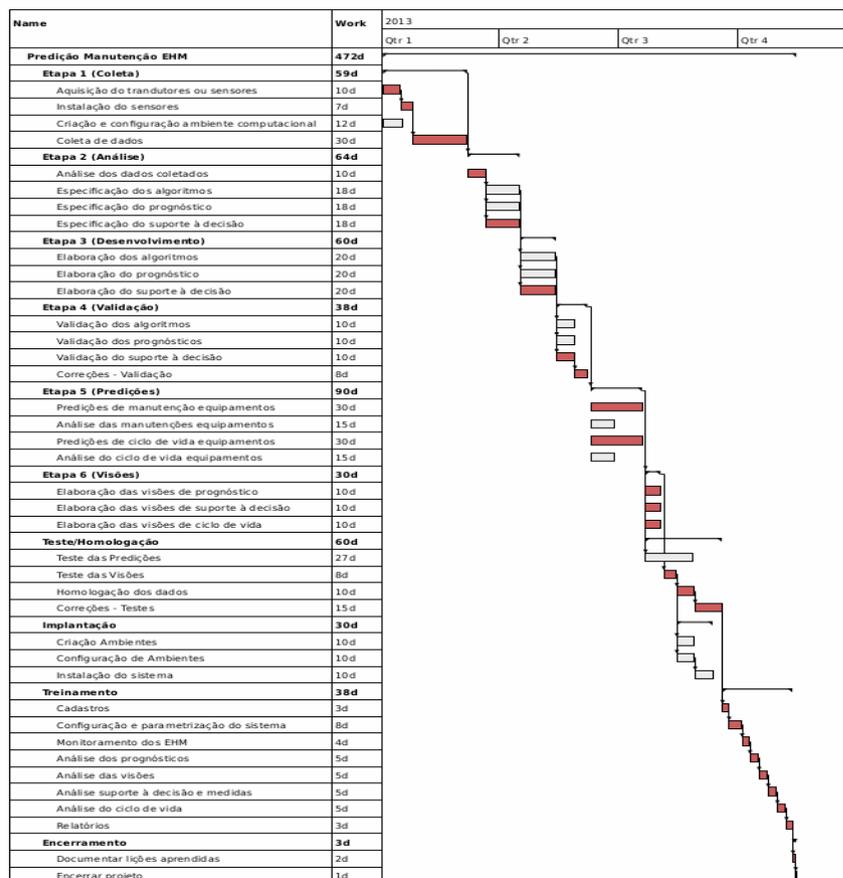


Figura 07 – Cronograma
Fonte: os pesquisadores

3. Considerações finais

Após o término da pesquisa verificou-se que o desenvolvimento de um sistema computacional de apoio à decisão sobre a manutenção preditiva de equipamentos médico-hospitalares é aderente às necessidades dos hospitais da grande Florianópolis(SC). Fato este corroborado pelos seus gestores.

Os equipamentos aqui pesquisados são de extrema importância tanto nos processos de esterilização de material clínico e que envolvem o cuidado do paciente quanto para a manutenção da vida humana nos hospitais. Assim todo o EHM que funciona em perfeito estado e com um tempo otimizado na sua manutenção, agregam na preservação da vida útil dos equipamentos e na sua alta disponibilidade e por conseguinte à melhoria dos serviços prestados pelos hospitais.

O presente trabalho atingiu os seus objetivos iniciais de propor um modelo de um sistema computacional para a predição de informações sobre dados de manutenção de equipamentos médico-hospitalares. Pretende-se, na sequência, aplicar o modelo em um protótipo computacional. Os principais desafios são: a coleta e a extração de dados com os sensores nos EHM para aplicar os modelos de predição de custos, manutenções e substituições, a fim de facilitar a gestão hospitalar. Outro desafio é a inclusão deste modelo em equipamentos de maior complexidade e criticidade.

Por fim, como proposição para trabalhos futuros sugere-se ampliar e integrar o modelo para que a análise possa ser realizada não somente em um número reduzido de hospitais, mas sim em um maior número e em diferentes regiões para diversas situações de ambiente e uso.

Referências

HUANG Lan; ZHOU Chun-guang; ZHOU Yu-qin; WANG Zhe; **Research on Data Mining Algorithms for Automotive Customers**. Behavior Prediction Problem, Seventh International Conference on Machine Learning and Applications, 2008.

ISHIKAWA, K; **Guide to Quality Control**, Asian Productivity Organization; 2nd edition, USA, 1986.

KARMAN J., **Manutenção Hospitalar Preditiva**, Pini, São Paulo, SP., 1994. p. 211.

LAUDON, K. C.; LAUDON, J. P. **Sistemas de Informação Gerenciais: administrando a empresa digital**. São Paulo: Prentice Hall, 2007.

MATTOS, J. R. L.; GUIMARÃES, L. S. **Gestão da Tecnologia e Inovação: uma abordagem prática**. São Paulo: Saraiva, 2005.

MEMP - **Medical Equipment Management Program**. Clinical Engineering Department, The University Of Texas M. D. Anderson Cancer Center. Procedure. Houston, TX., 2007.

MOBLEY, R. K., **An Introduction to Predictive Maintenance**, Butterworth-Heinemann, USA., 2002. p. 438.

NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. **The knowledge-creating company: how Japanese companies create the dynamics of innovation**. , Oxford University Press. New York: NY, 2005.

OLIVEIRA, J.L., **Manutenção centrada em confiabilidade aplicada a sistemas elétricos:** uma proposta para uso de análise de risco no diagrama de decisão. 2004. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

PENG Liu; LEI Lei; JUNJIE Yin; WEI Zhang; WU Naijun; ELIA El-darzi; **Healthcare Data Mining:** Prediction Inpatient Length of Stay, 3rd International IEEE Conference Intelligent Systems, September, 2006.