

**ANÁLISE DE DESEMPENHO SOBRE REDES IEEE 802.3/PM-AH
(PROTOCOLO MULTICICLOS PARA AUTOMAÇÃO HOSPITALAR)**

Vinicius Samuel Valério de Souza

Professor da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)
E-mail: vinciussamuel@ufersa.edu.br

Gláucio Bezerra Brandão

Professor da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
E-mail: glaucio@dca.ufrn.br

Ricardo Alessandro de Medeiros Valentim

Professor da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
E-mail: ricardo.valentim@ufrnet.br

Pedro Thiago Valério de Souza

Aluno de graduação do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).
E-mail: pedrothiag@gmail.com

José Diniz Júnior

Professor do Departamento de Medicina Clínica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN),
E-Mail: diniz@ufrnet.br

RESUMO

Com a incorporação de conceitos da automação em ambientes hospitalares surge uma série de novos requisitos pertinentes a área médica. Dentre esses requisitos, um que merece destaque é a necessidade do estabelecimento de uma rede de comunicação segura e eficiente entre os elementos do ambiente hospitalar, visto que, os mesmos encontram-se de maneira distribuída. Nesse sentido, existe uma série de protocolos que podem ser utilizados no estabelecimento dessa rede, dentre os quais, um que merece destaque é o PM-AH (Protocolo Multiciclos para Automação Hospitalar) justamente por ser voltado a automatização de ambientes hospitalares tanto no que diz respeito ao cumprimento dos requisitos impostos nesse tipo de ambiente, como pelo fato de ser projetado para funcionar sobre a tecnologia Ethernet, padrão esse que é comumente utilizado pela rede de dados dos hospitais. Em decorrência disso, o presente trabalho aborda uma análise de desempenho comparativa entre redes PM-AH e puramente Ethernet visando atestar a eficiência do primeiro no que diz respeito ao cumprimento dos requisitos impostos pela automação hospitalar.

PALAVRAS-CHAVE: Dispositivos biomédicos, Ethernet, PM-AH e Análise de Desempenho.

PERFORMANCE ANALYSIS OVER A IEEE 802.3/MP-HA (MULTICYCLES PROTOCOL TO HOSPITAL AUTOMATION) NETWORKS

ABSTRACT

The incorporation of industrial automation in the medical requires mechanisms to safety and efficient establishment of communication between biomedical devices. One solution to this problem is the MP-HA (Multicycles Protocol to Hospital Automation) that down a segmented network by beds coordinated by an element called Service Provider. The goal of this work is to do comparative performance analysis between Ethernet/MP-AH and only Ethernet networks as way to validate the first in use in hospital automation networks.

KEY-WORDS: Biomedical devices, MP-AH, Service Provider and Performance Analysis.

ANÁLISE DE DESEMPENHO SOBRE REDES IEEE 802.3/PM-AH (PROTOCOLO MULTICICLOS PARA AUTOMAÇÃO HOSPITALAR)

INTRODUÇÃO

Os avanços na área da eletrônica digital têm contribuído para o crescimento das aplicações distribuídas em que os dispositivos são dotados de certo poder de processamento (*smart devices*) (Dietrich e Sauter, 2000).

Nos processos de automação, existem alguns conceitos que são fundamentais como: aquisição de dados, monitoramento e processamento de sinais, redução de custos etc. (Nitzan e Rosen, 2006). Esses conceitos já há algum tempo estão sendo incorporados na automatização de ambientes hospitalares (Brooks e Brooks, 1998), nesse sentido, surge uma série de novos requisitos pertinentes à área médica que não são verificados em outros tipos de ambientes como, por exemplo, o industrial (Valentim, 2008).

Em virtude de a comunicação ser um fator imperativo na automação hospitalar, uma vez que os elementos que compõem o ambiente encontram-se distribuídos ao longo do mesmo, a rede para a transferência de dados passa a ser fundamental, isso porque, ela deve ser capaz de prover a troca de dados cumprindo as exigências do ambiente automatizado (Valentim, 2008).

Assim como as redes de escritório, as redes hospitalares preocupam-se fundamentalmente com os tempos médios de respostas das comunicações (Valentim, et. al., 2008). Nesse sentido, o principal problema a ser tratado é o fato das redes hospitalares basearem a sua comunicação no padrão *Ethernet* (IEEE 802.3), o qual é não-determinístico (Dolejs et. al., 2004) inviabilizando assim o seu uso na automatização de processos que necessitem confiabilidade e que possuem restrições temporais (Valentim, 2008).

As tecnologias de rede usadas em ambientes industriais aparecem como uma solução ao problema da automação hospitalar, porém mostram-se inviáveis pelo seu alto custo e baixa interoperabilidade (Carreiro et. al., 2005), em contraposição, as redes *Ethernet* que se apresentam como um padrão de alto desempenho, baixo custo e expressiva interoperabilidade (Dolejs et. al., 2004).

Existem diversos trabalhos sobre *Ethernet* para ambientes industriais que resultaram numa série de protocolos que garantem o determinismo e a confiabilidade. Como exemplos desses protocolos têm-se o TDMA (*Time Division Multiple Access*) de Brito et al., (2004), o VTPE (*Virtual Token-Passing Ethernet*) de Carreiro et. al. (2005), o FTT-*Ethernet* (Pedreiras, 2005), o H-BEB (Moraes e Vasques, 2005) dentre outros. Tais abordagens, embora cumpram requisitos temporais impostos pelos processos de automação, não se aplicam especificamente as redes hospitalares em virtude de terem sido desenvolvidos para os ambientes industriais e, portanto, não contemplarem aspectos pertinentes aos processos da área médica (Valentim, 2008).

Nesse contexto, uma solução que atenda aos requisitos pertinentes a uma rede hospitalar é o PM-AH (Protocolo Multiciclos para Automação Hospitalar) (Valentim, 2008), efetivamente por se tratar de um protocolo destinado ao estabelecimento e manutenção de redes entre dispositivos biomédicos, de modo a otimizar o fator de utilização do meio de transmissão e garantir o cumprimento das metas temporais impostas pelos processos de monitoramento de pacientes (Valentim, 2008).

O modelo definido pelo PM-AH trabalha com dispositivos biomédicos, leitos hospitalares e o Provedor de Serviços (PS) (Souza, 2010) conforme descrito na Figura 1 abaixo:

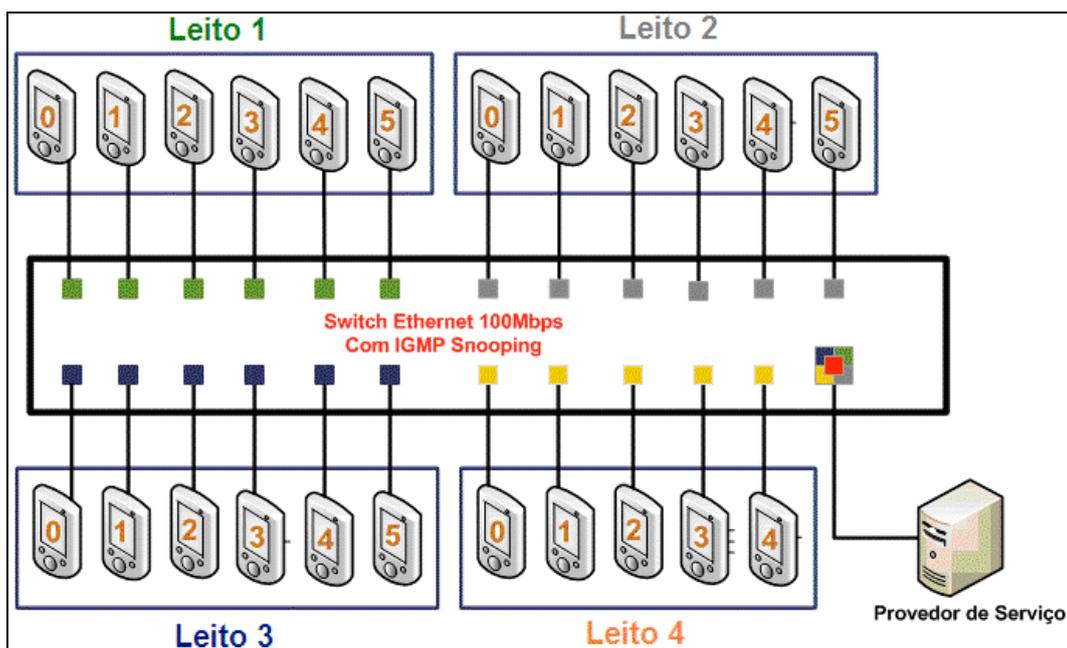


Figura 1 - Elementos de uma rede PM-AH.

Os dispositivos biomédicos são elementos que servem para efetuar medições de sinais vitais de pacientes ou realizar atividades de atuação sobre os mesmos. Como exemplo tem-se os sensores de ECG (Eletrocardiograma), de EEG (Eletroencefalograma), dos níveis de glicose no sangue dentre outros (Valentim et. al., 2008).

Os leitos da rede PM-AH aloca os pacientes e os dispositivos biomédicos a eles associados. Nesse ponto, um aspecto interessante do PM-AH é a segmentação da rede em leitos por meio do mapeamento destes em grupos *multicast* através do uso de um *switch* com suporte a *IGMP Snooping* (RFC 4541, 2006). Essa estratégia é interessante, pois permite que a comunicação de cada leito da rede ocorra de modo independente garantindo

assim que os dados referentes a um paciente não interferem nos dados de outro paciente que se encontra em outro leito (Valentim et. al., 2008).

O Provedor de Serviços é a entidade responsável pela iniciação e coordenação da rede como um todo (Souza, 2010). O PS é um dos elementos mais importantes do PM-AH, visto que, realiza tarefas como inscrição e remoção de nós (dispositivos biomédicos) nos grupos *multicast* (leitos hospitalares), organização dos nós dentro do grupo, verificação da inatividade de dispositivos biomédicos, realização de testes de comunicação etc. (Souza, 2010). Para realizar essas atividades, o Provedor de Serviços deve estar inscrito em todos os grupos *multicast* da rede de modo a receber toda mensagem que trafega pela mesma (Valentim ET. AL., 2008).

Por se tratar de um protocolo unicamente destinado ao estabelecimento e manutenção de redes hospitalares, é interessante que o PM-AH tenha a sua eficiência atestada no que diz respeito ao cumprimento dos requisitos impostos pela automação hospitalar. Diante disso, o presente trabalho aborda uma série de análises de desempenho, mediante simulação, comparativas entre uma rede Ethernet que não faz uso do PM-AH e uma rede Ethernet que utiliza tal protocolo, como forma de verificar a sua eficiência e viabilidade.

Nesse sentido, as próximas seções tratam do detalhamento do funcionamento do PM-AH, da descrição dos cenários de teste adotados nas análises de desempenho, apresentação dos resultados obtidos mediante a execução dos cenários de teste considerados e as conclusões que podem ser obtidas com o trabalho, bem como, os trabalhos futuros que podem ser realizados.

PM-AH: PROTOCOLO MULTICICLOS PARA AUTOMAÇÃO HOSPITALAR

O PM-AH é um protocolo destinado ao estabelecimento e manutenção de redes de comunicação entre dispositivos biomédicos em um ambiente hospitalar (Valentim, 2008). Esse protocolo trabalha sobre a tecnologia *Ethernet*, em virtude do seu alto desempenho, baixo custo e expressiva interoperabilidade (Dolejs et. al., 2004), além do fato das redes de dados nos ambientes hospitalares serem todas baseadas nesse padrão, sendo assim, torna-se possível reduzir os custos de instalação por meio do uso da infra-estrutura existente (Souza, 2010).

Um aspecto interessante do PM-AH é a segmentação da rede em leitos por meio do uso do protocolo IP (*Internet Protocol*) (RFC 791, 1981) com endereçamento *multicast*. Nesse esquema, cada leito é visto como um grupo *multicast* distinto e os dispositivos são vistos como nós dos grupos (Valentim, 2008). Nesse ponto, as mensagens originárias de um dispositivo biomédico são encaminhadas somente aos dispositivos biomédicos pertencentes ao mesmo leito do que originou a mensagem, com isso, otimiza-se o uso da largura de banda disponível (Valentim et. al., 2008) e evita-se a interferência na troca de mensagens entre dispositivos pertencentes a leitos distintos (Souza, 2010).

A filtragem *multicast* realizada no PM-AH é feita por meio do uso de um *switch* com suporte à IGMP (*Internet Group Management Protocol*) *Snooping* (RFC 4541, 2006), o qual permite a filtragem de endereços *multicast* no nível de enlace. Nesse *switch*, o sistema de filtragem é definido quando um nó (dispositivo) se associa a um grupo (leito). Nesse momento, a porta a qual o dispositivo está conectado é vinculada ao grupo *multicast* ao qual o dispositivo se associou (Souza, 2010). A Figura 2, aborda um exemplo de como é feita à troca de mensagens no IGMP *Snooping*.

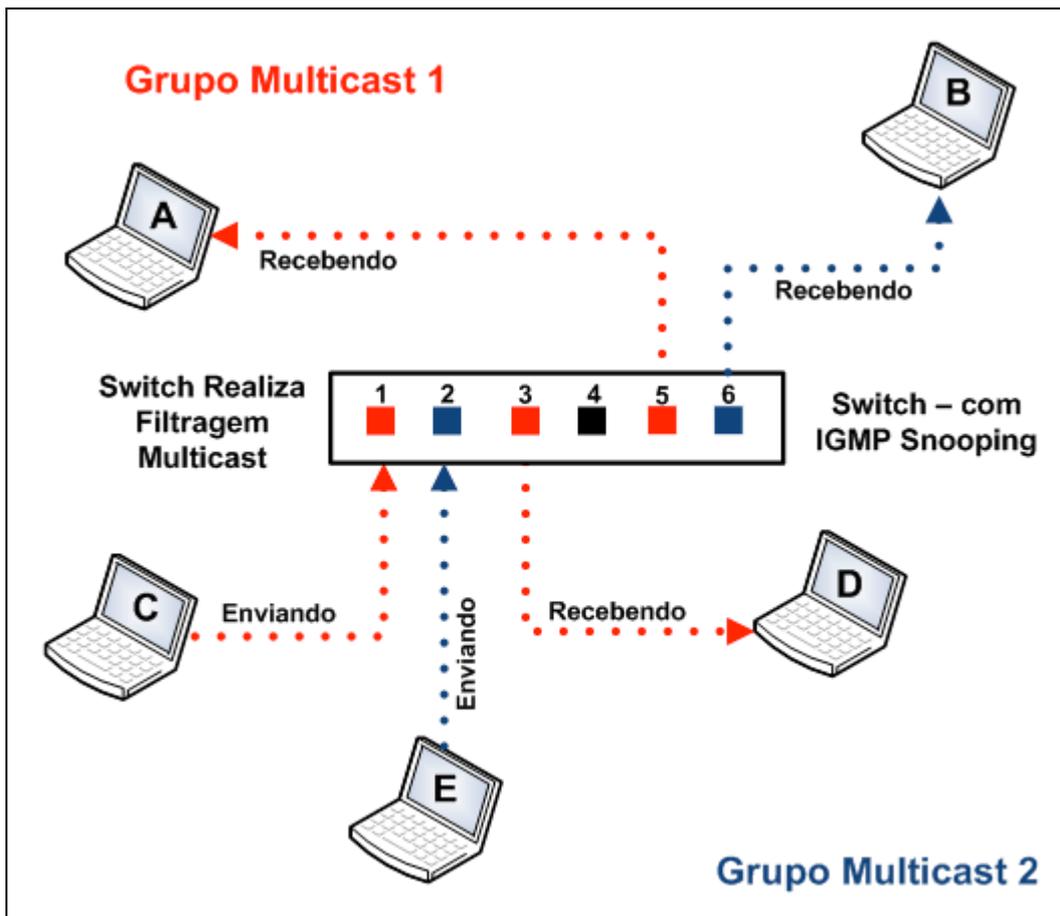


Figura 2 - Processo de troca de mensagens em uma rede que faz uso de IGMP Snooping.

No esquema acima, existem dois grupos *multicast*: o grupo vermelho, cujos participantes são os nós A, C e D, e o grupo azul, cujos participantes são os nós B e E. Na situação demonstrada, o nó C e o nó E enviam mensagens no mesmo instante de tempo. Se o *switch* não suportasse *IGMP Snooping* o que aconteceria nesse exemplo é que, tanto a mensagem enviada pelo nó C como a enviada pelo nó E, seriam replicadas em todas as portas do *switch*, o que acarretaria em enfileiramentos e possíveis perdas de mensagens. Porém, como o *switch* fornece suporte a *IGMP Snooping* o que acontece é que as mensagens enviadas pelo nó C são replicadas apenas nas portas do *switch* que tem dispositivos pertencentes ao mesmo grupo *multicast* do nó C (no caso os nós A e D), assim como, a mensagem enviada pelo nó E é replicada apenas nas portas do *switch* que tem dispositivos pertencentes ao mesmo grupo *multicast* do nó E (no caso, o nó B). Dessa forma, não ocorre enfileiramento e os grupos podem operar paralelamente sem que um interfira no outro.

Por se tratar de aplicações com requisitos de tempo real (Valentim, 2008), o PM-AH trabalha na camada de transporte utilizando o UDP (*User Datagram Protocol*) (RFC 768, 1980). Sendo assim, a pilha de protocolos do PM-AH é tal como descrita na Figura 3 a seguir:

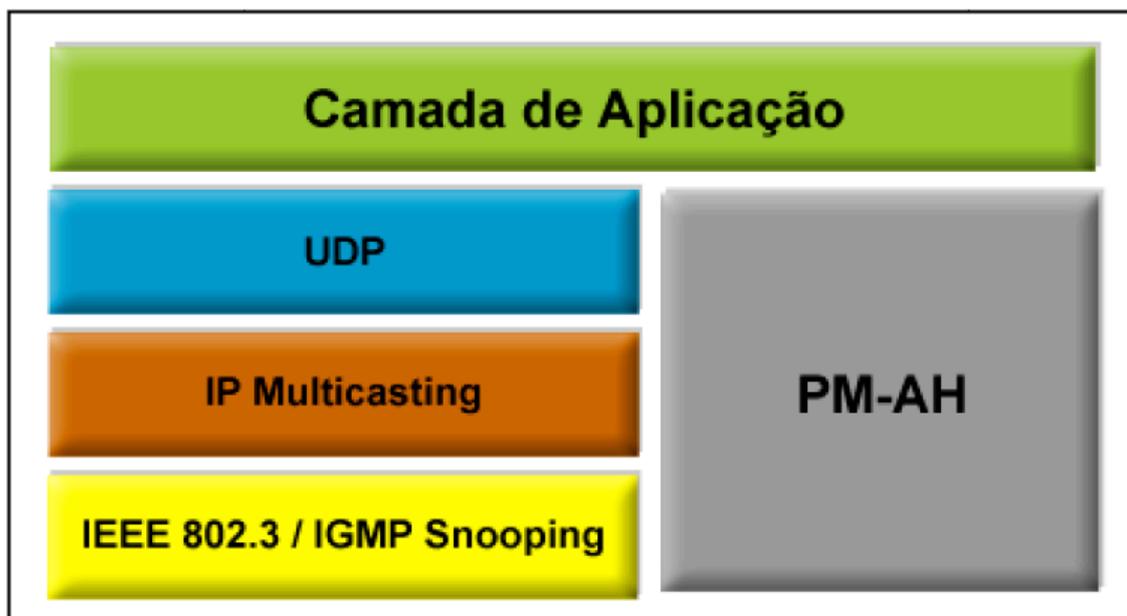


Figura 3 - PM-AH na pilha de protocolos da Internet. (Fonte: Valentim, 2008).

Sob o aspecto temporal, o PM-AH divide o tempo de comunicação no leito em ciclos temporais compostos por duas janelas denominadas janela síncrona e janela assíncrona (Valentim, 2008). O que diferencia uma janela síncrona de uma janela assíncrona é a forma com que os dispositivos se comunicam dentro delas.

Na janela síncrona, a comunicação é feita de forma coordenada segundo um modelo mestre-escravo, em que, cada leito possui um dispositivo atuando como mestre e os demais atuando como escravos. Nesse aspecto, o dispositivo mestre é responsável por coordenar o envio das mensagens provenientes dos nós do leito durante o transcorrer da janela (Valentim, 2008). Na janela assíncrona, a comunicação é feita de maneira descoordenada, ou seja, os dispositivos são livres para se comunicar independentemente do mestre (Valentim, 2008).

Sob uma perspectiva global, a entidade responsável pela coordenação da rede como um todo é chamada Provedor de Serviços, o qual é designado a efetuar tarefas como a eleição do mestre de cada leito, inscrição e remoção de dispositivos, cadastro de alarmes e dados, realização de testes de comunicação, reindexação de nós etc. (Souza, 2010).

Desse modo, o PM-AH é composto basicamente por quatro elementos: dispositivos biomédicos (mestre e escravos), leitos hospitalares, ciclos temporais e Provedor de Serviços. Nesta sessão cada um desses elementos é abordado separadamente de modo a esclarecer o papel deles dentro da rede como um todo.

Dispositivos biomédicos e leitos hospitalares

Os dispositivos biomédicos são os elementos da rede PM-AH responsáveis pela medição dos sinais vitais dos pacientes. Cada dispositivo possui um código de identificação e uma porta pela qual são realizados o envio e recebimento de mensagens de dados (*Data Message* – DM) (Souza, 2010).

O código de um dispositivo deve ser um identificador único e serve para distinguir os vários tipos distintos de dispositivos biomédicos existentes, por exemplo, o código

referente a dispositivos de ECG (Entrocardiograma) é diferente do código referente a dispositivos de EEG (Eletroencefalograma) que é diferente do código de dispositivos de medição de glicose e assim por diante (Valentim et al., 2008).

Ao contrário do código, a porta associada a um dispositivo biomédico pode não ser única para cada tipo de dispositivo diferente. A justificativa para esse fato decorre da troca de mensagens de dados dentro do leito ser feita segundo um esquema de *publisher-subscribe* em que o dispositivo envia seus dados ao nós do grupo (leito) e esses decidem se efetuam o seu consumo ou não (Valentim, 2008). Desse modo, dispositivos que trabalham sobre o mesmo tipo de dados utilizam a mesma porta para efetuarem a publicação ou o consumo desses dados (Souza, 2010), por exemplo, dispositivos de medição de glicose e de infusão de insulina realizam a sua comunicação na mesma porta.

O leito hospitalar é a entidade responsável por comportar um paciente e os dispositivos biomédicos a ele associados. Assim como os dispositivos biomédicos, um leito também possui um código de identificação único que serve para diferenciá-lo (Valentim et. al., 2008). Além desse código, cada leito possui também um endereço IP *multicast* associado, visto que, na rede PM-AH, cada leito é mapeado como sendo um grupo *multicast*. A associação entre dispositivos e leitos é tal como descrita na Figura 4 a seguir:

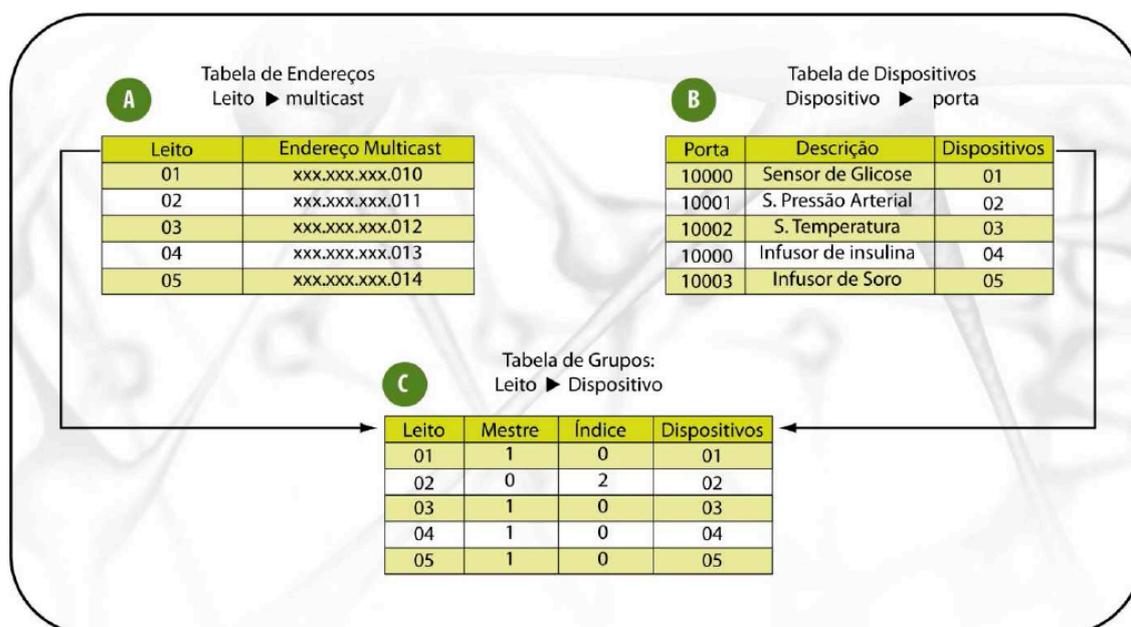


Figura 4 - Esquema de associação de dispositivos em leitos. (Fonte: Valentim, 2008)

A associação de um dispositivo em um leito da rede hospitalar ocorre por meio da troca de mensagens de solicitação e confirmação de inscrição entre os dispositivos biomédicos e o Provedor de Serviços (Valentim, 2008). Nesse esquema, logo após ser iniciado, o dispositivo biomédico envia uma mensagem de requisição de inscrição (*Request Message Join – RMJ*) ao Provedor de Serviços (Valentim, 2008) indicando qual o leito no qual ele deseja se associar. Quando essa mensagem chega ao PS, o mesmo verifica se é possível efetuar a inscrição no leito desejado e, caso seja possível, envia uma mensagem de confirmação de inscrição (*Confirmation Message Join – CMJ*) ao dispositivo solicitante indicando o sucesso da sua inscrição e descrevendo o papel que esse dispositivo exercerá dentro do leito, o endereço *multicast* correspondente ao leito desejado, à porta onde o dispositivo realizará o envio ou consumo de dados e um índice a ser utilizado no processo

de coordenação de envio de mensagens de dados realizado pelo mestre de cada leito durante uma janela síncrona (Valentim et. al., 2008).

As mensagens de solicitação e confirmação de inscrição são sempre enviadas em uma porta e grupo *multicast* específicos para essa finalidade, sendo assim, antes de se inscrever no grupo correspondente a um leito da rede PM-AH, o dispositivo deve estar inscrito nesses grupos *multicast* especiais para poder realizar a inscrição em conjunto com o Provedor de Serviços (Valentim, 2008).

A inscrição do dispositivo num grupo *multicast* correspondente ao leito propriamente dito é feita somente após o recebimento da mensagem de confirmação de inscrição. Nesse esquema, quando o dispositivo recebe a mensagem de confirmação, ele desassocia-se dos grupos *multicast* especiais para a realização de inscrição de dispositivos e associa-se no grupo *multicast* indicado na mensagem de confirmação que corresponde ao leito desejado (Valentim et al, 2008).

O envio das mensagens de solicitação e confirmação de inscrição não interfere no processo de comunicação dentro do leito, uma vez que, o dispositivo solicitante só efetuará a sua inscrição no grupo *multicast* correspondente ao leito desejado após ter recebido a mensagem de confirmação de inscrição enviada pelo Provedor de Serviços (Souza, 2010). Sendo assim, as ocorrências de solicitações de inscrição podem acontecer a qualquer momento independente da janela em que o leito desejado se encontra.

Em termos gerais, dentro de um leito (grupo *multicast*), um dispositivo pode exercer dois papéis: mestre ou escravo (Valentim, 2008).

Um dispositivo no papel de mestre é responsável pela coordenação do envio de mensagens de dados provenientes dos demais nós do leito e sinalização do início e término das janelas constituintes de um ciclo temporal por meio das mensagens de sincronização (*Indication Synchronization Message - ISM*) e início de janela assíncrona (*Indication Beginning Window Assynchronous - IBWA*) (Souza, 2010).

Para efetuar a tarefa de coordenação de envio de mensagens de dados, o mestre possui uma lista dos índices dos dispositivos que se encontram ativos no leito em um determinado instante de tempo (Souza, 2010). Por meio dessa lista, o mestre efetua a passagem de *token*, através de mensagens de passagem de *token* (*Message Token Pass – MTP*), durante a janela síncrona, dando vez a todos os dispositivos ativos no leito para que eles efetuem a transferência de dados um de cada vez (Valentim, 2008).

Caso exista alguma remoção ou inscrição de dispositivo no leito, essa lista de índices deve ser atualizada como forma de manter o esquema de passagem de *token* o mais eficiente possível (Valentim, 2008). A atualização dessa lista é feita por meio de mensagens de reindexação (*Reindexing Message Node – RMN*) que são enviadas pelo Provedor de Serviços ao mestre do leito em que houve a inscrição/remoção apenas durante as janelas assíncronas (Valentim, et al., 2008).

Os dispositivos escravos têm apenas a função de atuar ou medir sinais vitais dos pacientes (Valentim, 2008). Numa janela síncrona, esses dispositivos são elementos passivos, ou seja, só enviam mensagens caso recebam um *token* proveniente do mestre do leito. Numa janela assíncrona, esses dispositivos têm autonomia no envio de suas mensagens, ou seja,

não precisam da autorização do mestre para efetuar o envio de alguma informação pela rede (Valentim, et. al., 2008).

Nas janelas assíncronas, não são efetuadas transferências de dados correspondentes a medição de sinais vitais de pacientes. Sendo assim, a autonomia dos dispositivos escravos nessa janela limita-se a ações de envio de mensagens de alarme (*Indication Alarm Message – IAM*), realização de testes de comunicação e solicitação de remoção no leito por meio de mensagens de requisição de remoção enviadas pelo dispositivo ao Provedor de Serviços (*Request Remove Join – RRJ*) (Valentim et al., 2008).

Um dispositivo é inscrito na condição de escravo quando o leito desejado já possui mestre, ou quando não possui, mas o dispositivo em questão não tem capacidade de processamento suficiente para realizar as tarefas pertinentes ao mestre (fator indicado num dos campos da mensagem de solicitação de inscrição) (Valentim, 2008).

Na atribuição de índices, o PM-AH estipula que o dispositivo mestre sempre possui o índice zero, enquanto os escravos podem ter um índice que se encontra numa faixa entre 1 e 127, totalizando assim, 128 possíveis inscrições dentro de um leito (Valentim, 2008).

Ciclos temporais: janelas síncronas e assíncronas

O PM-AH é um protocolo que divide o tempo de comunicação no leito em ciclos temporais. Esses ciclos, por sua vez, são compostos por duas janelas de comunicação: janela síncrona e janela assíncrona (Valentim, 2008).

Na janela síncrona, o objetivo principal é a transferência dos dados correspondentes às medições efetuadas pelos dispositivos biomédicos. Essa transferência é realizada segundo um modelo mestre-escravo em que o dispositivo eleito como o mestre do leito define qual dispositivo transmitirá seus dados e quando será feita essa transmissão (Valentim, 2008).

A indicação que um dispositivo é detentor do direito de transmissão é feita através do envio de mensagens de passagem de *token* (Souza, 2010). Nesse esquema, o mestre envia essa mensagem a cada dispositivo inscrito no leito (incluindo o próprio mestre), um por vez, de forma que, ao recebê-la, o dispositivo envia uma mensagem de dados contendo informações relativas às medições dos sinais vitais efetuadas pelos dispositivos (Valentim, 2008).

Vale salientar que todas as mensagens de dados enviadas em todo e qualquer leito da rede, devem também ser enviadas ao Provedor de Serviços, para tanto, este deve estar inscrito em todos os leitos (grupos *multicast*) da rede de forma que possa receber toda e qualquer mensagem que trafegue por ela (Souza, 2010).

Na janela assíncrona, o comportamento não é coordenado como na janela síncrona, ou seja, se um dispositivo tem alguma mensagem para enviar, ele envia sem a necessidade da autorização do mestre (Valentim et, al., 2008). O objetivo dessa janela é permitir a execução de tarefas que ocorrem de forma livre de sincronismo, tais como: notificação de alarmes, realização de testes de comunicação, reindexação e remoção de nós etc (Valentim et al., 2008).

A duração de um ciclo temporal é dada pela soma dos tempos necessários para a execução de uma janela síncrona e de uma janela assíncrona (Valentim, 2008). A entidade

responsável por calcular os tempos de duração de cada janela no PM-AH é o mestre do leito, nesse aspecto, adota-se que o tempo necessário para a execução de uma janela assíncrona é dado em função do tempo necessário para a execução de uma janela síncrona (Souza, 2010). Inicialmente, o tempo de cada janela é considerado igual, porém é possível reajustar o tempo de duração de uma janela assíncrona por meio de mensagens de reajuste de fator temporal (*Request Adjust Factor Message - RAFM*), a qual pode ser enviada pelo Provedor de Serviços ao mestre de cada leito durante uma janela assíncrona.

Provedor de Serviços

O Provedor de Serviços é a entidade responsável pela coordenação da rede PM-AH como um todo (Valentim et. al., 2008). Dentre as tarefas cabíveis a ele, tem-se o cadastro de dados referentes às medidas efetuadas pelos dispositivos biomédicos, inscrição e remoção de dispositivos, atribuição e reindexação de índices, realização de testes de comunicação, cadastro de alarmes e ajuste do fator temporal determinante da duração das janelas assíncronas (Valentim, 2008).

Conforme dito, o Provedor de Serviços está inscrito em todos os leitos da rede, sendo assim, toda e qualquer mensagem enviada por um dispositivo biomédico será enviada também ao PS, possibilitando assim, que este realize todas as tarefas que são de sua responsabilidade (Souza, 2010). Sob uma perspectiva comportamental, o Provedor de Serviços simplesmente aguarda a chegada de mensagens e realiza o processamento devido sobre as mesmas.

ANÁLISE DE DESEMPENHO DO PM-AH

Conforme dito, a incorporação de conceitos da automação em ambientes hospitalares ocasionou o surgimento de uma série de requisitos pertinentes a área médica (Brooks e Brooks, 1998) dos quais a comunicação é um dos principais fatores (Valentim, 2008).

Em virtude da rede de dados nos hospitais serem baseadas no padrão Ethernet e pelo fato do mesmo possuir alta interoperabilidade e baixo custo (Dolejs et. al., 2004), o seu uso no estabelecimento da rede de automação hospitalar torna-se interessante em virtude da facilidade de manutenção e diminuição de custos de instalação dessa rede em decorrência da possibilidade de uso da infra-estrutura já existente (Souza, 2010).

Diante desse cenário, essa seção descreve uma série de análises de desempenho comparativas entre as redes Ethernet que fazem uso do PM-AH e as redes Ethernet que não utilizam tal protocolo como forma de atestar a viabilidade do mesmo na resolução do problema da comunicação em ambientes hospitalares.

Sendo assim, são descritos a seguir os cenários de teste adotados nas análises de desempenho e os resultados obtidos na execução dos mesmos. Vale salientar que a execução desses cenários foi realizada por meio de simulações projetadas no *Network Simulator (NS)* versão 2, o qual consiste numa ferramenta de simulação de código aberto que oferece suporte a um grande número de tecnologias (Coutinho, 2003).

Cenários de teste

Para a análise de desempenho em questão foram elaborados três cenários de teste em que cada cenário considera um ambiente com uma quantidade de leitos diferente. Essa variação no número de leitos tem como objetivo avaliar o comportamento do PM-AH quando este é submetido a diferentes níveis de tráfego, uma vez que, o aumento no número de leitos ocasiona um crescimento na quantidade de dispositivos o que intensifica o fluxo de mensagens trocadas na rede.

Vale ressaltar que, nas simulações da rede Ethernet/PM-AH, o comportamento do switch com IGMP *Snooping* foi obtido mediante o controle de eventos dentro do próprio *Network Simulator*.

Sendo assim, foram projetadas simulações para 10, 25 e 50 leitos com 6 dispositivos cada de acordo com as especificações abaixo:

- Quantidade de ciclos temporais adotadas em cada simulação: 1000 ciclos;
- Taxa de transmissão da rede: 100Mbps (*Fast-Ethernet*);
- Tamanho da fila presente nos enlaces: 50 pacotes.
- Distribuição uniforme de 1% para ocorrência de alarmes nos nós dentro de um ciclo temporal (Gullikson, 1995);
- Tempo de subida e descida na pilha de protocolos variável entre 0,71 μ s e 1,57 μ s (Viégas e Valentim, 2006)
- Geração dos gráficos efetuadas no Matlab R2006b;

Um ponto interessante nas especificações acima é a definição do tamanho da fila presente nos enlaces como sendo igual a 50 pacotes. Esse parâmetro é importante pelo fato de permitir uma análise das redes Ethernet/PM-AH e Ethernet sem PM-AH no que diz respeito a perda de mensagens, uma vez que, no *Network Simulator* quando um enlace possui uma quantidade de pacotes a serem enviados igual ao tamanho de sua fila, qualquer tentativa de colocar-se um pacote a mais nesse enlace ocasionará o descarte do mesmo (Coutinho, 2003), sendo assim, por meio desse parâmetro é possível avaliar o PM-AH no que diz respeito a perda de mensagens em decorrência da sobrecarga da rede.

Resultados

Realizado a execução dos cenários de teste, foram levantados gráficos e tabelas nos quais são descritas medidas de desempenho que servem para avaliar a viabilidade do uso do PM-AH em redes de automação hospitalar.

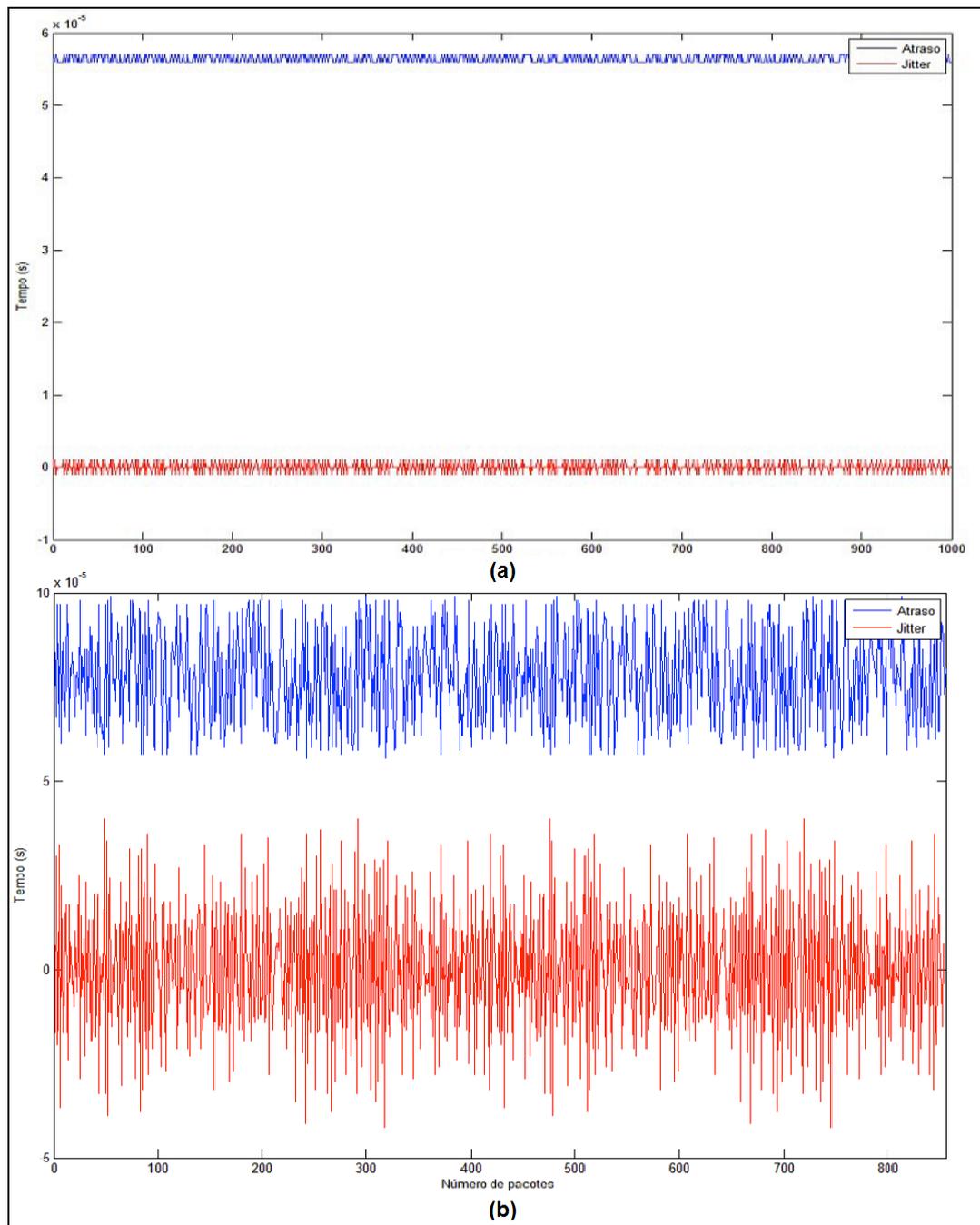
Os gráficos apresentados retratam dois parâmetros que mostram bem a presença de aspectos determinísticos numa rede: o atraso e o *jitter*. O atraso indica o tempo necessário para um pacote sair de um nó de origem e chegar a um nó de destino, enquanto que o *jitter* significa a variação do atraso ao longo da transmissão.

Já os resultados descritos nas tabelas abordam outros aspectos interessantes a serem levantados como, por exemplo, desvio padrão do atraso das transmissões, número de pacotes perdidos etc.

É interessante ressaltar que os resultados a seguir foram obtidos mediante o monitoramento de uma transferência específica, nesse caso, tanto para as simulações da rede Ethernet/PM-AH como para a Ethernet sem PM-AH, a transmissão monitorada foi das mensagens de

dados provenientes do nó de índice 3 do leito 1 e destinadas ao nó de índice 5 do mesmo leito.

Os resultados de atraso e *jitter* para o cenário de teste composto por 10 leitos podem ser vistos na Figura 5 em que o item (a) corresponde à rede Ethernet/PM-AH e o item (b) corresponde à rede Ethernet sem PM-AH. Por sua vez, a Tabela 1 traz outras medidas de desempenho extraídas dos gráficos em questão.



**Figura 5 - Atraso e Jitter para 10 leitos de 6 dispositivos cada. (a) Ethernet/PM-AH
(b) Ethernet sem PM-AH.**

Tabela 1 - Medidas de desempenho para o cenário de teste composto por 10 leitos de 6 dispositivos cada.

MEDIDA DE DESEMPENHO	ETHERNET/PM-AH	ETHERNET SEM PM-AH
Total de pacotes gerados na rede como um todo	60.000	60.000
Total de pacotes gerados na transmissão monitorada	1.000	1.000
Número de pacotes perdidos na rede como um todo	0	7.002 (11,67% de perda)
Número de pacotes perdidos na transmissão monitorada	0	144 (14,4% de perda)
Atraso médio	$5.64 \times 10^{-5} \text{s}$	$7.79 \times 10^{-5} \text{s}$
<i>Jitter</i> médio	$2.78 \times 10^{-17} \text{s}$	$9.37 \times 10^{-8} \text{s}$
Desvio padrão	4.93×10^{-7}	1.24×10^{-6}

A próxima análise de desempenho consiste na simulação do cenário de teste composto por 25 leitos de 6 dispositivos cada. Essa simulação é importante, pois serve de base para uma análise do comportamento da rede PM-AH quando submetida a um aumento no fluxo de mensagens na rede. Os resultados do atraso e *jitter* para esse cenário de teste podem ser vistos nos gráficos da

Figura 6 em que o item (a) diz respeito à simulação da rede Ethernet/PM-AH e o item (b) diz respeito à simulação da rede Ethernet sem PM-AH. As demais medidas de desempenho obtidas para esse cenário de teste podem ser vistas na Tabela 2 a seguir.

Analisando os resultados acima é possível perceber que o PM-AH mostrou-se novamente ser um protocolo determinístico (algo que pode ser comprovado pela baixa variação do atraso e pelo pequeno *jitter* obtido) e sem perda de mensagens de dados tanto na transmissão monitorada como na rede de uma forma geral.

Outro fator interessante nos resultados acima é que o atraso médio obtido para a simulação do cenário de teste composto por 25 leitos é rigorosamente igual ao atraso médio obtido para o cenário de teste composto por 10 leitos. Isso mostra que o PM-AH é um protocolo capaz de manter o comportamento da rede mesmo quando essa sofre um aumento no nível de tráfego em decorrência do aumento no número de nós.

Com relação a simulação da rede Ethernet sem PM-AH para o cenário de testes composto por 25 leitos é perceptível novamente que o desempenho do mesmo foi bem abaixo do obtido para a rede Ethernet/PM-AH tanto no determinismo no tempo de entrega das mensagens quanto na perda de pacotes. Outro fato que chama atenção na simulação dessa rede é o aumento na proporção da quantidade de pacotes perdidos, tanto na rede como um todo (64,67% de perda de pacotes enviados) como na transmissão monitorada (69,5% de perda de pacotes enviados), quando comparados a simulação do cenário de teste composto por 10 leitos.

A justificativa para esse crescimento na perda de mensagens decorre do aumento do tráfego da rede em decorrência do maior número de leitos adotado no cenário de teste em questão. Dessa forma, como o domínio de colisão da rede Ethernet sem PM-AH é composto pela rede toda, o aumento no número de mensagens trafegando pela mesma ocasiona um crescimento nos enfileiramentos presentes nas portas do *switch*, fator esse responsável pelo aumento na perda de mensagens decorrente do descarte de mensagens nessas portas (Valentim, 2008).

A próxima análise de desempenho consiste na simulação do cenário de teste composto por 50 leitos de 6 dispositivos cada. Essa simulação novamente servirá de base para analisar o

comportamento do PM-AH quando esse é submetido a um maior nível de tráfego decorrente do crescimento da quantidade de dispositivos na rede.

Dessa forma, os resultados do atraso e *jitter* para esse cenário podem ser vistos nos gráficos da Figura 7 em que o item (a) diz respeito à simulação da rede Ethernet/PM-AH e o item (b) diz respeito à simulação da rede Ethernet sem PM-AH. As demais medidas de desempenho obtidas para esse cenário de teste podem ser vistas na Tabela 3 a seguir.

Com base nos resultados acima é perceptível que o PM-AH, mesmo com o aumento no número de leitos, manteve novamente seu comportamento determinístico, obteve um tempo de atraso médio igual ao das outras simulação e não apresentou perda de pacotes. Esses fatos mostram novamente que o PM-AH é um protocolo robusto e que o seu comportamento não sofre influencia do tamanho da rede hospitalar, características essas que o tornam bastante interessante na automatização desse tipo de ambiente.

Por sua vez, as redes Ethernet sem PM-AH novamente mostraram não-determinismo e tiveram um aumento considerável na taxa de perda de pacotes, tanto na transmissão monitorada (89,2%) como na rede como um todo (82,33%), quando comparado ao cenários de teste compostos por 10 e 25 leitos. A justificativa para essa queda de desempenho é a mesma para o cenário anterior composto por 25 leitos: o aumento no número de dispositivos ocasiona um crescimento no fluxo de mensagens trafegando pela rede o que ocasiona um crescimento no tamanho dos enfileiramentos nas portas do *switch* (Valentim, 2008)

Tabela 2 - Medidas de desempenho para o cenário de teste composto por 25 leitos de 6 dispositivos cada.

MEDIDAS DE DESEMPENHO	ETHERNET/PM-AH	ETHERNET SEM PM-AH
Total de pacotes gerados na rede como um todo	150.000	150.000
Total de pacotes gerados na transmissão monitorada	1.000	1.000
Número de pacotes perdidos na rede como um todo	0	97.000 (64,67% de perda)
Número de pacotes perdidos na transmissão monitorada	0	695 (69,5% de perda)
Atraso médio	$5.64 \times 10^{-5} \text{s}$	$7.94 \times 10^{-5} \text{s}$
<i>Jitter</i> Médio	$1.00 \times 10^{-9} \text{s}$	$3.67 \times 10^{-6} \text{s}$
Desvio padrão	$4.94 \times 10^{-7} \text{s}$	$1.36 \times 10^{-5} \text{s}$



**Figura 6 - Atraso e *Jitter* para 25 leitos de 6 dispositivos cada. (a) Ethernet/PM-AH
(b) Ethernet sem PM-AH.**

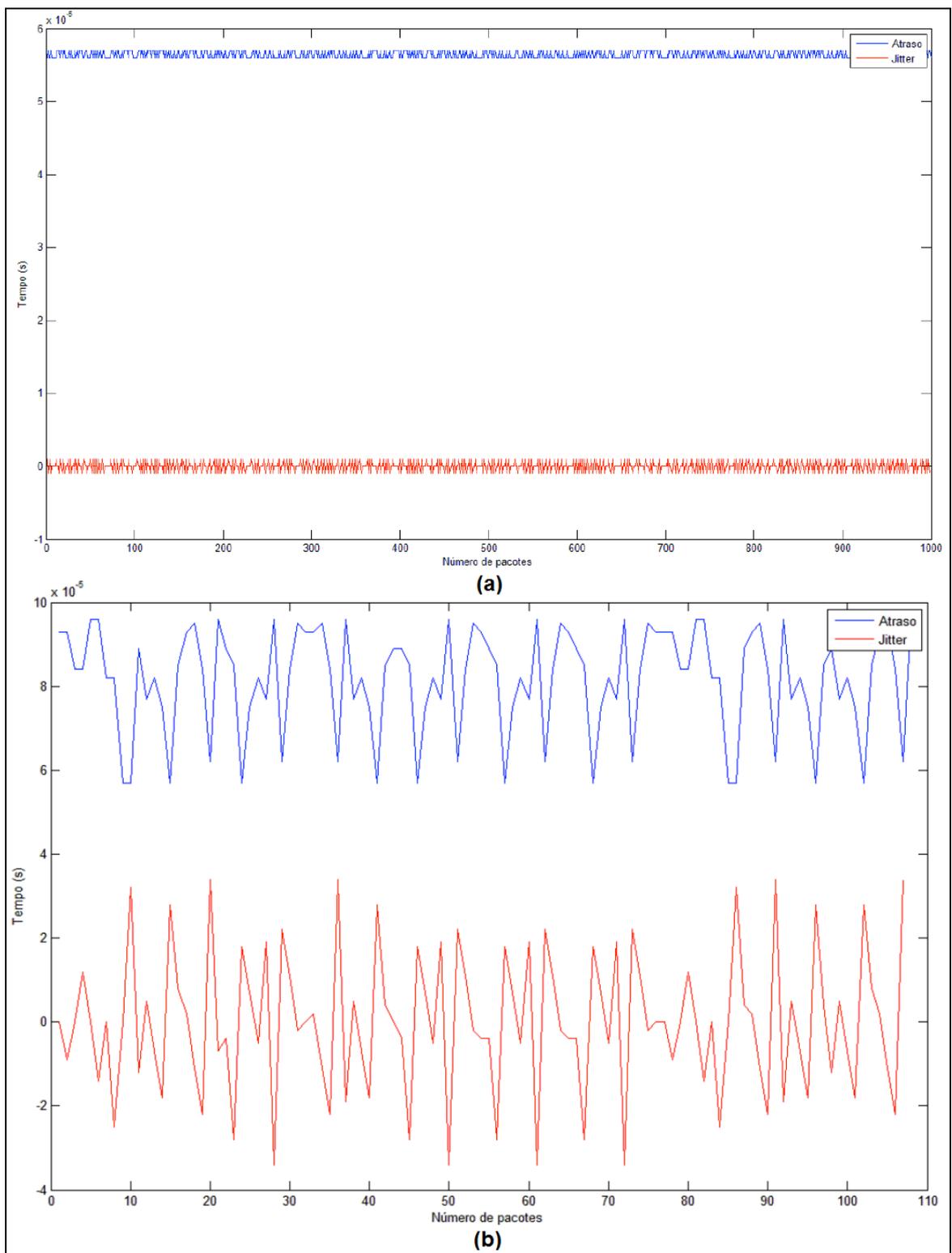


Figura 7 - Atraso e Jitter para 50 leituras de 6 dispositivos cada. (a) Ethernet/PM-AH
(b) Ethernet sem PM-AH.

Tabela 3 - Medidas de desempenho para o cenário de teste composto por 50 leitos de 6 dispositivos cada.

MEDIDA DE DESEMPENHO	ETHERNET/PM-AH	ETHERNET SEM PM-AH
Total de pacotes gerados na rede como um todo	300.000	300.000
Total de pacotes gerados na transmissão monitorada	1.000	1.000
Número de pacotes perdidos na rede como um todo	0	247.000 (82,33% de perda)
Número de pacotes perdidos na transmissão monitorada	0	892 (89,2% de perda)
Atraso médio	$5.64 \times 10^{-5} \text{s}$	$8.15 \times 10^{-5} \text{s}$
Jitter médio	$2.77 \times 10^{-17} \text{s}$	$2.80 \times 10^{-8} \text{s}$
Desvio padrão	4.96×10^{-7}	1.26×10^{-5}

CONCLUSÃO

As redes de automação hospitalar possuem restrições temporais típicas e específicas ao ambiente que as mesmas se propõem a automatizar: o ambiente hospitalar (Souza, 2010). Dessa forma, o uso de protocolos projetados para o ambiente industrial no estabelecimento dessas redes torna-se inviável em virtude dos mesmos contemplarem tecnologias e objetivos diferentes, os quais são pertinentes ao ambiente industrial (Valentim, 2008).

Dessa forma, uma das soluções viáveis ao problema em questão seria o PM-AH, porém antes de afirmar que o mesmo trata-se do protocolo ideal ao problema em questão faz-se necessário um estudo do mesmo de modo a levantar as suas características para só então verificar se esse atende todos os requisitos das redes hospitalares.

Sendo assim, o presente trabalho traz contribuições relevantes nesse aspecto na medida que valida o uso do PM-AH em redes hospitalares por meio das análises de desempenho descritas acima. Por meio delas, é possível perceber que, além de cumprir todas as metas temporais impostas por sistemas de tempo-real, o PM-AH mostra-se robusto quanto ao crescimento da rede além de permitir uma comunicação isolada entre os leitos distintos, dessa forma, atendendo assim a todos os requisitos pertinentes a uma rede de automação hospitalar.

Com relação aos trabalhos futuros que poderiam surgir do trabalho em questão têm-se dois que seriam bastante interessantes: uma implementação experimental do PM-AH em ambientes reais e o projeto de módulos de comunicação para dispositivos biomédicos que trouxessem implementado o PM-AH dentro deles.

Em relação a implementação experimental do PM-AH tem-se que a mesma torna-se um trabalho interessante em decorrência das análises de desempenho descritas acima serem todas baseadas em simulação o que, embora tenham sido projetadas considerando diversos aspectos presentes no mundo real como os tempos de subida e descida na pilha (Viégas e Valentim, 2006) e o descarte decorrente do enfileiramento de pacotes, tendem a abordar resultados diferentes dos que seriam obtidos em uma implementação em ambientes reais. Dessa forma, poder-se-ia projetar uma implementação desses cenários de teste em ambientes reais e assim extrair as mesmas medidas de desempenho obtidas no presente

trabalho como forma de fazer um comparativo entre os resultados gerados pelas simulações e os apresentados na implementação em ambientes reais.

Além desse trabalho, outro que seria bastante interessante seria o projeto de módulos de comunicação para dispositivos biomédicos que trouxessem uma implementação do PM-AH. Nesse ponto, poder-se-iam fazer estudos sobre sistemas embarcados, sobre qual plataforma de desenvolvimento seria mais adequada a implementação do PM-AH, sobre como seria o projeto dessa implementação na plataforma escolhida além da extração de medidas de desempenho como tempo de processamento gasto por esse módulo de comunicação na realização das tarefas típicas do PM-AH como processamento de mensagens de *token*, envio de mensagens de dados, envio de alarmes etc.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com o apoio do Laboratório de Automação Hospitalar e Bioengenharia (LAHB) do Departamento de Engenharia de Computação e Automação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte e do Laboratório de Inovação Tecnológica em Saúde do Hospital Universitário Onofre Lopes da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Dietrich, D., Sauter, T. Evolution Potentials for Fieldbus Systems. WFCS 2000, IEEE Workshop on Factory Communication Systems. Porto, Portugal, September 2000.
2. Nitzan, D. and Rosen, C. A. Programmable Industrial Automation. Transactions on Computers. Volume C-25, Issue 12, Dec. 1976 Page(s):1259 – 1270.
3. Pedreiras, P., Almeida, L., Gai, P. and Giorgio, B. “FTT-Ethernet: A Flexible Real-Time communication Protocol That Supports Dynamic QoS Management on Ethernet-Based Systems”. IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol. 1, N°. 3, August 2005.
4. Protocolo Multiciclos para Automação Hospitalar, Ricardo Alexsandro de Medeiros Valentin - Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Computação (PPGEEC), Universidade Federal do Rio Grande Do Norte (UFRN), 2008.
5. Modelagem aplicada à análise de desempenho do Provedor de Serviços de uma rede IEEE 802.3/PM-AH de tempo real, Vinícius Samuel Valério de Souza – Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Computação (PPGEEC), Universidade Federal do Rio Grande Do Norte (UFRN), 2010.
6. Brooks, J.; Brooks, L. Automation in the medical field. Engineering in Medicine and Biology Magazine, IEEE Volume 17, Issue 4, July-Aug. 1998 Page(s): 76, 1.
7. Valentim, R. A. M. ; Morais, A. H. ; Souza, V. S. V. ; Araújo J, H. B ; Brandão, G. B. ; Guerreiro, A. M. G. . Rede de Controle em Automação Hospitalar: Um Protocolo Multiciclos para Automação Hospitalar sobre IEEE 802.3 com IGMP Snooping. Revista Ciência e Tecnologia, v. 11, p. 19, 2009.
8. Florentino, G. H. P; Bezerra, H. U; Araújo Júnior, H. B; Araújo, M. X; Valentim, R. A. M; Morais, A. H. F; Guerreiro A. M. G, Brandão, G. B.; Araújo, C. A. P.

- Hospital Automation RFID-Based: Technology Stored In Smart Cards. World Congress on Engineering (WCE 2008), ICSBB 2008 - The 2008 International Conference of Systems Biology and Bioengineering. London, U.K., 2-4 July 2008.
9. Valentim, R. A. de M; Morais, A. H. F, Bezerra, H. U; Araújo Júnior, H. B; Xavier, M. A; Guerreiro; A. M. G; Brandão, G. B; Araújo, C. A. P. MP-HA: Multicycles Protocol for Hospital Automation over Multicast. World Congress on Engineering (WCE 2008), ICSBB 2008 - The 2008 International Conference of Systems Biology and Bioengineering. London, U.K., 2-4 July 2008.
 10. Valentim, R. A. de M; Morais, A. H. F, Bezerra, H. U; Araújo Júnior, H. B; Xavier, M. A; Guerreiro; A. M. G; Brandão, G. B; Araújo, C. A. P. MP-HA: Multicycles Protocol for Hospital Automation over multicast with IEEE 802.3. Industrial Informatics, 2008. INDIN 2008. 6th IEEE International Conference. Page(s): 979 – 984. Daejeon, South Korea, 2008.
 11. Araújo J, H. B ; Bezerra, H. U ; Xavier, M. A. ; Souza, V. S. V. ; Valentim, R. A. M. ; Morais, A. H. ; Guerreiro, A. M. G. ; Brandão, G. B. RFID Aplicado a Automação Hospitalar: Desenvolvimento de um Sistema para Automação de Laboratórios de Análise Clínica. In: XVII Congresso Brasileiro de Automática, 2008, Juiz de Fora. XVII Congresso Brasileiro de Automática, 2008.
 12. Florentino, G. H. P. ; Paz, C. A. P ; Bezerra, H. U ; Araújo J, H. B ; Xavier, M. A. ; Souza, V. S. V. ; Valentim, R. A. M. ; Morais, A. H. ; Guerreiro, A. M. G. ; Brandão, G. B. . Hospital Automation System RFID-Based: Technology Embedded In Smart Devices (Cards, Tags and Bracelets). In: Engineering in Medicine and Biology Society, 2008, Vancouver. Engineering in Medicine and Biology Society, 2008.
 13. Valentim, R. A. M. ; Morais, A. H. ; Carvalho, D. R. ; Brandão, G. B. ; Araújo J, H. B ; Bezerra, H. U ; Souza, V. S. V. ; Guerreiro, A. M. G. ; Paz, C. A. P . Multicycles Protocol for Hospital Automation Based on Multicast Networking. In: International Conference on Control, Automation and Systems, 2008, Seoul. International Conference on Control, Automation and Systems, 2008.
 14. Valentim, R. A. M. ; Morais, A. H. ; Araújo J, H. B ; Xavier, M. A. ; Bezerra, H. U ; Souza, V. S. V. ; Amorin, L. G. P ; Guerreiro, A. M. G. ; Brandão, G. B. ; Paz, C. A. P . Medium Access Control: Multicycles Protocol for Hospital Automation over Multicast with IEEE 802.3. In: 34th Conference of IEEE Industrial Electronics Society, 2008, Orlando. 34th Conference of IEEE Industrial Electronics Society, 2008.
 15. Valentim, R. A. M. ; Morais, A. H. ; Araújo J, H. B ; Bezerra, H. U ; Souza, V. S. V. ; Guerreiro, A. M. G. ; Brandão, G. B. ; Paz, C. A. P . Hospital Network: Multicycles Protocol for Hospital Automation over IEEE 802.3 with IGMP Snooping. In: International Conference on Industrial Technology, 2008, Churchill. International Conference on Industrial Technology, 2009.
 16. Brito, A. E. M., Brasileiro, F. V., Leite C. E., Buriti, A. C. Comunicação Ethernet em Tempo-Real para uma Rede de Microcontroladores, Anais do XV Congresso Brasileiro de Automática (CBA 2004) – Brasil, setembro 2004.
 17. Dolejs, O., Smolik, P., e Hanzalek Z. “On the Ethernet use for real-time publish/subscribe based applications”. In 5th IEEE International Workshop on Factory Communication Systems, Vienna, Austria, Sep. 2004.
 18. Carreiro, F., Moraes, R., Fonseca, J. A e Vasques, F. "Real-Time Communication in Unconstrained Shared Ethernet Networks: The Virtual Token-Passing Approach"

- submitted at Emerging Technologies and Factory Automation – ETFA, Catania Italy, 2005.
19. IEEE 802.3/ISO 8802-3 - Information processing systems – Local area networks - Part 3: Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications, 2nd edition, 21 September 1990.
 20. Moraes, R.; Vasques, F., "Real-time traffic separation in shared Ethernet networks: simulation analysis of the h-BEB collision resolution algorithm," *Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications*, 2005. Proceedings. 11th IEEE International Conference on, vol., no. pp. 89- 92, 17-19 Aug. 2005.
 21. RFC 4541. Christensen, M.; Thrane & Thrane; Kimball, K. IGMP and MLD Snooping Switches Considerations. Hewlett-Packard, May, 2006.
 22. Viégas, R.; Valentim, R.A.M.; Texeira, D.G.; Guedes, L.A. Performance Measurements of Protocols to Ethernet Real-Time Applications. *Emerging Technologies and Factory Automation*, 2006. ETFA '06. IEEE Conference on 20-22 Sept. 2006 Page(s):1352 – 1355.
 23. Jain, R. *The Art of Computer Systems Performance Analysis: Techniques for Experimental Design, Measurement, Simulation, and Modeling*. Wiley-Interscience, New York, NY, April 1991.
 24. Coutinho, M. M. *Network Simulator. Guia Básico para Iniciantes. Apostila. Engenharia Elétrica – UFPA. Disponível em: <http://www.di.ufpe.br/~sfd/universo/sim/nsr1.pdf>*. 2003.
 25. J. Postel, "User Datagram Protocol," RFC 768, Aug. 1980.
 26. J. Postel, "Internet Protocol: DARPA Internet Program Protocol Specification," RFC 791, Sept. 1981.
 27. Tanenbaum, A. S. "Computer Networks". 4rd. Ed., Prentice- Hall, 2003.
 28. Tanenbaum, A. S. "Sistemas Operacionais Projeto e Aplicações". 2ª Edição. Ed. Bookman, 2000.