

*Controle de Acesso ao Meio (MAC) Baseado em  
Polling Flexível e Ponderado para Rede  
Corporal de Sensores Sem Fio.*

**Manoel Pontes Gomes**

Junho / 2015

Projeto de pesquisa de Mestrado em Ciência da  
Computação

**Controle de Acesso ao Meio (MAC) Baseado em *Polling*  
Flexível e Ponderado para Rede Corporal de Sensores Sem  
Fio.**

Esse documento corresponde à dissertação de mestrado apresentado à Banca Examinadora para obtenção de título de Mestre em Ciência da Computação da Faculdade Campo Limpo Paulista.

Campo Limpo Paulista, 05 de junho de 2015.

Manoel Pontes Gomes

Prof. Dr. Shusaburo Motoyama (Orientador)

**Resumo:** A rede corporal de sensores sem fio (WBAN – Wireless Body Sensor Network) é uma rede especial que objetiva monitorar e controlar todos os sentidos vitais de um corpo humano. Na WBAN, os sensores são extremamente pequenos e podem ser implantados internamente ao corpo humano o que dificulta a recarga ou troca das baterias. Assim, um dos critérios de projeto dessa rede é a eficiência energética. O projeto de controle de acesso ao meio (MAC) para transmitir os dados coletados dos sensores é um dos pontos essenciais para operar uma WBAN de modo eficiente e economizar energia.

O objetivo desta dissertação é estudar MACs cujas estruturas sejam baseadas em uma coleta de dados dos sensores usando a técnica polling. Duas estruturas serão estudadas. Na primeira estrutura denominada de polling flexível que combina o polling normal, baseado em uma sequência pré-determinada de coleta de dados, com um esquema que atribui uma ordem de prioridades a sensores, será feito um estudo para determinar o tamanho de buffer em cada sensor mais adequado para minimizar energia. Na segunda estrutura, serão atribuídos pesos para os sensores e o polling será executado ponderando esses pesos. O objetivo do estudo é determinar quais os pesos são os mais adequados para se ter um comportamento melhor do que no caso de uma ordem de prioridades apresentado em polling flexível. Em ambas as estruturas, os parâmetros de desempenho utilizados são atrasos de transferência e perda de pacotes. O estudo é realizado através da simulação computacional utilizando a ferramenta MatLab.

**Abstract:** Wireless Body Sensor Network - WBAN is a special network that aims to monitor and control all vital senses of a human body. In a WBAN, the sensors are extremely small and can be inserted internally to the human body which makes it very difficult to the recharge or change of the batteries. Thus, one of the design criteria of this network is energy efficiency. The design of medium access control (MAC) to transmit the data collected from the sensors is one of the essential points to operate a WBAN efficiently and save energy.

The objective of this dissertation is to study MACs whose structures are based on a data collection of sensors using the polling technique. Two structures will be studied. In the first structure named flexible polling, which combines a normal polling based on a predetermined sequence of data collection, with a scheme that assigns a priority to the sensors, a study will be carried out to determine the most suited buffer size in each sensor to minimize the energy. In the second structure, weights will be assigned to the sensors and the polling will be executed considering these weights. The aim of the study is to determine which weights are most suited to have better behavior than the scheme using a priority to the sensors presented in flexible polling. In both structures, the used performance parameters are packet transfer delays and loss. The study is performed through computer simulation using software tool MatLab.

## **Agradecimentos**

À minha família, que muito me apoiaram, em especial aos meus Pais e Irmãos e a minha esposa Ivanete e aos meus filhos Hélio e Sofia que me apoiaram nesta jornada.

Ao meu orientador, Shusaburo Motoyama, pois sua orientação, dedicação, incentivo e sabedoria foram decisivas e motivadoras, fazendo com que eu não fraquejasse diante das dificuldades.

Aos professores, funcionários e colegas, do programa de mestrado em Ciência da FACCAMP. Agradecimento especial aos amigos Cristiane, Egídio, Felipe, Fernando Di Gianni e Sergio, colegas de curso que sempre que possível me ajudaram.

À Deus, por ter me dado força de vontade para superar todos os obstáculos que surgiram no decorrer desta jornada.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: (a) Buffer Infinito (b) Buffer Limitado. ....	14
Figura 2: Exemplo de WBAN (Latré et al. 2010). ....	19
Figura 3: Exemplo de sensores (Loureiro et al. 2003). ....	21
Figura 4: Esquema de uma WBAN (Referencia?). ....	26
Figura 5: Comunicação Intra-bady e Extra-bady (Latré et al. 2010). ....	27
Figura 6: Classificação WBAN (Latré et al. 2010). ....	27
Figura 7: Comparação da Complexidade entre WBAN, WSN e WLAN (Latré et al. 2010). .....	28
Figura 8: Camadas Física WBAN (Ullah, Mohaisen and Alnuem, 2013). ....	29
Figura 9: Roteamento por temperatura (Latré et al. 2010). ....	34
Figura 10: Subcamada MAC. ....	36
Figura 11: Ciclos de operação do S-MAC com períodos ativos e de repouso fixos (Chen 2005). ....	37
Figura 12: Ciclos Ativos e Repousos dos S-MAC e T-MAC (Dam et al. 2003). ....	38
Figura 13: Estrutura do Quadro BodyMAC (Fang et al. 2009). ....	39
Figura 14: Modo de repouso terminado com erro na TX de dados (Fang et al. 2009). .	41
Figura 15: Modo de repouso terminado com Relatório de Eventos (Fang et al. 2009). .	41
Figura 16: Estrutura do quadro TDMA MAC (Yan and Liu 2011). ....	42
Figura 17: Estrutura do Frame CA-MAC (Liu, Yan, and Chen 2011). ....	43
Figura 18: IEEE 802.15.4 Estrutura do Superframe (Ali et. al, 2010). ....	44
Figura 19: Ilustração do protocolo MAC baseado em QoS (Ali et. al, 2010). ....	45
Figura 20: Operação com Polling Flexível .....	47
Figura 21: Comportamento da Fila em cada nó sensor, <i>buffer</i> limitado. ....	51
Figura 22: Tempo Médio de Transferência.....	54

Figura 23: Perda de Pacotes. ....	54
Figura 24: Tempo Médio de Transferência.....	55
Figura 25: Perda de Pacotes. ....	56
Figura 26: Tempo Médio de Transferência.....	56
Figura 27: Perda de Pacotes. ....	57
Figura 28: Tempo Médio de Transferência.....	58
Figura 29: Perda de Pacotes. ....	58
Figura 30: Tempo Médio de Transferência.....	59
Figura 31: Perda de Pacotes. ....	60
Figura 32: Comportamento da Fila em cada nó sensor, <i>buffer</i> Infinito.....	63
Figura 33: Tempos de Transferência para $P1=1$ , $P2=2$ , $P3=3$ e $M=10$ . ....	66
Figura 34: Tempos de Transferência apresentados em (Motoyama, 2012) para $M=10$ . 66	
Figura 35: Tempos de Transferência para $P1=1$ , $P2=2$ , $P3=3$ e $M=20$ . ....	67
Figura 36: Tempos de Transferência apresentados em (Motoyama, 2012) para $M=20$ . 67	
Figura 37: Tempos de Transferência para $P1=1$ , $P2=2$ , $P3=3$ e $M=30$ . ....	68
Figura 38: Tempos de Transferência $P1=1$ , $P2=3$ , $P3=5$ e $M=10$ . ....	69
Figura 39: Tempos de Transferência $P1=1$ , $P2=3$ , $P3=5$ e $M=20$ . ....	70
Figura 40: Tempos de Transferência $P1=1$ , $P2=3$ , $P3=5$ e $M=30$ . ....	71

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Aplicações WBAN e Taxa Média de dados (Latré et al. 2010). .....	22
Tabela 2 - Parâmetros dos Cenários. ....	53
Tabela 3 - Parâmetros de cenários. ....	64

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACK	<i>Acknowledgment</i> , Confirmação de Recepção.
Ad Hoc	Rede de dados onde a comunicação é realizada entre os nós de forma direta, sem controle centralizado no envio de mensagens.
ALTR	Roteamento Adaptativo pela Menor Temperatura
AVC	Acidente Vascular Cerebral
<i>Beacon</i>	Parte do superframe com dados de gerenciamento. Responsável por permitir que estações estabeleçam e mantenham conexão entre os dispositivos.
B-MAC	<i>Berkeley</i> MAC
<i>Broadcast</i>	Comunicação na qual um quadro é enviado de um endereço para todos os outros endereços.
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance.
CTS	Clear to Send, Livre para Envio
DP	Dispositivo Pessoal
E[T <sub>s</sub> ]	Comprimento do Pacote
E[T <sub>xx</sub> ]	Tempo do Pacote no Sistema
E[W]	Tempo gasto no buffer
ECG	Eletrocardiograma.
EEG	Eletroencefalograma.
FIFO	Primeira a chegar, Primeiro a ser atendido (First in, First out)
<i>GTS</i>	<i>Granted Time Slot</i> - Slot Tempo Concedido.
<i>Idle Listening</i>	Escuta Ociosa.
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i> , Instituto de Engenharia Elétrica e Eletrônica.
LOS	<i>Line of Sight</i> , Linha de Visada.
LTR	Roteamento pela Menor Temperatura
M/M/1	Chegadas Markovianas, Atendimento Markoviano, 1 servidor.
MAC	<i>Medium Access Control</i> – Controle de Acesso ao Meio
Multicast	Comunicação na qual um quadro é enviado para um grupo específico de dispositivos ou clientes.

nesC	<i>network embedded systems C</i>
NLOS	<i>Non line of sight</i> , Sem Linha de Visada.
PD	Personal Device (Dispositivo Pessoal)
QoS	<i>Quality of Service</i> (Qualidade de Serviço).
RSSF	Rede de Sensores sem Fio
RSSI	<i>Received Signal Strength Indication</i> , Indicador de Intensidade de Sinal Recebido.
SAR	<i>Specific Absortion Rate</i> - Taxa de Absorção Específica
<i>Sink</i>	Nó Mestre, Nó Central.
<i>Sleep Mode</i>	Modo de Repouso.
S-MAC	<i>Sensor-MAC</i>
<i>Superframe</i>	Estrutura de quadros contendo slots de dados. Com tamanho de tempo entre sinalizações (Beacon) na rede.
SYNC	Sincronização (Synchronization)
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i> (Acesso por multiplexação de tempo).
T-MAC	<i>Time-out-MAC</i>
TX	Transmissor
Txx	Tempo de chega do pacote
<i>Unicast</i>	Comunicação na qual um quadro é enviado de um host e endereçado a um destino específico.
<i>Wake Up</i>	Acordar.
WBAN	Rede Corporal de Sensores Sem Fio.
WSN	<i>Wireless Sensor Network</i> – Rede de Sensores sem Fio.

## Sumário

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO .....	12
CAPÍTULO 2 – REDES CORPORAIS SEM FIO.....	17
2.1 – INTRODUÇÃO .....	17
2.2 – MONITORAMENTO DE PACIENTES .....	19
2.3 – TAXONOMIA E REQUISITOS .....	20
2.3.1 – COMPONENTES .....	20
2.3.2 – TAXA DE DADOS .....	22
2.3.3 – ENERGIA .....	23
2.3.4 – QoS E CONFIABILIDADE .....	24
2.3.5 – SEGURANÇA E PRIVACIDADE.....	25
2.4 – COMPARATIVO WBAN.....	26
2.5 – CAMADA FÍSICA.....	28
2.5.1 – COMUNICAÇÃO RF .....	29
2.5.2 – MOVIMENTO DO CORPO.....	31
2.7 – CAMADA DE REDE .....	31
2.7.1 – ROTEAMENTO POR TEMPERATURA .....	33
2.7.2 – ROTEAMENTO BASEADO EM CLUSTER.....	34
2.8 – CONCLUSÃO.....	35
CAPÍTULO 3 – ESQUEMAS DE CONTROLE DE ACESSO – MAC .....	36
3.1 – PROTOCOLOS MAC BASEADOS EM CONTENÇÃO .....	37
3.2 – PROTOCOLOS MAC LIVRE DE CONTENÇÃO .....	39
3.2.1 – PROTOCOLO TDMA SENSÍVEL AO CONTEXTO .....	42
3.2.2 – PROTOCOLO CA-MAC .....	43
3.2.3 – PROTOCOLO MAC BASEADO EM QoS. ....	44

3.3 – CONCLUSÃO .....	49
CAPÍTULO 4 – POLLING FLEXÍVEL – ESTUDO COM <i>BUFFER</i> LIMITADO .....	50
4.1 – PARÂMETROS DA SIMULAÇÃO .....	50
4.2 – ANÁLISE DE RESULTADOS.....	53
4.3 - CONCLUSÃO .....	60
CAPÍTULO 5 – POLLING PONDERADO.....	62
5.1 – PARÂMETROS DA SIMULAÇÃO .....	62
5.2 – ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	65
5.3 - CONCLUSÃO .....	71
CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHO FUTUROS .....	73
6.1 – TRABALHOS FUTUROS .....	74
REFERÊNCIAS .....	75
APÊNDICE I – ARTIGO PUBLICADO NO CISTI’2015 .....	79
APÊNDICE II – ARTIGO PUBLICADO NO CBMS’2015 .....	86
APÊNDICE III – ARTIGO PUBLICADO NO WCF’2014 .....	93

## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

As redes de sensores sem fio (RSSFs) são constituídas de um grande número de nós distribuídos que colaboram uns com os outros para executarem determinadas tarefas. Um nó sensor pode ser formado/composto por um rádio transmissor/receptor, uma bateria e um processador. Este tipo de rede tem sido objeto de intensas pesquisas, pois pode ser aplicada em diferentes áreas, tais como: transporte e logística incluindo rastreamento de objetos; industrial, por exemplo, controle de temperatura em caldeiras; ambiental, como exemplo, o controle automatizado do ambiente doméstico; trabalho, e médica. Esta última área é o foco deste trabalho de dissertação.

Na área médica, a rede de sensores é denominada de WBAN (Wireless Body Área Network) ou Rede Corporal de Sensores Sem Fio (ou simplificada rede corporal) tem como objetivo monitorar e controlar os sinais vitais do corpo humano.

Tanto a RSSF como a WBAN necessitam de sensores de dimensões diminutas e altamente eficientes em termos de consumo de energia, pois, são geralmente acomodados em locais de difícil acesso, tornando a substituição das baterias uma tarefa onerosa e incômoda. No caso da WBAN, os sensores podem ser colocados externa ou internamente ao corpo humano ou podem fazer parte de uma veste especial. Neste último caso, as baterias serão mais fáceis de serem trocadas e o consumo de energia não será crítico. Por outro lado, quando os sensores são implantados sob a pele, as dificuldades são maiores.

Como o corpo humano é composto de 70% de água aproximadamente, ele se torna uma barreira no processo de transmissão e recepção dos sinais, já que atenua as ondas de rádio, e isso pode provocar perda de sinal, erros, o que fará com que os dados necessitem de retransmissão, consequentemente gerando mais gasto energético, logo esse problema impacta diretamente na vida útil da rede como um todo.

Além disso, no caso da WBAN, os dados coletados são médicos, portanto necessitam de confiabilidade e tratamento em tempo quase real, e são, também, dados privados e confidenciais necessitando de algum tipo de criptografia. Essas características da WBAN exigem estudos e novas propostas nos projetos de arquitetura de rede, nos controles de acesso ao meio, na manipulação de dados e no desenvolvimento de aplicativos essenciais.

Em especial, o projeto de controle de acesso ao meio (MAC), que é responsável pela transmissão dos dados coletados dos sensores é um dos pontos essenciais para operar uma WBAN de modo eficiente e economizar energia. Uma proposta de controle de acesso ao meio utilizando a técnica *polling* de maneira flexível foi apresentada em (Motoyama, 2012).

Nessa proposta existe um modo normal de operação, mas esse modo pode rapidamente mudar para um modo de urgência para atender aqueles nós sensores que necessitam transmitir dados urgentemente, já que os sinais vitais do paciente podem variar ao longo do tempo. É a situação em que, por exemplo, a pressão sanguínea do paciente monitorado subiu repentinamente. No modo normal de operação, o atendimento dos nós sensores é feito de modo cíclico, um nó por vez, utilizando a técnica *polling*. Entretanto, quando o modo é urgente, o nó receberá um atendimento prioritário. Essa flexibilidade na operação será importante para monitorar o paciente e auxiliar no diagnóstico do médico.

No trabalho apresentado em (Motoyama, 2012), a análise de desempenho do esquema foi feita de forma teórica para o caso normal, assim como para o caso urgente.

No caso de modo normal, foram consideradas duas situações de análise, uma com *buffer* de uma posição para armazenamento de pacotes e na outra, infinitas posições de espera, e o tipo de atendimento de pacotes foi exaustivo. No atendimento exaustivo, quando um nó sensor está em serviço, todos os pacotes armazenados no *buffer* são transmitidos inclusive os que chegarem durante o atendimento corrente. No caso de modo urgente, considerou-se que os nós sensores são ordenados em uma sequência de prioridade, e os nós sensores prioritários são atendidos primeiramente. Os resultados das análises mostraram que no modo urgente, os nós sensores de menor prioridade podem ficar sem atendimento prejudicando, dessa forma, a coleta de informações desses nós. E, no modo normal, embora, o *buffer* com somente uma posição de espera possa operar com baixa carga, pode haver uma perda considerável acima de 3% de pacotes com um aumento moderado de carga. Com *buffer* de tamanho infinito não há perdas, mas não é um caso prático.

Neste trabalho de dissertação, os dois modos de operação são estudados em condições diferentes daqueles apresentados em (Motoyama, 2012).

No caso da operação normal, é feito, através da simulação, um estudo considerando vários comprimentos de *buffer* para estimar um tamanho apropriado real de *buffer* para os sensores, levando em conta o critério de pouco descarte de pacotes. Primeiramente, são realizadas simulações utilizando uma fila do tipo FIFO M/M/1 com *buffer* infinito, que não é real na prática, mas que é apropriado para estabelecer valores de parametrização e comparar com o modelo matemático teórico apresentado em (Motoyama, 2012). Em seguida, são feitas simulações com diferentes tamanhos de *buffer* para estabelecer um tamanho apropriado de *buffer* que satisfizesse o critério de pouquíssima ou nenhuma perda.

Para ilustrar as duas situações estudadas, a figura 1 mostra os modelos estudados. Na figura 1(a) tem-se a representação gráfica de um nó sensor com *buffer* infinito, baseado em um atendimento FIFO e usando uma fila M/M/1. Neste caso não há perda de pacotes, já na figura 1(b), tem-se o caso do nó sensor com *buffer* limitado, que mais se aproxima das situações reais.

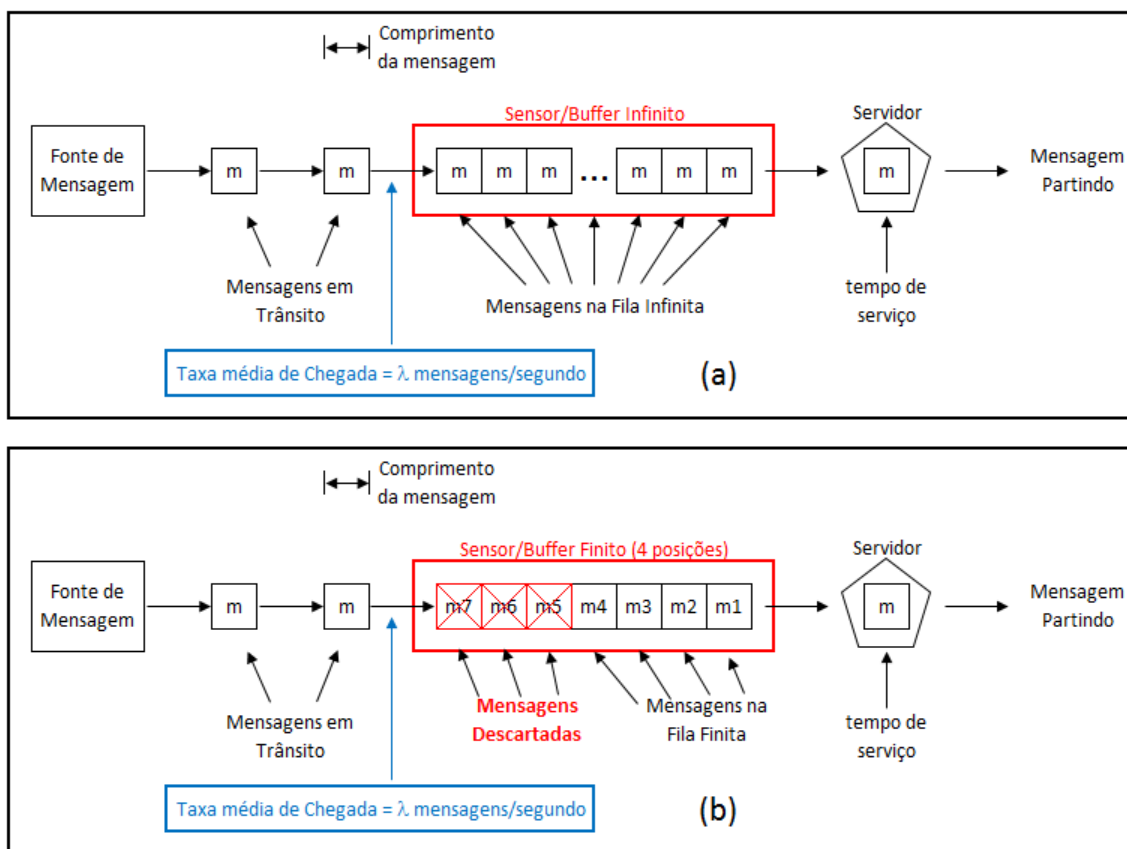


Figura 1: (a) Buffer Infinito (b) Buffer Limitado.

Para o caso do modo urgente, são analisadas, nesta dissertação, diferentes estratégias de atendimento. Em vez de classificar os nós sensores em uma ordem prioritária como analisada em (Motoyama, 2012), serão atribuídos pesos para nós sensores. Os pesos indicam a quantidade de pacotes que cada nó sensor poderá transmitir, limitando dessa forma o total de pacotes que cada nó sensor transmitirá por ciclo, evitando, dessa forma, a situação de não atendimento de alguns nós sensores.

Os critérios utilizados para determinar os pesos foram definidos observando o grau de importância (urgência) do sinal vital que cada sensor está monitorando, assim, três classificações são usadas, Alta, Média e Baixa, com os seguintes significados abaixo.

- Sensores com Alta Prioridade: Normalmente coletam dados de um paciente que esteja em situação de risco, por exemplo um AVC (Acidente Vascular Cerebral) neste caso os sensores que coletam os sinais de ECG e um EEG naturalmente devem ter prioridade de atendimento sobre qualquer um outro sensor, tendo, por exemplo, peso 3.
- Sensores com Média Prioridade: Utilizando o mesmo caso anterior, um sensor de prioridade média seria o de pressão, pois a variação de pressão pode levar a um AVC, tendo, por exemplo, peso 2.
- Sensores com Baixa Prioridade: Neste caso o sensor seria o de temperatura. Na situação hipotética adotada, a temperatura seria o sinal vital de menor impacto imediato, se comparados com os outros, tendo, por exemplo, peso 1.

Este trabalho está dividido em seis capítulos. O capítulo dois descreve o estado da arte das redes corporais, sua composição e características. No capítulo três, são discutidos os principais esquemas de acesso, seus funcionamentos, peculiaridades, pontos positivos e negativos. No capítulo quatro, o modo normal de *polling* é estudado levando em conta diferentes tamanhos de *buffer*. No capítulo cinco, a técnica do *polling* ponderado é proposto e o seu desempenho é estudado. Finalmente, no capítulo 6, as conclusões e contribuições da dissertação são apresentadas, bem como trabalhos futuros são sugeridos.

Finalizando o texto da dissertação, são apresentados os três apêndices, contendo as publicações realizadas neste trabalho de dissertação e são discriminadas abaixo.

Apêndice I: Artigo aceito em “*CISTI'2015 - 10th Iberian Conference on Information Systems and Technologies*” em Aveiro, Portugal, com o título “*Performance Analysis of an Access Scheme Based on Exhaustive Polling for WBAN*”; incluindo, também, e-mail com comprovante de submissão e aceitação do mesmo.

Apêndice II: Artigo aceito em “*The 28th IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems - CBMS 2015*” em São Carlos, São Paulo, Brasil, com o título “*Performance Analysis of an Access Scheme Based on Weighted Polling for WBAN*”; incluindo, também, e-mail com comprovante de submissão e aceitação do mesmo.

Apêndice III: Artigo aceito no “*WCF 2014 - X Workshop de Computação na FACCAMP*”, com o título “*Análise de Desempenho de um Esquema de Acesso Baseado em Polling Exaustivo para WBAN*”; incluindo, também, certificado de submissão.

## **CAPÍTULO 2 – REDES CORPORAIS SEM FIO**

### **2.1 – INTRODUÇÃO**

Algumas pesquisas feitas recentemente levantaram alguns números alarmantes. A principal causa de morte no mundo é a doença cardiovascular (DCV), que representa 30% de todas as mortes no planeta. Segundo a OMS (Organização Mundial de Saúde), a cada ano cerca de 17,5 milhões de pessoas morrem de doenças cardiovasculares, estima-se que em 2015 serão aproximadamente 20 milhões de vítimas. Em muitos casos, essas mortes poderiam ser evitadas com acompanhamento contínuo e cuidados de saúde adequada. Além das DCV outro mal dos nossos dias é a diabetes, estima-se que cerca de 250 milhões de pessoas, em todo o mundo, sofrem desse mal. Esse número deverá subir para 380 milhões em 2025 (Latré et al. 2010).

As DCV e a Diabetes são casos extremos de problemas que um indivíduo pode contrair ao longo da vida, e os sintomas começam a aparecer, geralmente, entre 45 e 50 anos culminando após os 60 anos. Outro fator interessante é que essas doenças possuem algumas características parecidas, como ingestão de medicações, assim medições de sinais corporais diários seria interessante se dispusesse de um sistema automatizado de monitoramento.

Fazer o monitoramento frequente é dispendioso e às vezes falho, o que contribui para o agravamento do quadro clínico do paciente sem falar no processo de medicação que caso falhe também acarretará em complicações. Além desses casos, outras doenças que necessitam de monitoramento contínuo ou prolongados tais como a hipertensão, asma, doença de Alzheimer, doença de Parkinson, insuficiência renal, controle pós-operatório, monitoramento de stress, prevenção da síndrome da morte súbita infantil poderiam se beneficiar da tecnologia WBAN (Latré et al. 2010).

O desenvolvimento de sensores biomédicos, posicionados sob ou implantados no corpo, capazes de coletar sinais vitais do paciente estão revolucionando a maneira de acompanhar os cuidados com a saúde.

Os sensores irão captar os sinais, agrupá-los, até mesmo processá-los e por meio de conexão sem fio irão alimentar um sistema médico, que disponibilizará as informações para um médico ou uma equipe de médicos responsáveis pelo acompanhamento do

paciente, nota-se que em nenhum momento, o paciente terá que estar no hospital para que os seus sinais vitais sejam coletados, isso lhe dará uma maior mobilidade, fazendo com que ele experimente uma nova sensação de liberdade *mHealth* – Saúde Móvel. (Latre et al. 2010).

O grande ganho com o emprego dessa tecnologia é a possibilidade da coleta contínua e prolongada dos sinais vitais, fazendo com que as informações geradas sejam mais completas e confiáveis, para uma melhor tomada de decisão. Desta forma, presenciase o surgimento de uma nova rede, a Rede Corporal sem fio – WBAN (*Wireless Body Area Network*), que ganhou o interesse de vários pesquisadores (Van Dam et al. 2001). Uma Rede Corporal Sem Fio consiste de pequenos dispositivos (sensores) inteligentes conectados ou implantados no corpo, que são capazes de estabelecer um link de comunicação sem fio. Estes dispositivos fornecem vigilância contínua da saúde e feedback em tempo real para o usuário ou para equipe médica. Em linhas gerais esta tecnologia é extremamente versátil, porém devemos lembrar que como qualquer outra rede, ela possui aspectos diferenciados, e em muitos casos tornam a sua implementação não trivial.

Os três tipos de dispositivos que compõem uma Rede de Sensores Sem Fio, são os sensores, os atuadores e o nó Sink. Os sensores captam grandezas físicas, como temperatura do corpo, batimentos cardíacos, etc. Já os atuadores podem intervir no paciente, injetando, por exemplo, uma dose de insulina caso a leitura desses parâmetros esteja abaixo de um limiar configurado no sistema que esteja colocando o paciente em risco de vida. O nó sink é um concentrador, cujas finalidades são agrupar todos os dados captados pelos sensores, realizar um pré-processamento e posteriormente encaminha-los para uma aplicação remota que fará uma análise detalhada e em caso de anormalidade, pode acionar um serviço ou dar um feedback de alerta ao paciente (Latre et al. 2010).

Atualmente as técnicas utilizadas para fazer a comunicação entre estes dispositivos e encaminhar os dados com segurança para um servidor médico ou equipe médica de plantão, são adaptadas de tecnologias que não previam escassez de energia elétrica, já que seus equipamentos ficavam conectados à rede elétrica indefinidamente, caso que não ocorrerá em se tratando de uma WBAN.

Assim as técnicas de RSSF, de redes Ad Hoc e redes WiFi não são indicadas para gerenciamento devido às características da rede e novos protocolos devem ser desenvolvidos para suportar os requisitos de uma WBAN.

## 2.2 – MONITORAMENTO DE PACIENTES

A tecnologia WBAN poderia dar suporte aos pacientes e idosos que tem dificuldades com a gestão de suas condições de saúde. A WBAN permite o monitoramento contínuo dos parâmetros fisiológicos, independentemente do local onde o paciente esteja, quer seja no hospital, em casa ou em movimento, o paciente não precisa mais ficar na cama, para que se possam aferir os seus sinais vitais, ele pode se mover livremente. Além disso, os dados obtidos durante um intervalo de tempo prolongado, quando o paciente estiver em seu ambiente corriqueiro, darão uma visão mais clara para os médicos, em relação aos dados obtidos durante estadias curtas no hospital. Na figura 2, são mostrados os tipos de sinais que podem ser mensurados por essa tecnologia.

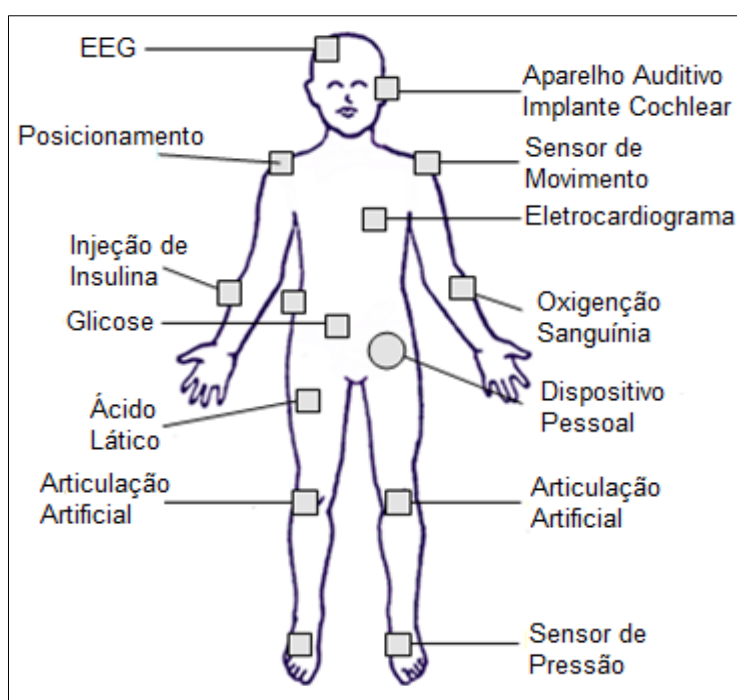


Figura 2: Exemplo de WBAN (Latré et al. 2010).

Além das aplicações médicas, existem outras áreas de aplicação que vão desde a segurança pública, com os bombeiros e a polícia além de ambientes militares, sem falar no campo do entretenimento.

## 2.3 – TAXONOMIA E REQUISITOS

As redes WBAN podem ser empregadas em uma diversificada gama de aplicações, e elas são compostas de uma variedade de dispositivos heterogêneos, o que aumenta a sua complexidade, tanto no momento da sua implantação, operação e manutenção. Essa diversificada gama de componentes tem pontos positivos e negativos, como mostrado abaixo.

Pontos Positivos:

- Acompanhamento ininterrupto de um paciente enfermo;
- Dados de exames mais precisos;
- Mobilidade do Paciente;

Pontos Negativos:

- Tempo reduzido da fonte de energia (Bateria);
- O próprio corpo humano é uma barreira natural para as ondas de rádio;
- Complexidade na implementação da topologia.

O que se deve levar em conta é que, para que esta tecnologia se consolide é necessária uma padronização para que haja interoperabilidade entre diversos componentes.

Outros desafios devem ser pontuados como, por exemplo, a grande variabilidade das taxas de dados, o consumo de energia restrita, a necessidade de qualidade de serviço e confiabilidade, facilidade de uso por profissionais médicos e questões de segurança e privacidade.

### 2.3.1 – COMPONENTES

Apesar dessa grande heterogeneidade, pode-se dividir os componentes de uma WBAN em:

- **Nó Sensor:**  
É um dispositivo de tamanho diminuto, alguns milímetros (veja a figura 3), responsável por captar e reunir dados sobre estímulos físicos, processar os dados, se necessário, transmitir essas informações via link

sem fio, proporcionando mobilidade aos indivíduos que os carregam. É constituído por vários componentes: hardware do sensor, uma unidade de alimentação, um processador, memória e um receptor/transmissor (Latre et al. 2010).

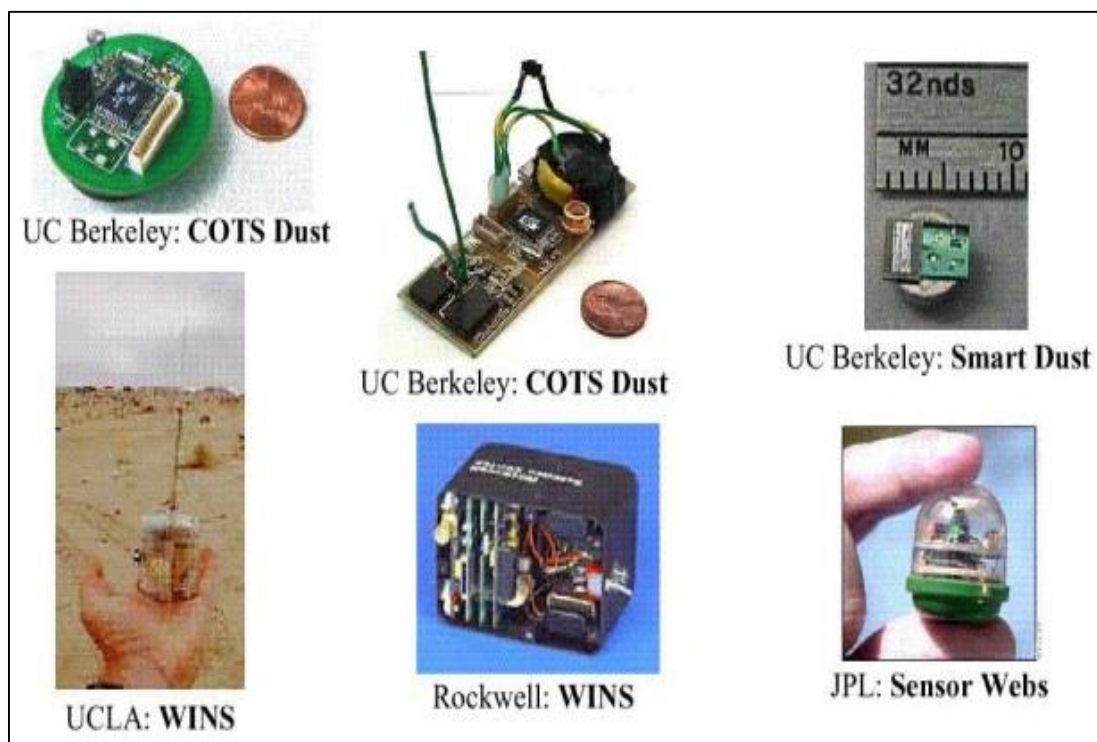


Figura 3: Exemplo de sensores (Loureiro et al. 2003).

- **Nó Atuador:**

Dispositivo semelhante ao nó sensor, mas possui uma função a mais, o dispositivo age de acordo com os dados recebidos dos sensores ou através da interação com o usuário. Os componentes de um atuador são semelhantes aos do sensor: hardware atuador (por exemplo, equipamento para administração de medicamentos, incluindo um reservatório para reter o medicamento), uma unidade de alimentação, um processador, memória e um receptor/transmissor (Latre et al. 2010).

- **Dispositivo Pessoal (Sink):**

Dispositivo que reúne todas as informações colhidas pelos sensores e atuadores, pode disponibilizar essas informações ao usuário, ou seja, ao

paciente, a uma enfermeira, a um médico, etc.; através de bips, um gateway externo, um display ou LEDS no dispositivo. Os componentes são uma unidade de alimentação, um processador (grande), a memória e um receptor/transmissor. Este dispositivo é também chamado uma unidade de controle corporal (BCU). Em algumas implementações, é usado um Assistente Pessoal Digital (PDA) ou telefone inteligente (Smartfone) (Latre et al. 2010).

Observou-se que todos esses dispositivos foram desenvolvidos para aplicações na área de saúde. Nesta dissertação, tanto o nó sensor como nó atuador será utilizado sem o termo sem fio.

### 2.3.2 – TAXA DE DADOS

Devido à grande heterogeneidade das aplicações e à versatilidade da rede, as taxas de dados podem variar abruptamente, pois podemos ter aplicações que vão desde dados simples de alguns Kbits/s, para fluxos de vídeo de vários Mbits/s. Os dados também podem ser enviados em rajadas, o que significa que eles são enviados a taxas mais elevadas durante as rajadas. As taxas de dados para as diferentes aplicações são dadas na Tabela 1 e são calculados por meio da taxa de amostragem, a gama e a precisão desejada das medições (Latre et al. 2010).

**Tabela 1 - Aplicações WBAN e Taxa Média de dados (Latre et al. 2010).**

Aplicação	Taxa de Dados	Banda	Precisão
ECG (12 leads)	288 kbps	100-1000 Hz	12 bits
ECG (6 leads)	71 kbps	100-500 Hz	12 bits
EMG	320 kbps	0-10.000 Hz	16 bits
EKG (12 leads)	43.2 kbps	0-150 Hz	12 bits
Saturação do Sangue	16 kbps	0-1 Hz	8 bits
Monitoramento de Glicose	1600 kbps	0-50 Hz	16 bits
Temperatura	120 kbps	0-1 Hz	8 bits
Sensor de Movimento	35 kbps	0-500 Hz	12 bits
Implante Coclear	100 kbps	-	-
Retina Artificial	50-700 kbps	-	-
Áudio	1 Mbps	-	-
Voz	50-100 kbps	-	-

Em geral, as taxas de dados das aplicações não são elevadas. No entanto, se o paciente tem um WBAN com vários desses dispositivos (ou seja, uma dúzia de sensores de movimento, ECG, EMG, monitoramento de glicose, etc.), a taxa de dados agregada facilmente atinge alguns Mbps.

### 2.3.3 – ENERGIA

O consumo de energia é um ponto crítico em se tratando de WBAN, devido à pequena densidade dos nós sensores, objetivando a ideia de mobilidade do paciente, ou seja, quanto menor o dispositivo mais fácil de acomodá-lo sobre ou no corpo do paciente.

Os tamanhos das fontes de alimentação desses dispositivos se tornaram também muito pequenas e limitadas. Para que fique claro quando dizemos no corpo, nos referimos à implantação do nó sensor no corpo do paciente. Assim podemos dividir o gasto energético em um nó sensor em três domínios: **Detecção (sem fio), Comunicação e Processamento de Dados.**

O processo de Detecção não é oneroso, em se tratando de gasto energético, pois os sensores ficarão localizados sob ou no corpo do paciente, assim basta o nó sensor sinalizar, em um período de tempo longo, para que o PD (Dispositivo Pessoal) atualize a sua lista de dispositivos a serem conectados e confirme a presença daquele nó na rede.

A comunicação sem fio é a fase que consome mais energia em um sensor. A energia disponível nos nós é frequentemente limitada. O tamanho da bateria utilizada para armazenar a energia necessária, na maioria dos casos, é o maior contribuinte para o tamanho do dispositivo sensor, tanto em termos de dimensões e do peso. Assim como as baterias são pequenas, por consequência, o consumo de energia dos dispositivos tem de ser reduzido. Em algumas aplicações, é desejável que um sensor de WBAN/nó atuador tenha sua operação atrelada ao tempo de vida da bateria, que pode ser de meses ou mesmo anos sem intervenção. Por exemplo, um monitor de glicose exigiria um tempo de vida de no mínimo 5 anos. Especialmente para dispositivos implantados, a vida é crucial. A necessidade de substituição ou recarga induz uma penalidade de custo e comodidade que não é desejável. (Latré et al. 2010).

O tempo de vida útil de um nó depende da capacidade da bateria, a combinação de um menor consumo de energia e a eficiência energética é a solução ideal para alcançar Redes Corporais sem Fios autônomas. Para uma WBAN, uma opção para se alcançar a eficiência de energia seria a possibilidade de recarga das baterias a partir de fontes *on-body*, como o calor do corpo e a vibração parece uma boa opção de recarga. Em alguns exemplos, um gerador termoelétrico (TEG) pode ser usado para transformar a diferença de temperatura entre o meio ambiente e no corpo humano em energia elétrica. Em outro caso, utiliza-se, por exemplo, a marcha humana como fonte de energia (Latre et al. 2010).

Durante a comunicação dos dispositivos há produção de calor, que é absorvida pelo tecido circundante aumentando a temperatura do corpo. A fim de limitar o aumento da temperatura e poupar recursos de bateria, o consumo de energia deve ser limitado a um mínimo. A quantidade de energia absorvida pelo tecido é expressa pela taxa de absorção específica (SAR - *Specific Absorption Rate*). Uma vez que o dispositivo pode estar em estreita proximidade com, ou no interior do corpo humano, o SAR pode ser muito grande. O SAR localizado no corpo deve ser minimizado e precisa cumprir com os regulamentos de SAR locais e internacionais. A regulação para a transmissão perto do corpo humano é semelhante ao utilizado para os telefones móveis, com os rigorosos requisitos de potência de transmissão (Latre et al 2010).

#### **2.3.4 – QoS E CONFIABILIDADE**

O processo de encaminhamento dos dados em uma rede WSN ou WBAN é ponto crítico no processo de operação, já que os dados que irão trafegar são informações sobre o estado de saúde de uma pessoa, que via de regra, tem algum problema de saúde. Logo, esses dados devem ser encaminhados para análise e posteriormente será enviado um *feedback* ao paciente baseado nesses dados. Todo esse processo é executado em tempo real, pois a WBAN tem como objetivo manter a integridade do paciente.

A comunicação deve ser fim-a-fim tanto fora do corpo (*extra-body*), quanto dentro do corpo (*intra-body*), devendo ter garantia de entrega e confiabilidade dos dados. Juntando-se esses dois fatores pode-se alcançar a QoS desejada para a rede, pois dessa forma ela será capaz de atender os requisitos de qualidade desejados para o processo de acompanhamento de pacientes, essas características podem ser decisivas quando um

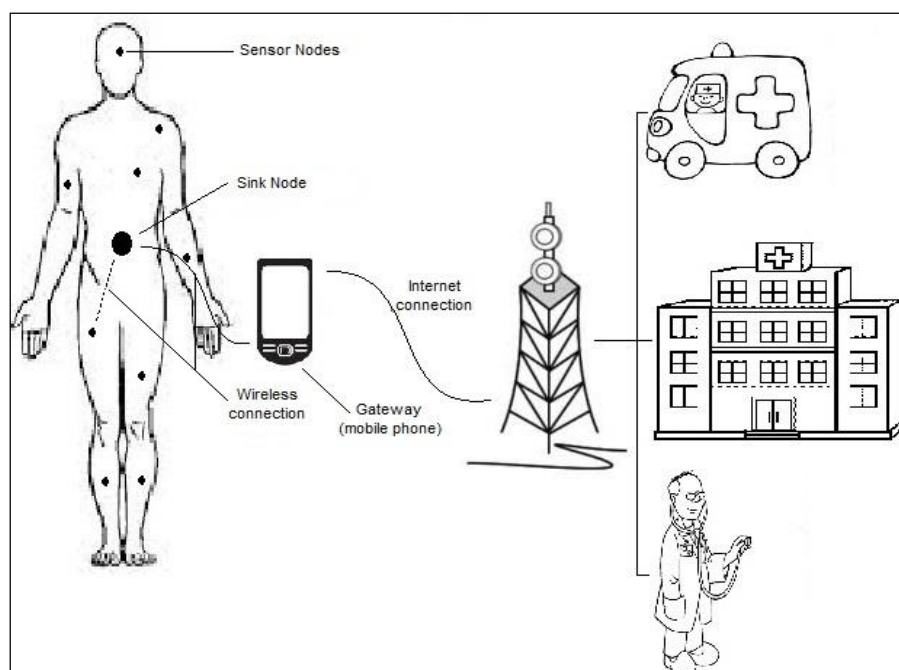
evento de risco de vida for detectado a coleta, o envio e a análise foram feitas sem que a WBAN tenha influenciado no processo, como fator limitante.

A tarefa de otimizar a operação das redes WBAN é alvo de várias pesquisas, porém devido a vários atenuantes como restrição de hardware, processamento, memória, entre outros fica difícil projetar uma solução consistente. Já se tentou usar soluções de QoS específicas usadas em RSSF e em redes Wi-Fi, mas devido as especificidades da WBAN, essas soluções não foram capazes de preencher as lacunas existentes (Latre et al. 2010). O que se observa é que os pesquisadores têm mostrado pouco ou nenhum interesse em pesquisar uma forma de solucionar os problemas de requisitos de QoS em redes WBAN.

Uma tentativa de provimento de qualidade de serviço é a BodyQoS que aborda três desafios trazidos pelas aplicações WBAN. Ela usa uma arquitetura assimétrica, onde a maior parte do processamento é feito no dispositivo central. Em segundo lugar, eles desenvolveram um MAC virtual (V-MAC), que pode suportar uma ampla variedade de diferentes MACs. Em terceiro lugar, uma estratégia adaptativa de programação de recursos é utilizada, a fim de tornar possível o fornecimento de banda estatística garantindo assim a viabilidade dos dados em comunicação WBANs. O protocolo foi implementado em nesC (network embedded systems C) em cima do TinyOS (Latre et al. 2010).

### **2.3.5 – SEGURANÇA E PRIVACIDADE.**

As questões relacionadas com a segurança e privacidade das informações de uma WBAN requerem atenção especial, afinal se trata de informações que em muitos casos podem ser vitais para a manutenção da vida de um paciente. Podemos levantar várias possibilidades de captura de informações de uma WBAN por terceiro, que pode ocorrer dentro da própria rede BAN ou fora dela, afinal temos uma parte do caminho dentro do corpo, ou seja, intra-body e outro fora do corpo extra-body que vai do PD (Personal Device) até os pontos de análise (veja a figura 4).



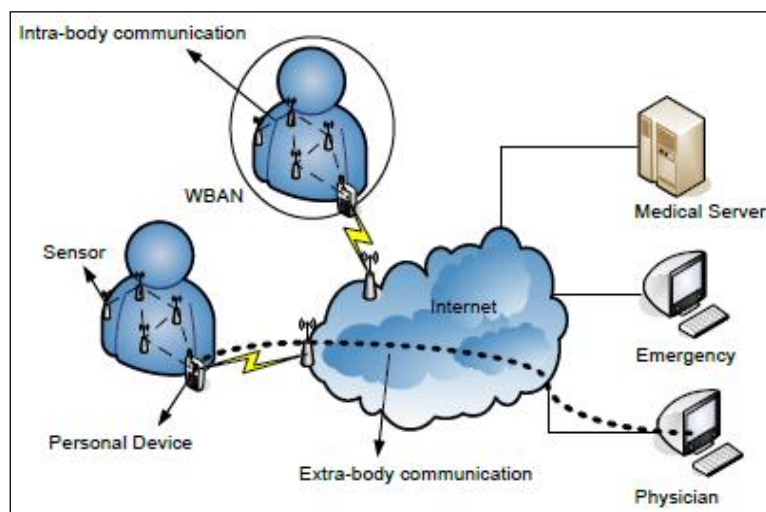
**Figura 4: Esquema de uma WBAN.**

Mecanismos de criptografia devem ser adotados para garantir a integridade e a confiabilidade das informações, já que essas informações irão viajar pela internet até chegarem ao seu destino que pode ser um Servidor de aplicações Médicas ou um Servidor Médico de Emergência, uma ambulância ou até mesmo uma enfermeira, assim os dados devem ser criptografados para proteger a privacidade do paciente. A equipe médica ao coletar os dados precisa ter garantias que os dados não são adulterados e de fato são do paciente em questão. Além disso, não se pode esperar que os responsáveis pelo socorro sejam capazes de acessar a BAN, ou fazer qualquer outro tipo de procedimento para ter acesso aos dados caso o paciente se encontre em situação de incapacidade, isso tornaria o processo muito complexo, podendo até mesmo impactar na vida ou morte do paciente (Latre et al. 2010).

#### **2.4 – COMPARATIVO WBAN.**

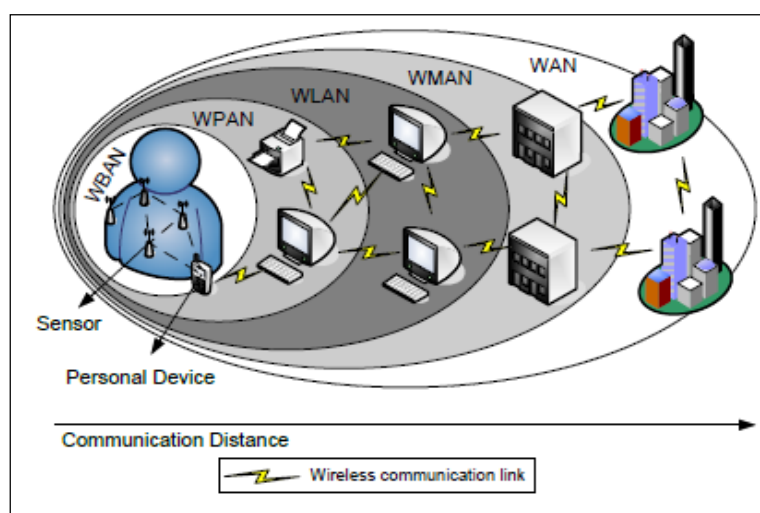
A comunicação entre os nós sensores ou atuadores e o DP caracteriza a comunicação intra-corporal (intra-body communication), já a comunicação compreendida entre o DP e a rede externa caracteriza a comunicação extra-corporal (extra-body communication). Esta arquitetura possibilita que os dados médicos de um paciente que se encontra na sua casa possam ser acessados por uma equipe médica on-

line ou armazenados em um banco de dados médico. Um exemplo desta topologia é mostrado na figura 5 (Latré et al. 2010).



**Figura 5: Comunicação Intra-bady e Extra-bady (Latré et al. 2010).**

Na figura 6, uma WBAN é comparada com outros tipos de redes sem fio, tais como pessoal sem fio (WPAN), Wireless Local (WLAN), Wireless Metropolitan (WMAN) e Wide Area Networks (WAN). Como a WBAN abrange o corpo humano, seu alcance de comunicação será restrito a poucos metros, com valores médios em torno de 1 a 2 metros aproximadamente.



**Figura 6: Classificação WBAN (Latré et al. 2010).**

Na figura 7, temos uma representação gráfica do nível de complexidade entre uma WBAN, uma WSN e uma WLAN.

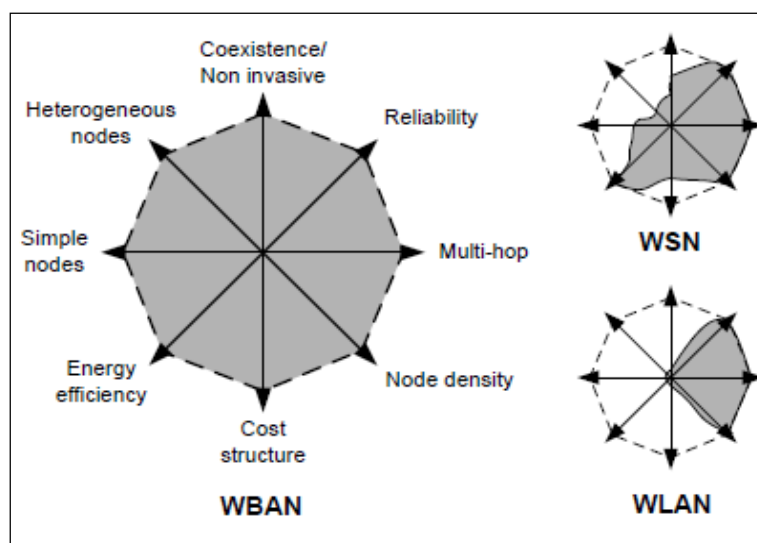


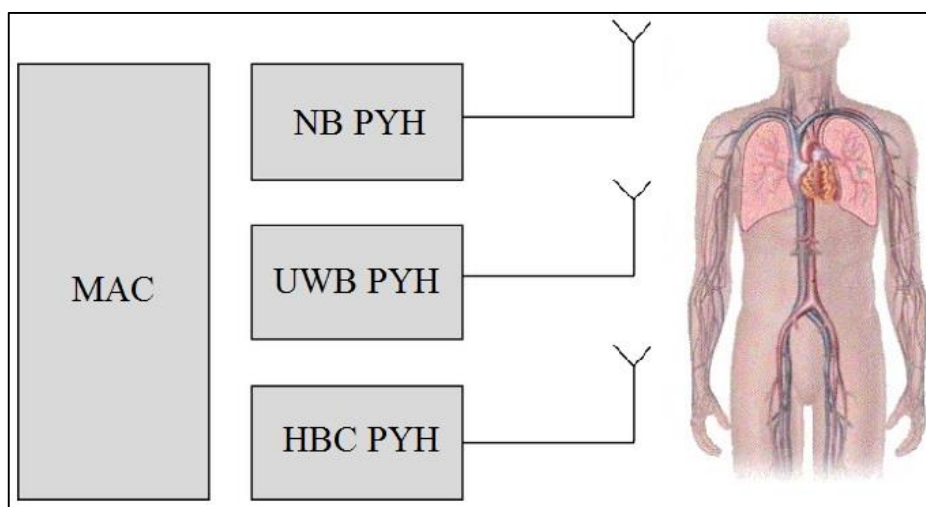
Figura 7: Comparação da Complexidade entre WBAN, WSN e WLAN (Latré et al. 2010).

Fazendo uma comparação entre uma WBAN e os outros tipos de redes, a abrangência de uma WBAN é bem menor que as outras, mesmo se comparada a uma WPAN, mas devido às características do corpo humano, a complexidade deixar um WBAN operacional e inversamente proporcional a sua área de abrangência, todas essas peculiaridades são totalmente diferentes das que enfrentados nas RSSF (Latré et. al. 2010).

## 2.5 – CAMADA FÍSICA

As WBANs estão substituindo os sistemas convencionais de saúde, permitindo a monitorização ambulatorial contínua da saúde dos pacientes que sofrem de doenças crônicas, como doenças do coração (Latré et al. 2010). A recente popularidade das WBANs tem atraído um número de pesquisadores e da indústria nos últimos anos.

O padrão IEEE 802.15.6 define uma camada MAC que suporta várias camadas físicas (PHY), tais como banda estreita (NB), Ultra-wideband (UWB), e Comunicações corpo humano (HBC), como ilustrado na figura 8.



**Figura 8: Camadas Física WBAN (Ullah, Mohaisen and Alnuem, 2013).**

Os requisitos de uma WBAN são bem diferentes se comparados a uma RSSF ou uma Rede Ad-hoc, devido à proximidade do corpo humano. Testes com equipamentos CISCO TelosB (usando o transceptor CC2420) mostraram falta de comunicação entre os nós situados no peito e nós localizados na parte anterior do paciente (Latre et al. 2010).

Isto foi acentuado quando a potência de transmissão foi definida para um mínimo por razões de economia de energia. Outro teste feito com um transceiver CC2420, mostrou que quando uma pessoa estava sentada em um sofá, a comunicação não era possível entre o tórax e o tornozelo.

Os testes foram repetidos com a antena foi colocado a 1 cm acima do corpo, os resultados tiveram melhoras expressivas. À medida que os dispositivos se tornam menores e mais ubíquos (estar conectado à rede a todo o momento), uma ligação direta para o dispositivo pessoal não será mais possível e topologias de rede mais complexa serão necessária e adiante algumas características da propagação de ondas de rádio em um WBAN e outros tipos de comunicação (Latre et al. 2010).

### 2.5.1 – COMUNICAÇÃO RF

A investigação da atenuação ou perda de sinal ao longo e no interior do corpo humano mostrou que tanto o uso de sinais de rádio de banda estreita ou Ultra Wide Band (UWB) são prejudicados com o desvanecimento provocado pelo corpo humano. As perdas são muito grandes, chegando a interromper as transmissões nas redes sem fio. Existe uma relação entre  $d$  e  $\eta$ , onde  $d$  é a distância entre o emissor e o receptor e  $\eta$  é

coeficiente de perda de caminho (ou coeficiente de propagação). No espaço livre  $\eta$  é igual a 2, e pode-se afirmar que o sinal atenua com o dobro da distância. No caso do corpo humano, têm-se outras variáveis a serem consideradas, o que torna o fator perda um entrave na confiabilidade e desempenho da rede WBAN. Outros tipos de perdas incluem perdas de sinais devido à propagação multi-percurso. A propagação pode ser classificada de acordo com o posicionamento do sensor: dentro do corpo ou ao longo do corpo.

### **2.5.1.1 – NO CORPO**

As comunicações via rádio são extremamente sensíveis à umidade do ar, dependendo do percentual de umidade, as ondas de rádio são absorvidas atenuando o sinal, e prejudicando a comunicação. O corpo humano é composto de 70% de água, por isso a propagação neste meio sofre profunda atenuação.

A medida padrão internacional (SAR) é utilizada para medir a taxa de absorção. Testes realizados apontam que a perda de percurso é muito elevada comparado com a perda de propagação no espaço livre, ficando entre 30 a 35 dB. A energia absorvida pelo corpo se transforma em energia térmica, provocando o aumento de temperatura. A dissipação ao longo do corpo pode variar dependendo do indivíduo, do seu sexo, a forma do corpo e tamanho. Todos esses fatores provocam variações na absorção e na variação da temperatura do indivíduo (Latré et al. 2010).

### **2.5.1.2 – AO LONGO DO CORPO**

A propagação ao longo do corpo humano pode ser dividida em linha de visada direta (LOS) e sem visada direta (NLOS). No primeiro caso, devemos nos ater ao fato de que o corpo humano sofre variações conforme idade, sexo, altura e peso, logo temos fatores que podem afetar a propagação das ondas eletromagnéticas. As frequências em torno de 2,4GHz até perto da banda de 3GHz sofrem perdas onde  $\eta$  varia entre 3 e 4 (perda ao longo do caminho).

A posição do dispositivo também é um fator atenuador. Em estudos realizados (Zasowski et al. 2003), (Reusens et al. 2007), (Fort et al. 2006), um nó sensor situado no braço terá menos perda que um nó sensor que está no tórax, isso devido à massa do tórax comparada com a do braço, e o braço é mais plano que o tórax, o estudo mostrou também

que as antenas dos nós sensores quanto mais próximas do corpo terão maior atenuação, distâncias de 5mm e 5 cm entre a antena e o corpo dão diferenças de atenuação de até 30 dB (Latre et al. 2010). Em situações sem visada direta (NLOS), onde não há uma visão direta entre o emissor e o receptor, as ondas eletromagnéticas sofrerão mais atenuação em comparação a situação de (LOS) a perda de percurso  $\eta$  varia entre 5 e 6. Logo, em situações de NLOS a perda ao longo do canal é bem maior devido à difração e a absorção de radiação em torno do corpo humano.

### **2.5.2 – MOVIMENTO DO CORPO**

Em se tratando de movimento do corpo, os membros são pontos críticos, quando um indivíduo está caminhando, o movimento dos membros superiores e inferiores podem causar perda de até 50% do sinal na comunicação entre nó sensor e nó central (Sink). Para exemplificarmos, em uma caminhada, os movimentos dos braços e pernas ora estão a frete do tronco, ora estão alinhados como o troco e ora estão atrás do tronco, dependendo do posicionamento do nó central, que normalmente fica posicionado na cintura do indivíduo, ora os sensores terão visada direta ora ficara sem visada, isso em se tratando de uma simples caminhada (Latre et al. 2010).

### **2.7 – CAMADA DE REDE**

A camada de rede é responsável por prover conectividade entre um host hospedeiro remetente a um host hospedeiro destinatário. Para fazê-lo, três importantes funções da camada de rede podem ser identificadas:

- **Determinação do Trajeto:** A camada de rede deve determinar a rota ou trajeto tomado pelos pacotes ao fluírem de um remetente a um destinatário. Os algoritmos que calculam esses trajetos são chamados de algoritmos de roteamento.
- **Comutação:** Quando um pacote chega à entrada de um roteador, este deve conduzi-lo até o enlace de saída apropriado.
- **Estabelecimento de Conexão:** Troca de informações ente o host hospedeiro e o host destinatário, a fim de definir as características da conexão para que os dados fluam do host origem até o host destino.

O desenvolvimento de protocolos de roteamento para redes WBAN é uma tarefa complexa, começando pela quantidade de nós que irão compor a rede, além disso a heterogeneidade desses dispositivos, como vimos no capítulo 1, esses nós podem ser usados para coletar uma dezena de sinais com os mais diferentes requisitos de largura de banda e prioridade de atendimento. Outro fator influencia diretamente no desempenho da rede é o local onde esses dispositivos atuarão, o corpo humano, o sinal de rádio, que é uma onda eletromagnética, sofre perda de dados, atenuações, etc.

Devido as características biológicas do corpo humano, e pelo fato dos sensores estarem posicionados sobre ou sob a pele. Não devemos esquecer que os dispositivos funcionam com transmissores de baixa potência de radiação, baixa frequência e consequentemente menor largura de banda.

Apesar de todas essas características, o estudo para desenvolvimento de novos protocolos de roteamento para WBAN, o roteamento entre os nós e a forma com que eles terão acesso ao meio de TX são características que vão influenciar diretamente no consumo de energia dos nós sensores, devemos ter ciência padrões IEEE 802.15.1 (Bluetooth) e o IEEE 802.15.4 (Zigbee) pelas próprias especificidades da rede, mesmo com uma série de pesquisas em andamento, com comprovação de eficiência energética em redes Ad Hoc e RSSF, as soluções ainda não são satisfatórias. Alguns pontos são levantados com relação à economia de energia e ao encaminhamento, dando ênfase ora para um assunto ora para outro.

Por exemplo, no caso de Redes Ad Hoc priorizou-se a operação de terminais pequenos com recursos limitados de energia, processador e memória. As RSSF já possuem outro aspecto que facilita o seu projeto, em regra os nós sensores nessa rede são homogêneos, logo a comunicação fica mais fácil, já que todos dispõem das mesmas características físicas (hardware). Em contrapartida uma WBAN tem dispositivos altamente heterogêneos, com requisitos também heterogêneos, que vão desde tamanho do hardware, requisitos de tempo real, processador e memória, essas características dependendo da aplicação vão impactar diretamente na operação/manutenção da vida útil da WBAN como também na vida do paciente (Latré et al. 2010).

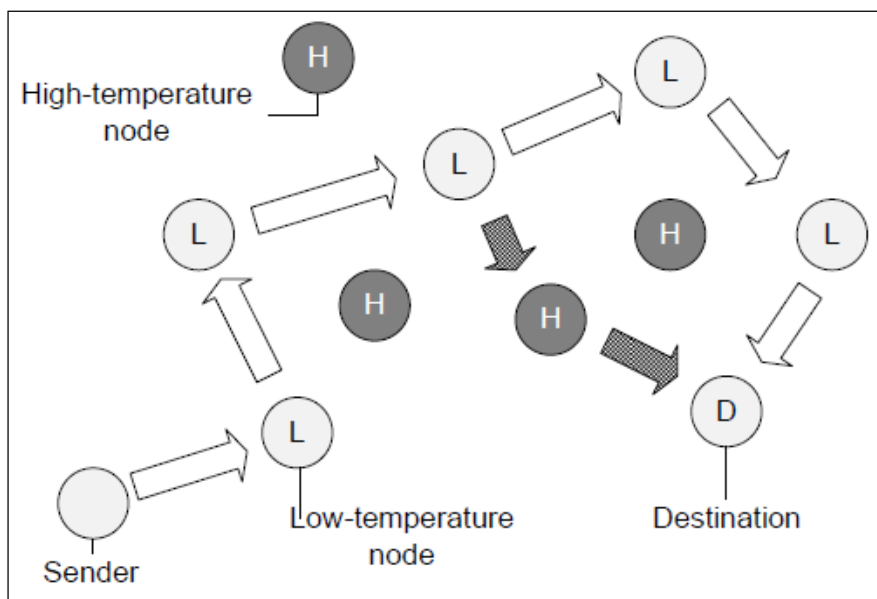
Assim podemos perceber que as redes WBAN carecem de protocolos específicos para o monitoramento de pacientes, a seguir dois exemplos de roteamento serão abordados: um baseado em temperatura e o outro baseado em cluster.

### **2.7.1 – ROTEAMENTO POR TEMPERATURA**

Quando falamos de transmissão sem fio em torno ou dentro do corpo, nos deparamos com algumas questões importantes. Já mencionamos que o nosso corpo é composto de 70% de água, e isso faz com que haja uma absorção de parte da radiação proveniente da emissão das ondas de rádios no momento da transmissão e ou recepção. O efeito mais visível é o aquecimento dos tecidos devido à potência de transmissão do rádio, assim alguns algoritmos de controle de tráfego podem ser utilizados.

Alguns mecanismos são adotados para minimizar esse fenômeno, como o controle de taxa, usado para evitar que tenhamos uma rede de um único salto, entre o nó sensor até o PD, ou pode-se usar o protocolo (TARA) (Tang et al. 2005) que detecta e desvia a transmissão das áreas quentes. Assim os fluxos de dados são retirados das zonas quentes e desviados por rotas alternativas. O protocolo TARA não leva em consideração a confiabilidade, pois apresentou uma alta taxa de perda de pacotes e retransmissões (gasto de energia), isso diminui a vida útil da rede.

Melhorias no TARA foram implementadas usando Roteamento pela menor temperatura (LTR) e Roteamento Adaptativo pela Menor Temperatura (ALTR), as técnicas adotadas reduzem saltos desnecessários e loops através da manutenção de uma lista no pacote com os nós visitados recentemente. No ALTR quando um número determinado de loops for atingido, a rota com os nós de menor temperatura é escolhida a fim de não aumentar a temperatura do corpo. Um exemplo de LTR e ALTR é dado na figura 9. As técnicas combinadas mostraram eficiência nos quesitos, eficiência energética e subida de temperatura, porém apresentou uma desvantagem, o PD terá que manter uma tabela com as temperaturas de todos os nós, para poder traçar a melhor rota de encaminhamento, essa sobrecarga não foi investigada.



**Figura 9: Roteamento por temperatura (Latré et al. 2010).**

Na figura 9 os círculos contendo a letra “H” e pintados de cinza escuro representam os nós com temperatura elevada, ou seja, nós que foram ou estão sendo usados, por isso o aumento de temperatura do dispositivo, já os nós identificados com a letra “L”, são os nós com baixa temperatura, o protocolo ALTR irá mapear justamente os nós com temperatura baixa, montando a rota até o destinatário, este roteamento feito para evitar que o corpo humano absorva o calor produzido pelos nós mais quentes.

### **2.7.2 – ROTEAMENTO BASEADO EM CLUSTER**

O roteamento baseado em cluster visa diminuir as transmissões diretas dos nós sensores ao PD. Ele baseia-se no protocolo LEACH (Cluster de Sensores), que seleciona um cluster e elege um nó sensor como o nó mestre (supervisor), ele é responsável por juntar os dados dos outros nós sensores que compõem o cluster, e depois encaminha para o PD. Observe que a cada intervalo, o nó mestre é alterado, assim o processo de transmissão sofre um rodízio poupando energia dos nós, e como o nó cabeça varia a cada rodada ele também economiza energia. Outro benefício é a dissipação de energia, sabemos que a transmissão é a atividade que mais consome energia no nó sensor, logo com a variação dos nós cabeças a dissipação será alcançada.

Apesar do emprego da técnica LEACH ter apresentado bons resultados no que tange a transmissão, nenhuma avaliação com relação à confiabilidade e eficiência foram levadas em consideração.

Logo temos apenas uma visão geral sobre o processo, isso mostra claramente que os protocolos de roteamento WBANs são uma área emergente de pesquisa, o protocolo acima descrito foi desenvolvido apenas nos últimos dois anos (Heinzelman, Chandrakasan and Balakrishnan, 2000), (Latré et al. 2010).

## **2.8 – CONCLUSÃO**

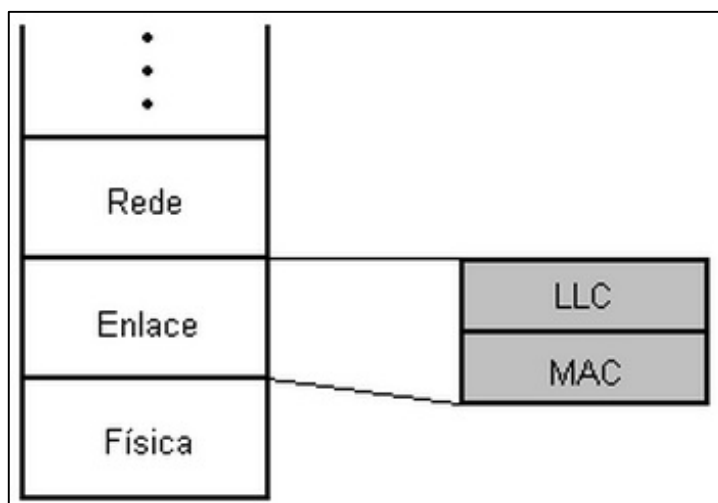
Com o avanço da microeletrônica e a miniaturização cada vez maior dos componentes, muitos estudos que há algumas décadas atrás eram considerados ficções, passaram a ser alvos reais dos pesquisadores.

As Redes de Sensores Sem Fio ou WBAN's surgem num momento onde o mundo está em transformação, as pessoas estão à procura de mecanismos capazes de auxiliá-las a alcançar a qualidade de vida, quer seja para manter ou para tentar recuperar.

As WBAN's num futuro próximo serão uma ferramenta crucial para auxiliar pessoas com problemas de saúde, daí a sua importância, e é fundamental que as pesquisas na área avancem para que esta tecnologia tenha mais garantias em relação a confiabilidade, a segurança e rapidez de coleta e de *feedback*.

### CAPÍTULO 3 – ESQUEMAS DE CONTROLE DE ACESSO – MAC

A Subcamada MAC é uma parte da Camada de Enlace de Dados (veja figura 10) responsável por estabelecer uma lógica quanto ao uso do meio de transmissão em topologias de difusão (broadcast).



**Figura 10: Subcamada MAC.**

Quando se tem uma rede do tipo difusão, isso significa que vários nós usam exatamente o mesmo meio para poderem enviar mensagens. Em uma topologia desse tipo, se mais de um nó tentar enviar dados ao mesmo tempo, ocorre o que se chama de colisão. Toda vez que uma colisão ocorre, todos os dados enviados são perdidos e precisarão ser retransmitidos, consumindo energia.

Vários critérios são propostos para minimizar o consumo de energia, como evitar colisão, diminuir o *overhearing* (escuta inútil), controle do *overhead* e *idle listening* (escuta ociosa, quando não há tráfego na rede). Nas arquiteturas de protocolos das RSSFs, uma das camadas de maior relevância é a MAC (*Medium Access Control*). Os métodos de controle de acesso ao meio influenciam no consumo de energia dos dispositivos de rede, na forma como as informações são encaminhadas e na maneira como as aplicações são concebidas.

Nas WBANs a questão da eficiência energética é mais importante, pois, os sensores podem ser implantados em um corpo humano e as baterias serão difíceis de recarregar e de trocar. A duração dessas baterias deve ser de meses, até anos.

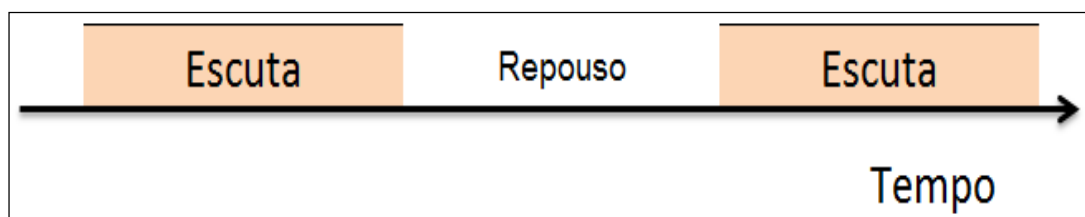
Os protocolos MAC para RSSFs podem ser classificados em duas categorias:

- Baseados em Contenção (CSMA/CA);
- Livres de Contenção – *Contention free* (TDMA, *Polling*).

Nesta seção são discutidos os principais protocolos MAC que poderão ser utilizados para a WBAN.

### 3.1 – PROTOCOLOS MAC BASEADOS EM CONTENÇÃO

O protocolo MAC representativo baseado em contenção para RSSFs é o protocolo S-MAC. O S-MAC, protocolo proposto em (Ye et al. 2002) baseado em CSMA/CA, utiliza sincronização para ordenação dos modos de operação do rádio. O S-MAC usa o método de comunicação baseado em RTS/CTS/DATA/ACK (*Request-To – Send/Clear-To-Send/Data/Acknowledgement*) para detectar a portadora física e resolver o problema de colisão. O esquema do S-MAC é baseado em um ciclo de operação dos sensores com tempos fixos de escuta (ativo - *listen*) e repouso (*sleep*). A figura 11 ilustra este ciclo de operação do protocolo.



**Figura 11:** Ciclos de operação do S-MAC com períodos ativos e de repouso fixos (Chen 2005).

Neste esquema, cada nó irá repousar por um tempo, e então acordará e ficará escutando para ver se tem algum outro nó querendo transmitir informação para ele. Durante o período de repouso o nó mantém desligado o seu rádio e utiliza um temporizador para acordar mais tarde. A duração do tempo para escuta ou para repouso é selecionada de acordo com a aplicação. O esquema de sincronização entre os nós é realizado enviando um pacote de sincronização denominado SYNC. Este inclui o endereço do emissor e o tempo do próximo repouso. Este protocolo obtém considerável redução do consumo de energia e prolonga o tempo de vida da rede. A desvantagem do S-MAC está na utilização do ciclo de atividade (*duty cycle*) fixo, não permitindo o controle dinâmico do tempo dos modos de operação de escuta e repouso.

Similar ao S-MAC, o protocolo T-MAC apresentado em (Dam et al. 2003) visa reduzir o tempo de *idle listening*, utilizando-se de ciclos de atividade e repouso dinâmicos para diminuir o consumo de energia do nó. O controle do tempo ativo é feito por um temporizador chamado  $T_A$  (*time-out*), que ao seu término coloca o rádio em repouso, figura 12. Portanto, ele não usa um *duty cycle* fixo. O nó escuta a rede, transmite e recebe dados durante o seu tempo ativo. A transmissão ou recepção de todos os pacotes é feita em rajadas de tamanho variável, figura 12.

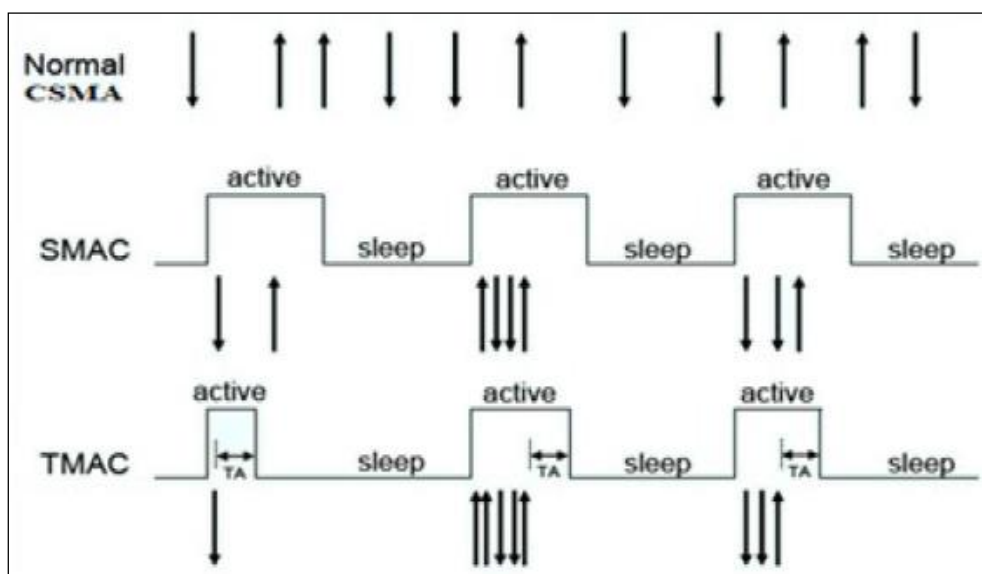


Figura 12: Ciclos Ativos e Repouso dos S-MAC e T-MAC (Dam et al. 2003).

Os nós se comunicam com o diálogo RTS/CTS/DATA/ACK para evitar colisões e obter transmissão confiável. Os nós transmitem suas informações de comunicação para os seus nós vizinhos através de pacotes SYNC. A recepção de pacotes RTS ou CTS é suficiente para renovar o tempo  $T_A$ . O intervalo de tempo  $T_A$  deve ser suficiente para receber pelo menos o início de um pacote CTS. O valor do  $T_A$  é estimado pelo tamanho do esquema de contenção do RTS/CTS/DATA/ACK, pelo tamanho de um pacote RTS e o tempo de *round-trip* (tempo entre o final de um pacote RTS e o início de um pacote CTS). A soma destes três parâmetros deve ser maior que  $T_A$ . O tempo ativo é usado somente quando um nó for transmitir ou receber pacotes. O T-MAC é mais eficiente em consumo de energia que o S-MAC, mas é limitado em largura de banda, não sendo adequado para grandes transferências de dados. O T-MAC é indicado para aplicações de tráfego leve, isto porque ao se aumentar a quantidade de nós da rede, o  $T_A$  ocasionará que vários sensores entrem em modo *sleep* precocemente, impactando no desempenho da rede.

Existem outros protocolos na literatura como B-MAC (Polastre et al. 2004, Correia et al. 2005) e WiseMAC (El-Hoiydi et al. 2007) que são baseados em CSMA/CA. Para aplicação em WBAN, todos esses protocolos apresentam alguma deficiência que os tornam inadequados para WBAN. O uso de troca de informações RTS/CTS/DATA/ACK que consome muita energia, torna indesejável para uma WBAN. Dessa forma, os protocolos mais convenientes para WBAN utilizam os esquemas sem contenção, baseados em TDMA.

### 3.2 – PROTOCOLOS MAC LIVRE DE CONTENÇÃO

Os protocolos sem contenção baseados em TDMA utilizam uma topologia em estrela e possuem um nó centralizado que controla todas as principais operações do protocolo. O nó mestre organiza a sincronização dos quadros (frames) e faz a alocação dos canais a partir das solicitações recebidas dos sensores. Isso permite que os sensores tenham poucas funções, basicamente de solicitação de acesso e de envio de dados, ocasionando economia de energia. Dessa forma, muitos protocolos propostos na literatura para WBAN são baseados em TDMA e alguns serão detalhados a seguir.

#### 3.2.1 Protocolo BodyMAC

O quadro do protocolo BodyMAC está dividido em três partes: Beacon, Downlink e Uplink, como mostrado na figura 13. Beacon é usado para sincronização e contém informações de alocação de canais e de gerenciamento da rede (Fang et al. 2009).

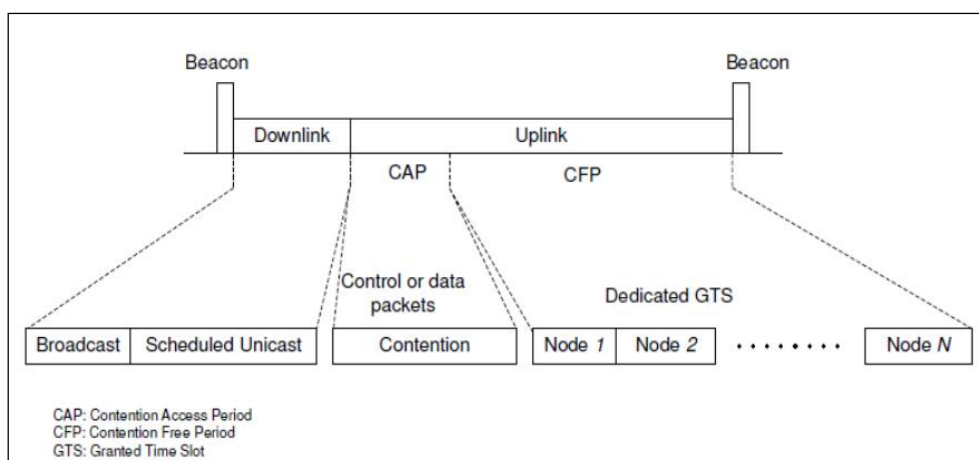


Figura 13: Estrutura do Quadro BodyMAC (Fang et al. 2009).

A parte Downlink está reservada para a transmissão do nó central para os nós sensores. As transmissões podem ser unicast com destino específico um nó, ou broadcast para todos os nós sensores. A parte Uplink tem duas sub-partes: Contenção de Acesso (CAP) e livre de contenção (CPF). A parte CAP é baseada em CSMA/CA, ela é usada para transmissão de pacotes de controle. Pequenos pacotes de dados MAC também podem ser transmitidos no CAP. O nó central controla a alocação de slots da parte CPF. O slot GTS (*Granted Time Slot*) que está na parte CPF é dedicado a um nó. As durações da parte Downlink, CAP e CPF são adaptativamente configuradas pelo nó central baseadas nas características atuais de tráfego.

A atribuição de slots dedicados CPF é completamente livre de colisão. Isso melhora a possibilidade de transmissão do pacote bem-sucedida, portanto, economiza energia. Largura de banda alocada no CPF pode ser alterada em cada quadro MAC para atender aos requisitos dinâmicos dos nós. A alocação de largura de banda é decidida no início do quadro MAC, ou mesmo alguns quadros MAC à frente, nós que não têm largura de banda alocada em cada quadro podem entrar em modo de hibernação, mesmo sem ouvir o Beacon.

Mesmo durante o período de repouso, um nó pode transmitir pacotes de dados para o nó central, se tiver sido atribuído recursos GTS. GTS também pode ser utilizado como um procedimento de sincronização. O nó central envia de volta um ACK após o receber um pacote de dados GTS. Este contém informações de tempo, tais como número do quadro e número de slot. O nó, em seguida, ajusta o tempo de acordo com as informações de tempo no ACK, veja figura 14. (Fang et al. 2009).

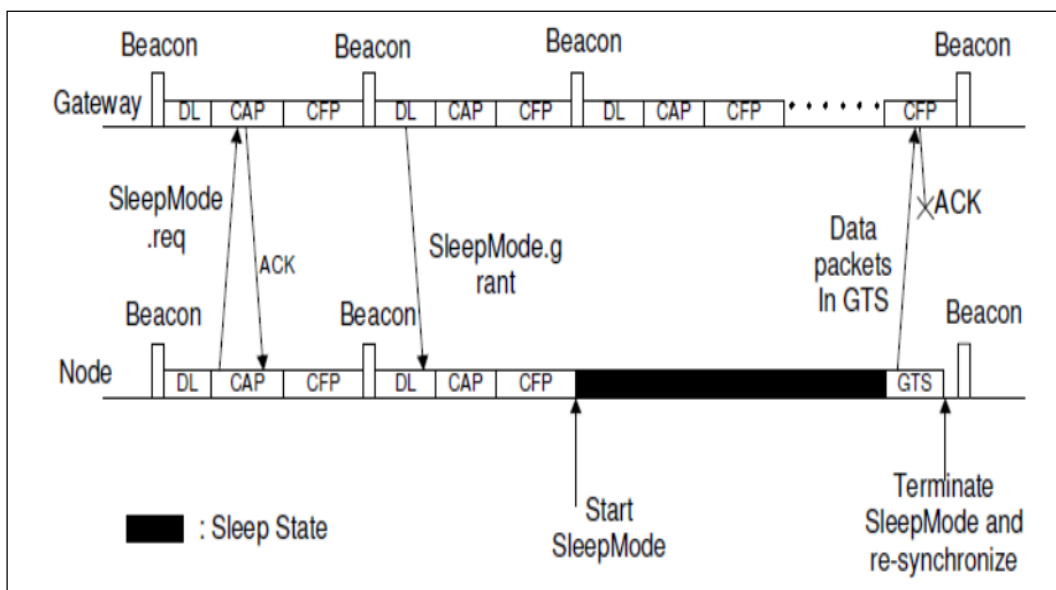


Figura 14: Modo de repouso terminado com erro na TX de dados (Fang et al. 2009).

Um dos critérios de projeto MAC WBAN é suportar notificação de eventos críticos. Eventos críticos podem ocorrer a qualquer momento, assim o Sleep Mode também deve dar suporte. Neste caso um pacote com relatório de evento pode ser enviado usando o CAP ou GTS. Como mostrado na figura 15, um relatório de evento será enviado para o gateway no período CAP mais próximo utilizando CSMA/CA. Depois do recebimento de um ACK, indicando a recepção bem-sucedida de um relatório de evento pelo gateway, o nó vai entrar no modo de repouso.

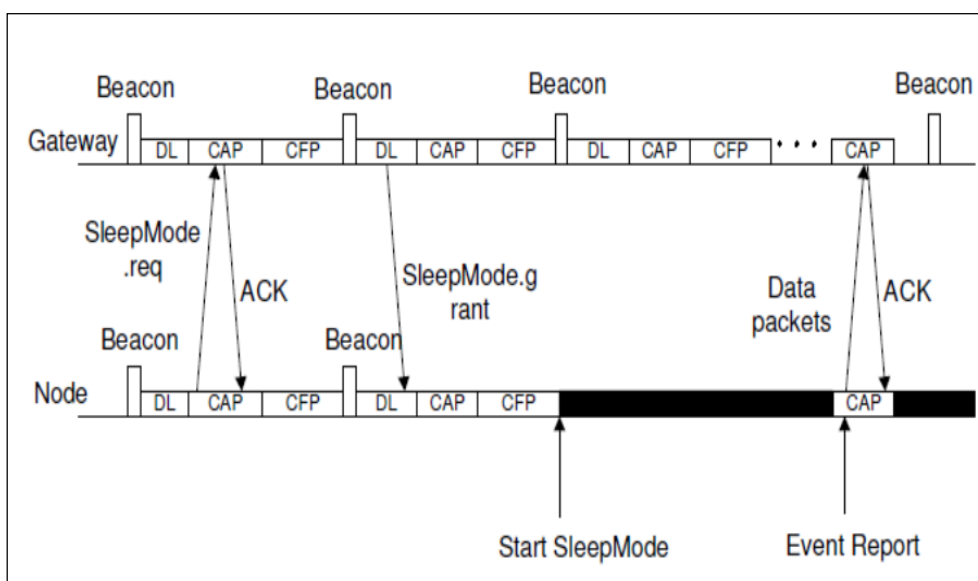


Figura 15: Modo de repouso terminado com Relatório de Eventos (Fang et al. 2009).

### 3.2.1 – PROTOCOLO TDMA SENSÍVEL AO CONTEXTO

O protocolo é capaz de detectar duas situações, um contexto de normalidade ou de perigo de vida. Essas informações estão bem definidas no nó central, logo os parâmetros da rede, incluindo a taxa de dados e atribuição de slots são determinados pela condição específica do problema de saúde do paciente.

A estrutura do quadro é mostrada na figura 16. Ao estabelecer um link de comunicação, os nós sensores sincronizam-se para obter informações através do beacon, e ficam sabendo quais estados devem assumir (Normal ou Perigo de Vida), e quantos times slots de dados são atribuídos a cada um dos nós sensores para transmissão de dados.

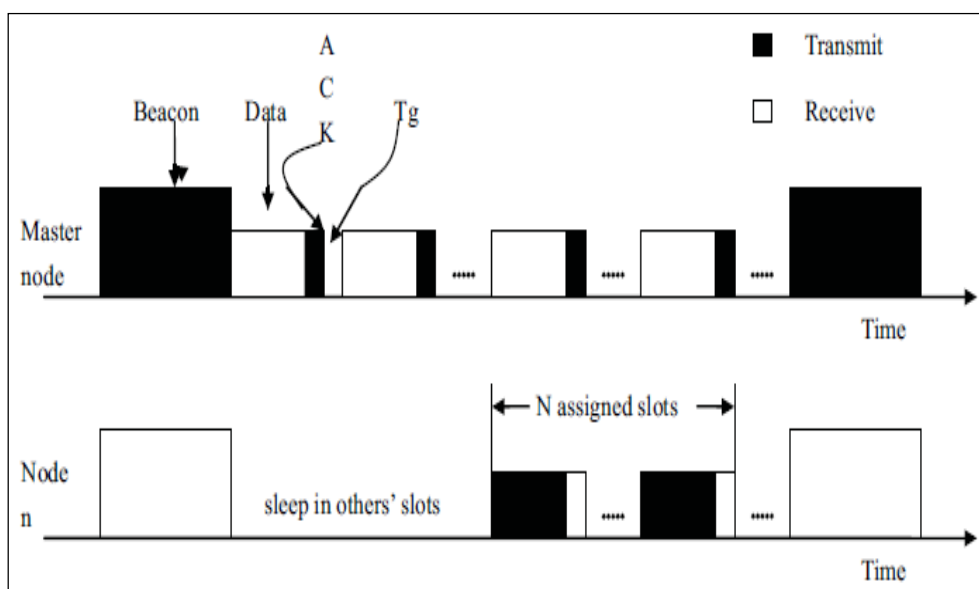


Figura 16: Estrutura do quadro TDMA MAC (Yan and Liu 2011).

Os nós sensores podem obter um ou mais time slots de acordo com o estado do paciente. Para sinalizar que uma transmissão ocorreu com sucesso, um nó sensor deve esperar a recepção de um pacote ACK do nó central. Existe também um intervalo de tempo de guarda ( $T_g$ ) entre dois times slots, a fim de evitar a sobreposição. Quando a transmissão de dados no último slot estiver concluída, o próximo quadro começa com outro Beacon. Se o nó mestre não detectou nenhuma anomalia nos dados do quadro anterior, os parâmetros permanecem os mesmos, caso contrário a estrutura do quadro seguinte será alterada para atender as necessidades do novo estado Normal ou Perigo de Vida. (Yan and Liu. 2011).

### 3.2.2 – PROTOCOLO CA-MAC

A ideia desse protocolo é ter controle dinâmico sobre o canal, quando for detectado o desvanecimento do sinal de rádio. A estrutura do quadro MAC é alterada dinamicamente e em combinação com a técnica *polling* consegue gerenciar as exigências de tráfego de emergência. O protocolo CA-MAC para WBAN é sensível ao contexto em termos da natureza do tráfego e do status do canal. Usa a topologia estrela devido à abrangência reduzida da rede. Outra característica é que o seu quadro está dividido em duas partes, uma parte baseada em contenção, que tem como característica lidar com a perda de pacotes causada por desvanecimento profundo, e a outra parte para assegurar a transmissão de dados confiável.

O link é ajustado dinamicamente utilizando informações do canal para aumentar significativamente a probabilidade de sucesso de retransmissão e reduzir a taxa de perda de pacotes. O nó central altera a prioridade de transmissão dos sensores de forma adaptativa. Com base nas solicitações de tráfego dos nós sensores, os slots são atribuídos de uma forma mais eficiente. Portanto, nós sensores com alta prioridade podem acessar o canal mais rápido e transmitir mais dados enquanto transmissões desnecessárias podem ser restringidas. O nó central envia um beacon para todos nós sensores para a sincronização inicial e estabelecimento de link de comunicação no primeiro quadro. Então, os beacons são transmitidos para definir a estrutura em cada quadro. Por exemplo, o comprimento da parte de contenção e atribuição dos slots será dada nesta fase veja figura 17 (Liu, Yan, and Chen 2011).

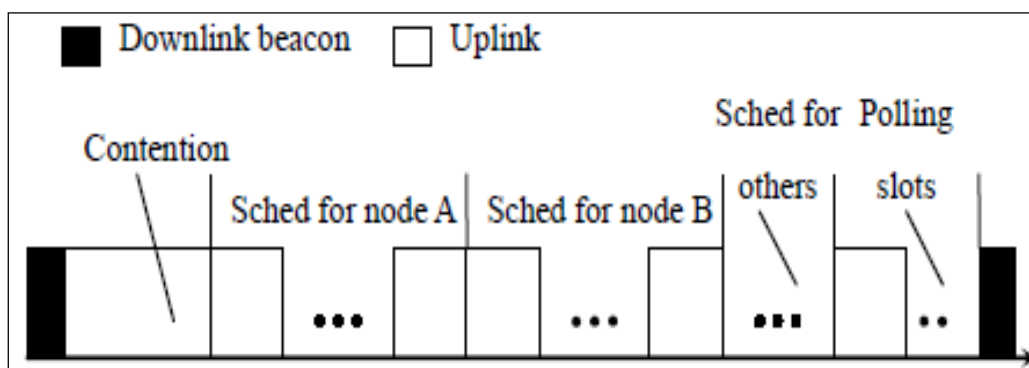


Figura 17: Estrutura do Frame CA-MAC (Liu, Yan, and Chen 2011).

### 3.2.3 – PROTOCOLO MAC BASEADO EM QoS.

O protocolo MAC QoS suporta dois modos de comunicação o beacon e não-beacon, além de classificar o tráfego em crítico e não crítico. No modo Beacon a rede é controlada pelo nó central, que transmite periodicamente quadros de sinalização para os nós sensores para controle de acesso à rede. Além da sincronização, o beacon indica o início e o fim do superquadro (superframe), além de uma parte ativa e outra opcionalmente inativa veja figura 18.

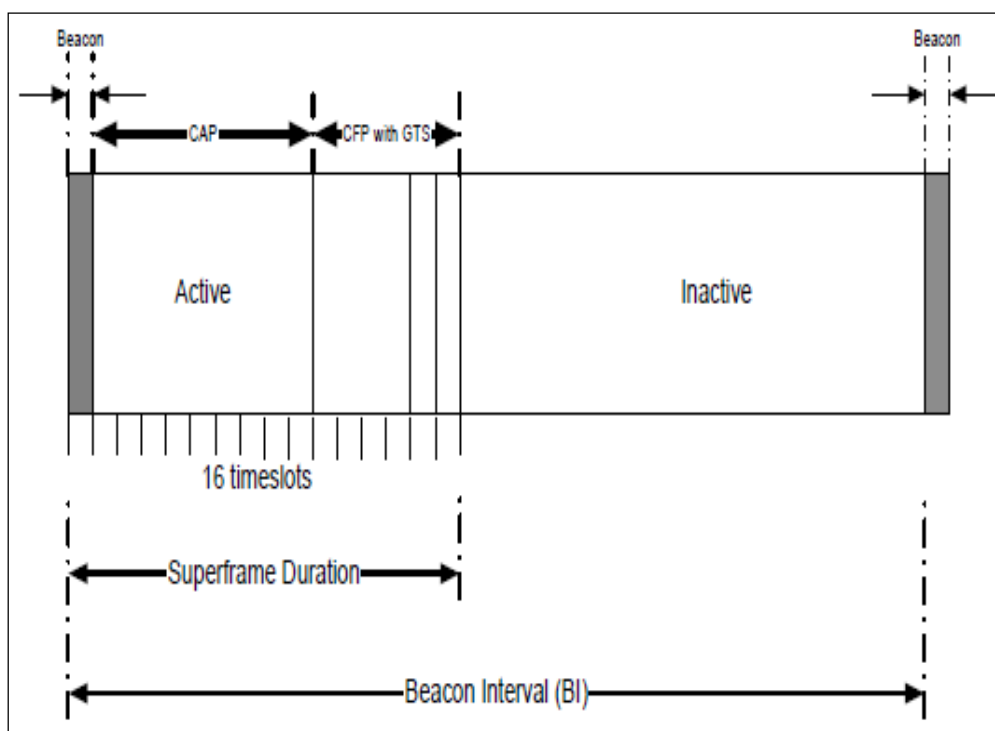
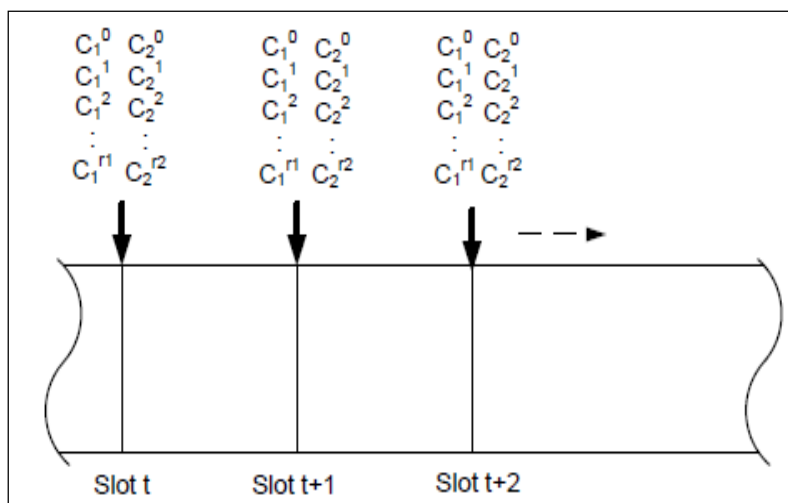


Figura 18: IEEE 802.15.4 Estrutura do Superframe (Ali et. al, 2010).

A parte ativa é composta por 16 intervalos de tempos idênticos (*timeslots*), que estão divididos em três partes, o beacon, CAP período de acesso com contenção, o CFP período de contenção livre e o GTS usado para operações de baixa latência.

O modo de operação não-beacon possui vantagens sobre o modo beacon, pois os nós não necessitam estar ligados para receber o quadro beacon. O funcionamento da rede se dá quando os nós sensores disputam o meio de acesso no período de contenção CAP, apenas para reservar o tempo livre de colisão para transmitir os dados no período GTS, veja figura 19.



**Figura 19: Ilustração do protocolo MAC baseado em QoS (Ali et. al, 2010).**

A desvantagem do protocolo MAC QoS é que nós classificados com informações não críticas também tem que reservar um horário livre de colisões para transmissão de seus dados. Os nós sensores sempre disputam acesso ao meio no início do quadro. Para que se tenha QoS, os nós sensores classificados como críticos, ou seja que possuem informações urgentes terão prioridade e poderão disputar o meio por mais tempo que os nós com informações não críticas.

### 3.2.4 – OUTROS PROTOCOLOS MACs PARA WBAN

Muitos outros esquemas de protocolos MAC especificamente para WBAN foram propostos na literatura. Algumas propostas baseiam-se nas variações do padrão 802.15.4 (Zhu et al. 2011), (Borges, Velez and Lebrés, 2011) e (Ali, Sarker and Mouftah, 2010), e outras utilizam a técnica de acesso TDMA (Tselishchev, 2011), (Huaming e Jindong, 2010), (Marinkovic, Spagnol e Popovici, 2009), (Fang e Dutkiewicz, 2009) e (Oliveira e Motoyama, 2009). Na proposta apresentada em (Huaming e Jindong, 2010), o batimento do coração é utilizado para fins de sincronização do relógio. Em (Marinkovic, Spagnol e Popovici, 2009) um esquema MAC usando topologia hierárquica baseada na técnica TDMA foi proposto para WBAN. No esquema apresentado em (Oliveira e Motoyama, 2009), baseado em TDMA, o quadro é dividido em uma parte de dados e a outra em parte de acesso. A parte de acesso é dividida em canais, e utiliza o esquema de acesso *slotted* Aloha.

Mais recentemente, o IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*) criou um grupo de trabalho, o 802.15.6, para normatização dos esquemas de acesso para WBAN.

O padrão 802.15.6 possui três modos de operação:

- Modo beacon (balizas) – com os períodos de superquadros (superframes) limitados por beacons;
- Modo não-beacon – com os superquadros limitados;
- Modo não-beacon e sem limites nos superquadros.

A diferença entre o modo beacon e o modo não beacon é que no primeiro caso os superquadros são separados por beacons (balizas) que contêm além dos bits de sincronismo, outros bits de informação (por ex., bits de agendamento de canais), e no segundo caso, os superquadros são separados somente por bits de sincronismo. Os dois modos, portanto, utilizam o conceito de quadros (no caso superquadros) que são sincronizados periodicamente, isto é, a ideia básica da técnica TDMA.

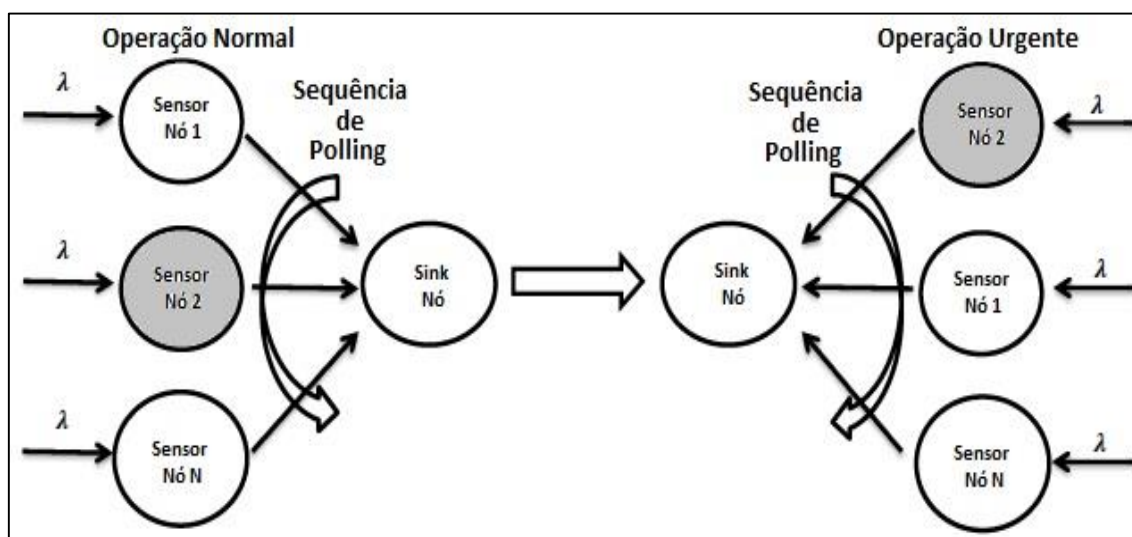
O modo beacon está em processo de padronização mais adiantado e tem aplicações não somente em área médica, mas também na área de entretenimento (por ex., em jogos em que os sensores são colocados no corpo humano para captarem os movimentos do corpo).

O modo não beacon e sem limites nos superquadros é baseado na técnica *polling*. A técnica *polling* é um método de controle de acesso a um canal de comunicação compartilhado por várias estações. Trata-se de uma técnica que evita colisões porque cada estação terá seu momento (slot de tempo) certo para fazer suas transmissões. No *polling*, o controle é centralizado, ou seja, existe um nó central (sink) que fará as requisições por dados dos nós sensores (estações), em uma ordem previamente definida. Cada nó sensor (estação) terá sua fatia de tempo para receber a requisição e fazer a transmissão para o nó central (sink). Esta alocação de tempo é que livra esta solução de colisões e economiza energia, aumentando a vida útil da rede.

Em (Motoyama, 2012) e (Pazeto, Refatti and Motoyama, 2012) foram propostos esquemas MAC usando o modo não beacon e sem período de superquadros. Ambas as propostas são baseadas em esquema de acesso *polling* que evita a necessidade de

sincronização periódica. Em (Pazeto, Refatti and Motoyama, 2012) o sistema de *polling* é analisado utilizando modelo de nó sensor mais realista para WBAN através da simulação computacional. Em (Motoyama, 2012) foi proposto um esquema flexível de *polling* que troca o modo de operação normal para o modo de operação urgente em caso de necessidades de emergência. No modo normal de operação, o nó central define uma sequência de atendimento dos nós sensores, e essa sequência é repetida ciclicamente. Com base na sequência de atendimento ele começa a interrogar os nós sensores, e verificar se há dados a serem transmitidos. Se houver o nó sensor recebe permissão para iniciar a transmissão, enquanto os outros esperam a sua vez. Assim, enquanto um nó sensor transmite pacotes, os outros realizam suas atividades de monitoramento, aguardando a sua vez para transmitir, e pode armazenar os pacotes gerados no *buffer*.

No modo urgente, quando o nó central detecta uma situação anormal em um nó sensor que está enviando pacotes acima do seu envio habitual, é necessária uma inspeção urgente, e muda o seu modo de operação para urgente, e altera a sequência de atendimento dando total prioridade ao nó. Se mais do que um sensor necessita de inspeção urgente, o nó central reorganiza a sequência de prioridade, tal como mostrado na figura 20, lado direito, e permanece em funcionamento urgente.



**Figura 20: Operação com Polling Flexível**

Na análise de desempenho apresentada em (Motoyama 2012) considerou-se que os nós sensores enviam os pacotes para o nó central obedecendo a uma distribuição exponencial negativa.

A análise foi feita de maneira separada considerando cada modo de operação. No caso do modo de operação normal, cada nó sensor é investigado um por vez e foi considerado um *buffer* que pode acomodar somente um pacote e os resultados mostraram que o esquema de *polling* pode atender as restrições de atraso para utilização em WBAN. No caso do modo de operação urgente foi considerado que existe uma ordem de prioridade para todos os sensores, de um sensor com mais alta prioridade até o sensor com mais baixa prioridade. Os resultados da análise mostraram que os sensores com maiores prioridades tiveram tempos de espera dos pacotes no *buffer* bem pequenos, entretanto, os de menores prioridades foram prejudicados, tendo tempos de espera dos pacotes bem maiores.

O tipo de escalonamento flexível apresentado em (Motoyama 2012) foi uma primeira proposta e vários outros tipos de escalonamento podem ser propostos.

O objetivo deste trabalho de dissertação é estudar novos tipos de escalonamento em que os sensores de menores prioridades não sejam muito prejudicados. Uma das propostas de escalonamento que será estudada é atribuir pesos para cada sensor. Os sensores de maiores prioridades terão pesos maiores e eles serão investigados mais vezes conforme a ponderação do peso. Este escalonador será denominado de escalonador ponderado.

Uma outra proposta de estudo é verificar qual é o tamanho ideal do *buffer* considerando o caso de *polling* flexível no modo de operação normal. Neste caso o *buffer* é uma porção de memória que se localiza dentro do nó sensor e o seu objetivo é evitar que pacotes coletados sejam descartados precocemente pelo nó sensor. O estudo será feito através de simulações, considerando vários tamanhos de *buffers*.

### 3.3 – CONCLUSÃO

Foi observado no decorrer da revisão bibliográfica que os mecanismos de controles de acesso são um ponto crucial no desenvolvimento de método de comunicação eficiente.

No caso das WBAN, observou-se que o método de acesso a ser utilizado pode impactar diretamente no funcionamento da rede, no atendimento dos nós da rede e no consumo de energia da bateria.

Alguns estudos já propõem o uso do próprio corpo humano como fonte de bioenergia para recarregar os sensores, como a diferença de temperatura entre o corpo e o ambiente e o movimento do corpo, que gera energia estática que pode ser usada para recarregar as baterias dos nós sensores.

Assim propor novos esquemas MACs para as WBANs, que sejam eficientes em consumos de energia e ao mesmo tempo tenham características para aplicações médicas, como tratamento em tempo real, capazes de proporcionar segurança e confiabilidade nos dados obtidos, torna-se de importância fundamental.

## CAPÍTULO 4 – POLLING FLEXÍVEL – ESTUDO COM *BUFFER* LIMITADO

Neste capítulo é estudado o esquema MAC proposto em (Motoyama, 2012), levando em conta diferentes tamanhos de *buffer*. Sabe-se que para armazenar dados (pacotes) e mantê-los em memória (*buffer*) é necessário que haja gasto energético. O tamanho do *buffer*, por sua vez, é um fator que impacta diretamente no desempenho do sistema, pois quanto maior o tamanho, maior será o gasto energético. Assim, o estudo para determinar o tamanho ideal do *buffer* dos nós sensores se faz necessário a fim de saber qual o melhor tamanho e conseqüentemente economizar energia. A técnica de polling flexível utiliza o método de sondagem com capacidade de prover QoS para WBAN. O método de acesso proposto faz a consulta de acordo com o nível de exigência de cada um dos sensores, e essa exigência pode variar a cada ciclo do polling.

No polling flexível os nós sensores podem ser classificados em dois níveis, normal e urgente. No primeiro momento todos os nós sensores são classificados em operação normal, e à medida que o tempo passa e a exigência de um determinado nó sensor aumenta ela passa ao modo de operação urgente, neste momento o nó sink passa a dar maior prioridade para aquele nó sensor ou um grupo de nós sensores. A mudança do modo de operação é feita no nó sink, quando percebe que um nó está enviando muito mais pacote que no ciclo normal, começa a sondar aquele nó sensor com mais frequência, assim, mudando o modo de operação para operação urgente, como pode ser visto na figura 20 na página 47.

A análise teórica feita em (Motoyama, 2012) considerou dois casos. No primeiro caso, a análise do caso normal considerou *buffer* único e infinito em cada um dos nós sensores e a disciplina de atendimento foi exaustiva. No segundo caso, considerou-se um *buffer* infinito e uma ordem de prioridade para todos os nós sensores, e a disciplina de atendimento foi feita de nós mais prioritários para os menos prioritários.

Neste capítulo, somente o modo normal, com diferentes tamanhos de *buffers* será analisado por simulação.

### 4.1 – PARÂMETROS DA SIMULAÇÃO

O polling exaustivo aplicado em um *buffer* ilimitado funciona da seguinte forma: o nó sink interroga os nós sensores seguindo uma sequência pré-definida (polling); caso

o nó sensor tenha pacotes na fila de espera todos eles são transmitidos. Quando esses pacotes estão sendo transmitidos e chegam novos pacotes durante o período de transmissão, eles também serão transmitidos, esvaziando por completo o *buffer*. Caso não tenha mais pacotes na fila, o nó sink muda de sensor e repete o processo de investigação obedecendo a sequência de polling até completar o ciclo; este processo é repetido indefinidamente.

Quando o *buffer* é limitado, a fila de espera em cada nó sensor passa a ter um tamanho finito para acomodar os pacotes que chegam e caso este espaço fique cheio, os pacotes excedentes que chegarem ao nó sensor mesmo durante o tempo de serviço serão descartados. Na figura 21, pode-se observar o comportamento das filas em uma situação hipotética, onde temos o nó A, B e N representando o n-ésimo nó.

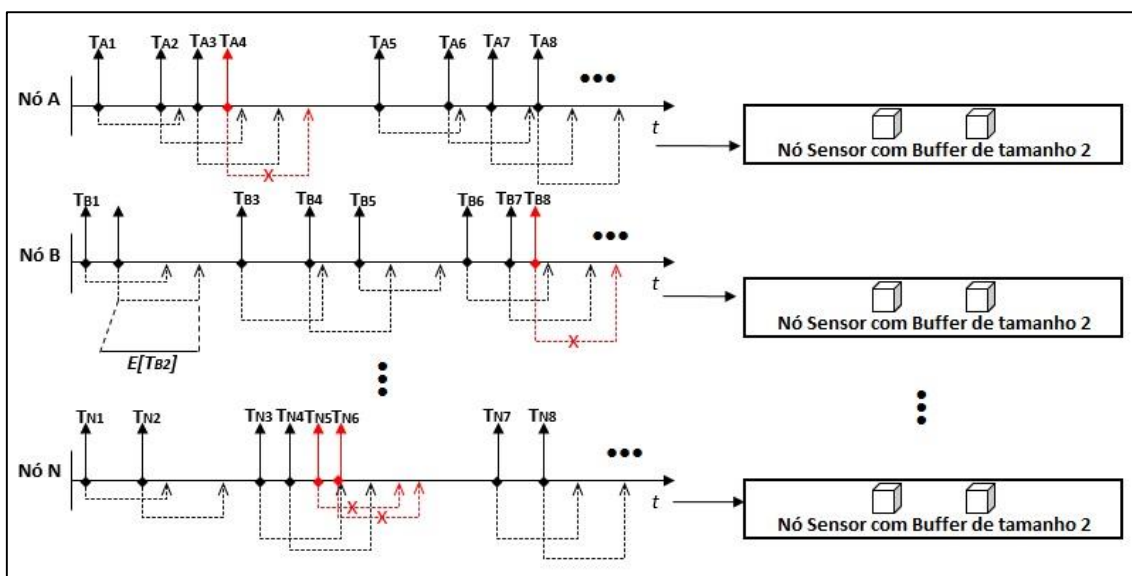


Figura 21: Comportamento da Fila em cada nó sensor, *buffer* limitado.

As chegadas ao sistema são aleatórias e o escalonamento obedece uma disciplina de atendimento FIFO, o modelo de fila é M/M/1 onde temos múltipla chegadas markovianas com apenas um servidor. Cada instante  $T_{xx}$  representa a chegada de um pacote no sistema. As setas pontilhadas abaixo das linhas horizontais representam o tempo gasto no sistema  $E[T_{xx}]$  por cada pacote. Esse tempo é o resultado da soma dos tempos  $E[W]$  e  $E[TS]$ , que são respectivamente o tempo gasto no *buffer*, quando for o caso, e o comprimento do pacote em tempo que é obtida pela expressão (2).

Para a simulação do esquema de acesso baseado em polling exaustivo, foram utilizados os seguintes parâmetros: o número de nós sensores,  $M$ , a capacidade do canal,  $R$ , e o comprimento médio de pacote,  $E[X]$ .  $E[TS]$  é calculado como  $E[X]/R$ . A intensidade de tráfego ou carga,  $S$ , é definida em (1),

$$S = \frac{M\lambda E[X]}{R} \quad (1)$$

onde  $\lambda$  representa a taxa média de pacotes que chegam ao sistema.

O processo de simulação se resume em três partes:

- a) A primeira etapa da simulação foi gerar a matriz de instantes de tempos de chegadas aleatórias, simulando o tempo de chegada de pacotes em cada nó sensor, obedecendo a uma distribuição exponencial negativa com uma média  $1/\lambda$ . A expressão (2) foi utilizada para geração desses instantes de tempos aleatórios,

$$T_{chegada} = -\frac{\ln x}{\lambda} \quad (2)$$

onde  $\ln$  é o logaritmo neperiano e  $x$  é um número aleatório entre 0 e 1 obtido pela função  $\text{rand}(x)$  do MatLab.

- b) A segunda etapa foi percorrer a matriz, para calcular os dados estatísticos. Como o serviço é exaustivo, quando um nó está sendo interrogado, todos os pacotes que estão no *buffer* são servidos incluindo aqueles que chegam durante o tempo de atendimento de um pacote (tempo de execução). Os dados são armazenados nas variáveis correspondentes que posteriormente serão usadas para realizar os cálculos das médias de tempo de espera, perda de pacotes,  $\lambda$  efetivo, média do tempo de ciclo de polling e quantidades de pacotes atendidos por ciclo.
- c) A terceira etapa foi plotar os gráficos dos parâmetros que foram calculados e realizar as análises de desempenho entre os cenários simulados.

## 4.2 – ANÁLISE DE RESULTADOS

Para analisar o comportamento de uma WBAN apresentada na figura 2, são feitas análises e comparações de dados coletados de 5 (cinco) cenários diferentes. A principal diferença entre os cenários é o tamanho do *buffer* usado na simulação. Os pacotes de dados e o link de saída têm valores constantes para facilitar a análise dos dados. O objetivo é analisar a perda de pacotes e tempo de espera na fila dos nós sensores usando a técnica de polling exaustivo.

Para melhor compreensão dos cenários da simulação a Tabela 2 expõe de maneira sucinta os parâmetros utilizados nas simulações.

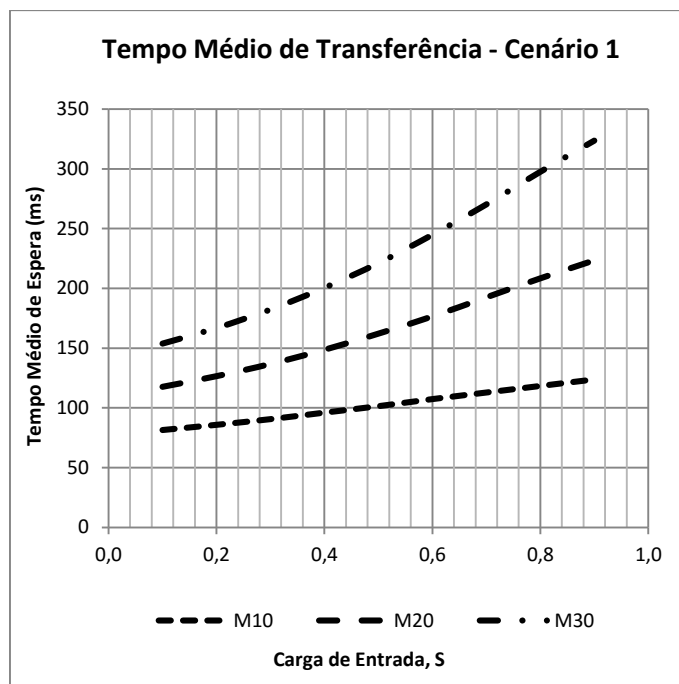
**Tabela 2 - Parâmetros dos Cenários.**

Cenários	Tam. do <i>Buffer</i>	Qtd. de Sensores “M”	Int. de Tráfego “S”	Tamanho Pacote E[X] bits	Link “R” Kb/s	Tempo Serviço (ms)	Temp. de Sinc (ms)	Tempo de Mudança de Sensor (ms)
<b>Cenário 1</b>	1	10, 20 e 30	0,1~0,9	900	20	45	2	4,5
<b>Cenário 2</b>	3	10, 20 e 30	0,1~0,9	900	20	45	2	4,5
<b>Cenário 3</b>	5	10, 20 e 30	0,1~0,9	900	20	45	2	4,5
<b>Cenário 4</b>	10	10, 20 e 30	0,1~0,9	900	20	45	2	4,5
<b>Cenário 5</b>	13	10, 20 e 30	0,1~0,9	900	20	45	2	4,5

Cada fonte foi simulada com 50.000 pacotes, e os tamanhos dos *buffers* usados são de um, três, cinco, dez e treze posições. A escolha destes valores é justificada pelo fato de os nós terem pouca capacidade de memória, e a última situação corresponde a uma configuração de *buffer* que se comporta como uma situação de *buffer* infinito, pois já não apresenta perda de pacotes como será visto posteriormente. Os mesmos parâmetros de sistema são utilizados para coletar dados de um grupo de sensores que variam entre 10, 20 e 30 sensores.

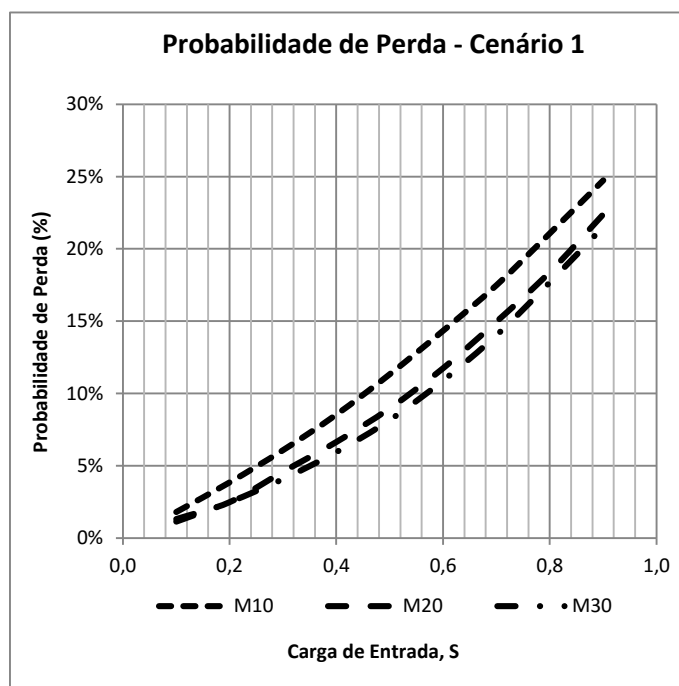
Na figura 22 temos o tempo médio de transferência (definido como tempo médio de espera no *buffer* mais o tempo médio de transmissão) dos pacotes para número de sensores iguais a M=10, M=20 e M=30 sensores. Para os três grupos de sensores, o *buffer* neste caso tem tamanho 1. Os tempos de espera mínimo para o grupo de 10 sensores é de cerca de 81ms e o máximo é de cerca de 123ms; para o grupo de 20 sensores os tempos são 127ms e 223ms respectivamente e para o grupo de 30 sensores são 153ms e 323ms.

Estes resultados estão bem próximos daqueles apresentados teoricamente em (Motoyama, 2012).



**Figura 22: Tempo Médio de Transferência.**

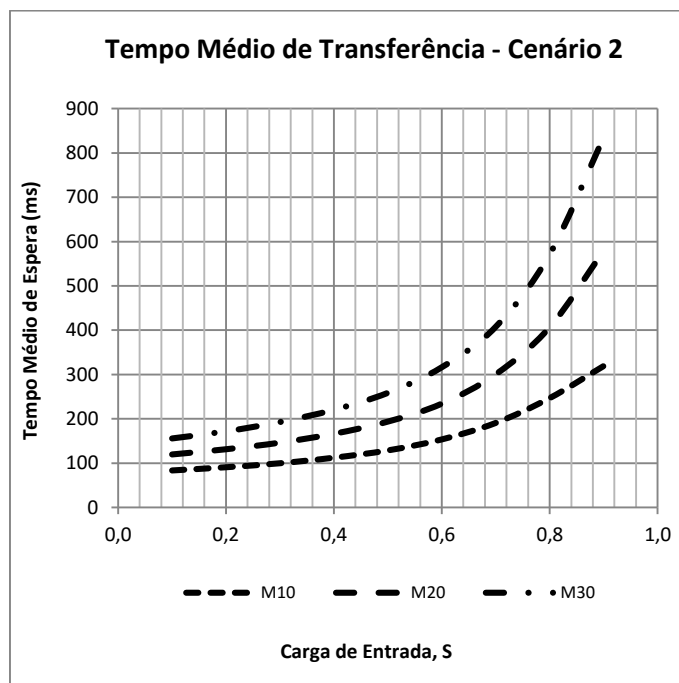
Na figura 23 são mostradas as curvas de perdas de pacotes, para os três grupos de sensores. Os valores mínimos são 1,80%, 1,31% e 1,13% e os valores máximos são 24,74%, 22,38% e 21,52% respectivamente para os grupos de 10, 20 e 30 sensores.



**Figura 23: Perda de Pacotes.**

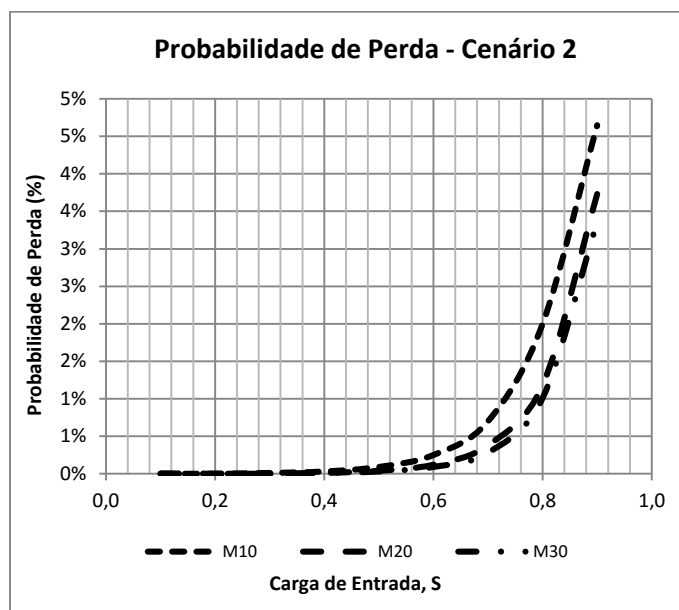
Neste primeiro cenário, como os *buffers* dos nós sensores têm apenas uma posição, os tempos de transferência têm variações pequenas para os três grupos, entretanto, as curvas de perda de pacotes já apresentam um crescimento mais acentuado, pois o aumento de carga ocasiona uma maior perda de pacotes.

No segundo cenário, com o tamanho do *buffer* igual a 3 posições, observa-se um aumento dos tempos de transferência a partir da carga  $S=0,6$  como mostra a figura 24. As curvas passam a ter um crescimento rápido, principalmente para  $M=20$  e  $M=30$ . Os valores mínimos obtidos foram 83ms, 119ms e 155ms, e os valores máximos foram 319ms, 579ms e 835ms, respectivamente para grupos de sensores  $M=10$ ,  $M=20$  e  $M=30$ .



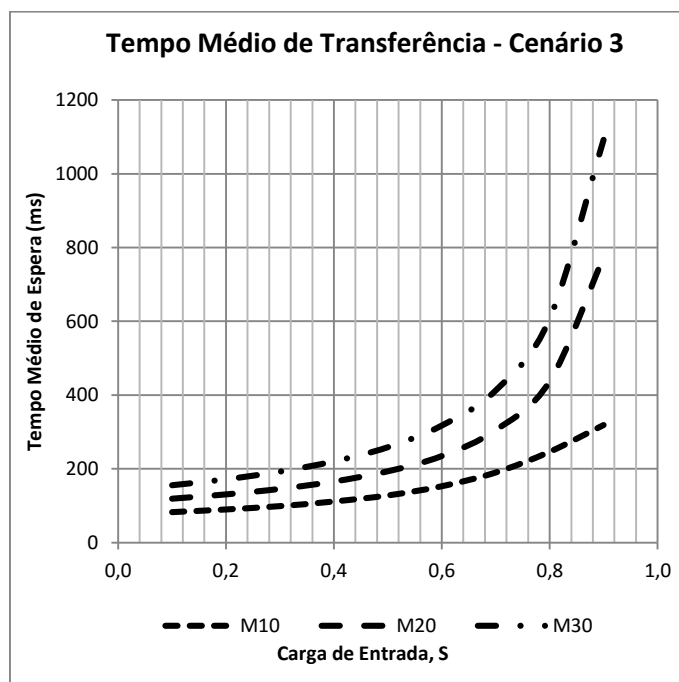
**Figura 24: Tempo Médio de Transferência.**

Na figura 25, observa-se as curvas de perdas de pacotes, analogamente a situação anterior; a partir da carga  $S=0,6$ , há um aumento sensível nas perdas, porém, os valores são aceitáveis com valores mínimos de 0,25%, 0,12% e 0,09% e picos máximos de 4,65%, 3,73% e 3,36%, para grupos de sensores  $M=10$ ,  $M=20$  e  $M=30$ , respectivamente.



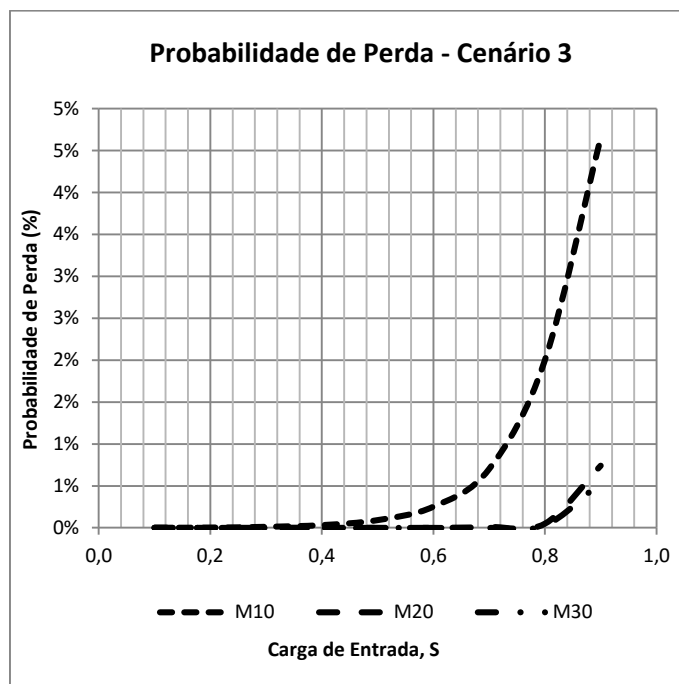
**Figura 25: Perda de Pacotes.**

Para o terceiro cenário em que o tamanho do *buffer* é de 5 posições, a figura 26 mostra que os valores mínimos do tempo de transferência se mantiveram constantes para os grupos de sensores  $M=10$ ,  $M=20$  e  $M=30$ . Já os valores de máximo tiveram variações consideráveis para  $M=20$  e  $M=30$ , alcançando picos de 773ms e 1.091 ms respectivamente.



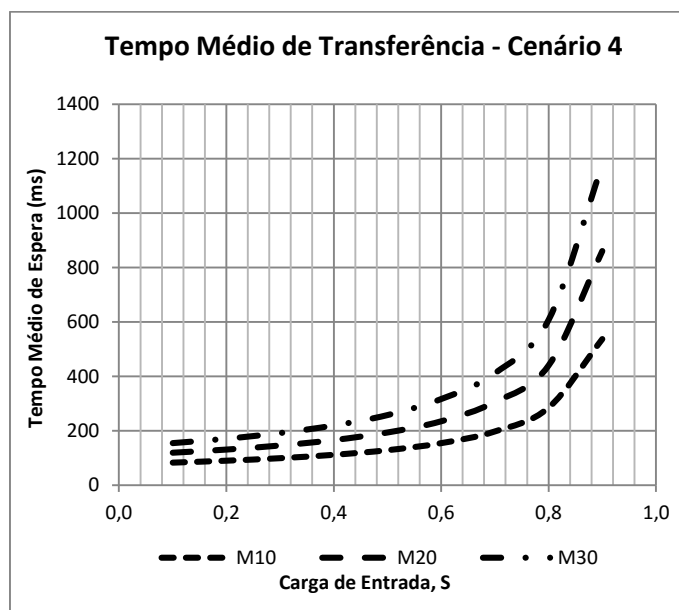
**Figura 26: Tempo Médio de Transferência.**

Já na figura 27 os comportamentos das curvas de perdas de pacotes ficam alteradas; para os grupos de sensores  $M=20$  e  $M=30$  as perdas são baixíssimas ficando abaixo de 1%, os valores exatos são 0,74% e 0,54% respectivamente. Para  $M=10$  as perdas se mantiveram iguais ao cenário 2 apresentando pico de 4,65%.



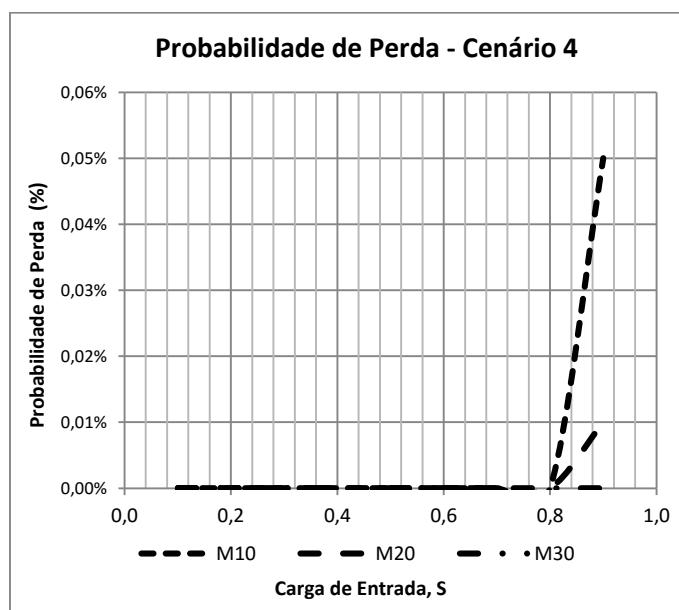
**Figura 27: Perda de Pacotes.**

No quarto cenário, em que o tamanho do *buffer* é igual a 10 posições, nota-se pela figura 28 que para valores abaixo de  $S=0,6$  o sistema se mantém estável, com pouca variação no tempo de transferência, porém ao ultrapassar esse ponto, os tempos de transferência disparam; os valores mínimos se mantêm iguais aos cenários anteriores, assim pode-se dizer que acima de  $S=0,6$  há uma instabilidade no sistema.



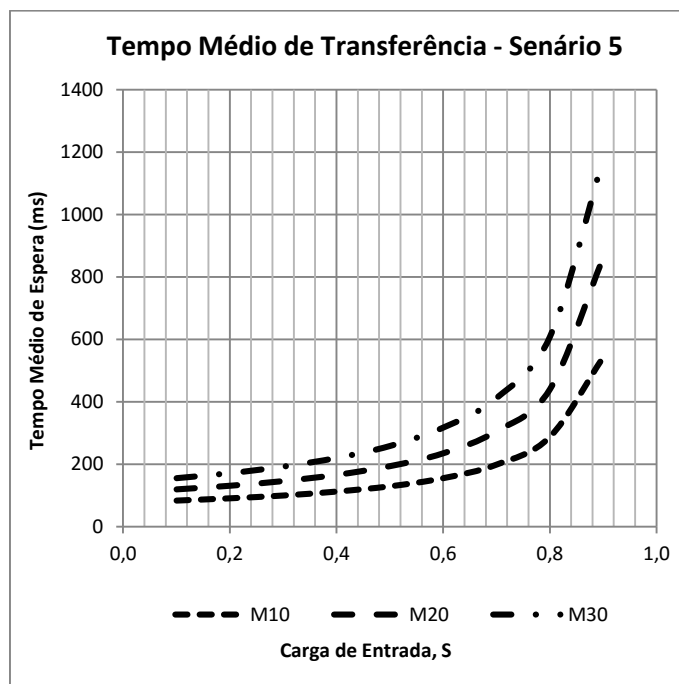
**Figura 28: Tempo Médio de Transferência.**

Com relação a figura 29, as perdas foram ainda menores, fato justificado pelo aumento do tamanho do *buffer*. As perdas ficaram abaixo de 1% para os grupos de sensores  $M=10$  e  $M=20$ , alcançando picos 0,05% e 0,01% respectivamente. Já para o grupo de sensores  $M=30$ , observou-se 0,0% de perda. Isso demonstra que sensores com *buffer* de 10 posições já atendem os requisitos de perdas inferiores a 1% para todos os sensores.



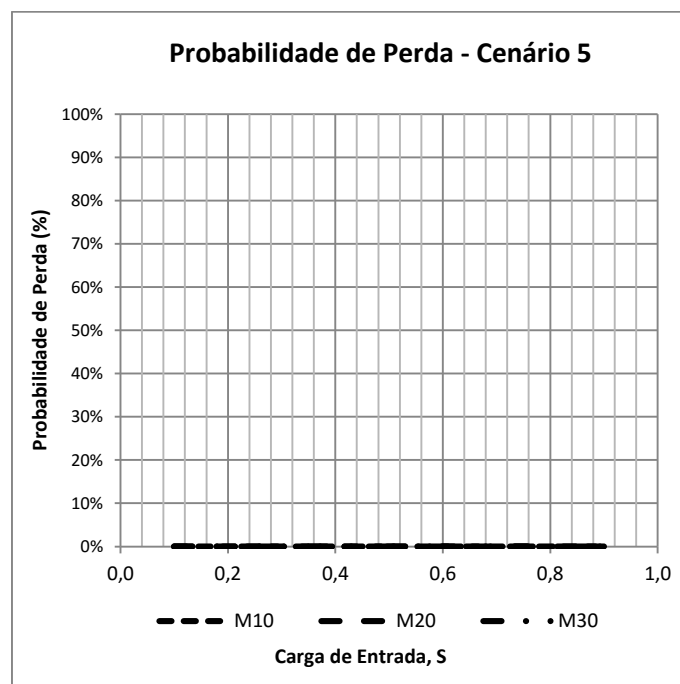
**Figura 29: Perda de Pacotes.**

No quinto cenário simulado o tamanho do *buffer* é de 13 posições e neste cenário com base nos valores das curvas apresentadas nas figuras 30 e 31, pode-se concluir que esta configuração é ótima em termos de perda de pacotes, pois não apresentam perdas em nenhum dos grupos de sensores.



**Figura 30: Tempo Médio de Transferência.**

As variações de tempo de transferência também continuam análogas aos cenários anteriores, porém apenas após o ponto  $S=0,6$  onde inicia-se a instabilidade, os tempos de espera disparam. Os valores mínimos são 83ms, 119ms e 155ms e os valores máximos de 530ms, 862ms e 1.178ms para os grupos de  $M=10$ ,  $M=20$  e  $M=30$ , respectivamente. Este cenário corresponde a situação de *buffer* infinito, em que não há perda, e pode ser utilizado para a WBAN com *buffer* de apenas 13 posições para economizar energia.



**Figura 31: Perda de Pacotes.**

#### 4.3 - CONCLUSÃO

Neste capítulo, foi estudado um esquema de acesso MAC baseado em polling exaustivo com *Buffer* Finito para Rede Corporal de Sensores sem Fio (WBAN) através da simulação computacional. Foi estudada a influência do tamanho de *buffer* dos sensores nos tempos de transferência de pacotes e na perda de pacotes de uma WBAN. O simulador foi desenvolvido em MatLab e os resultados obtidos foram comparados, inicialmente, com os resultados teóricos apresentados em (Motoyama, 2012) para *buffer* de uma posição e de infinitas posições. Nestes casos, as curvas obtidas por simulação ficaram bem próximas das teóricas, validando, dessa forma, os modelos matemáticos teóricos.

Outros casos foram estudados, considerando três grupos de sensores com 10, 20 e 30, e *buffers* de tamanhos limitados em 3, 5, 10 e 13 posições. Com *buffer* de uma posição o sistema apresentou grandes perdas de pacotes que variaram entre 2% a 24%, e os tempos de transferência entre 81ms a 323ms.

À medida que o tamanho do *buffer* aumentou, as curvas foram se modificando e ficou claro que para cargas do sistema inferiores a  $S=0,6$ , o sistema se comporta de maneira estável, pois a quantidade de perdas e as variações dos tempos de transferência são aceitáveis, porém quando a carga ultrapassa este ponto, a perda dos pacotes e as

variações dos tempos de transferência disparam. Assim podemos concluir que até  $S=0,6$  temos estabilidade e o sistema é mais eficiente. Outra informação obtida foi que com o *buffer* de tamanho 13 o sistema se comporta com as mesmas características que se tivesse *buffer* infinito, *buffer* com este tamanho o sistema não apresenta mais perdas de pacotes.

## CAPÍTULO 5 – POLLING PONDERADO

No modo urgente do esquema de *polling* flexível apresentado em (Motoyama, 2012), podem ocorrer situações em que os nós sensores de mais baixas prioridades fiquem sem ou com pouco atendimento para transmitirem pacotes. Para evitar essas situações, neste capítulo, é estudado o esquema de *polling* ponderado. Neste esquema, em vez de dar total prioridade aos nós sensores de maiores prioridades, os nós sensores são divididos em grupos e a cada grupo é atribuído um peso. Os grupos que tem maiores pesos podem transmitir mais pacotes. Por exemplo, em um grupo com peso 3, cada nó sensor poderá transmitir até 3 pacotes em um ciclo. A ideia é garantir que os nós sensores de maiores prioridades continuem a transmitir os pacotes com urgência, mas ao mesmo tempo garantir que os outros nós sensores possam transmitir os seus pacotes. O objetivo do estudo é identificar quais pesos para cada grupo são adequados para garantir um baixo tempo de transferência de pacotes para os nós de maiores prioridades e um tempo de transferência razoável para os nós de menores prioridades. O estudo é feito por simulação utilizando a ferramenta computacional MatLab.

### 5.1 – PARÂMETROS DA SIMULAÇÃO

Nesta análise, é suposto que cada nó sensor possui uma fila de espera (*buffer*) com tamanho infinito para acomodar os pacotes que chegam, desta forma, não terá perda de pacotes. Na figura 32, pode-se observar o comportamento das filas em uma situação hipotética, com os nós A, B e N, representando o n-ésimo nó. O atendimento é ponderado, e é calculado o tempo médio de espera dos pacotes em relação a uma determinada capacidade de saída do sistema.

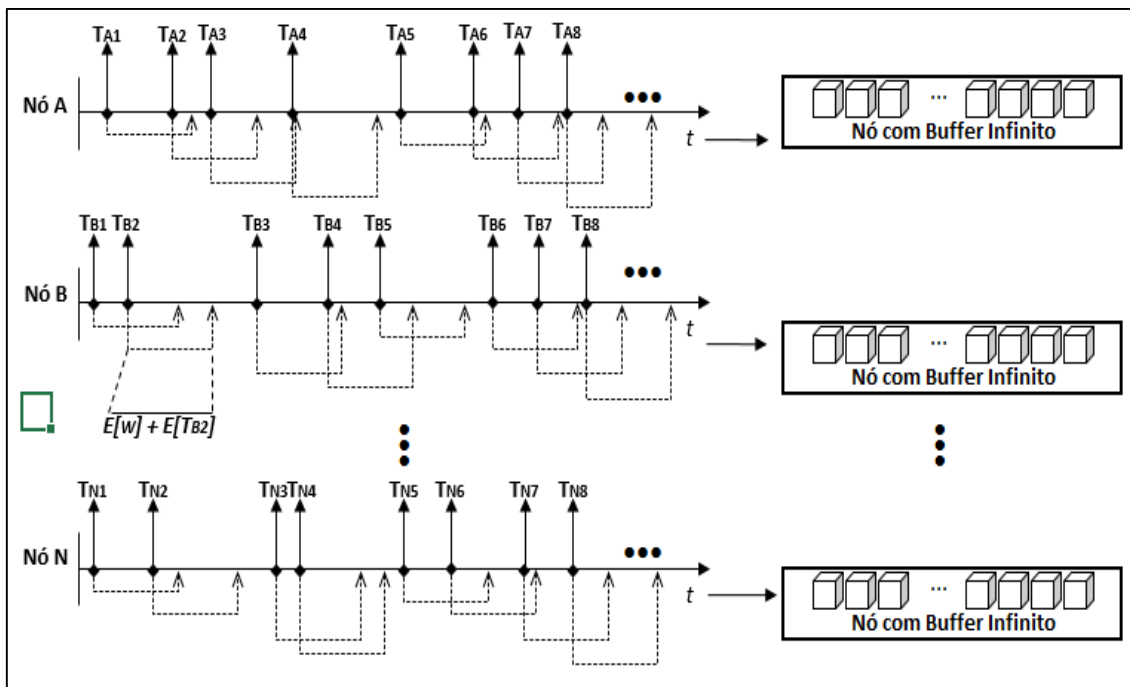


Figura 32: Comportamento da Fila em cada nó sensor, *buffer* Infinito.

As chegadas ao sistema são aleatórias e o escalonamento obedece uma disciplina FIFO. Cada instante  $T_{xx}$  representa a chegada de um pacote no sistema. As setas pontilhadas abaixo das linhas horizontais representam o tempo gasto no sistema  $E[T_{xx}]$  por cada pacote. Esse tempo é o resultado da soma dos tempos  $E[W]$  e  $E[TS]$ , que são respectivamente o tempo gasto no *buffer*, quando for o caso, e o comprimento do pacote em tempo.

Para a simulação do esquema de acesso com polling ponderado, os mesmos parâmetros do capítulo anterior são utilizados, ou seja, o número de nós sensores é  $M$ , a capacidade do canal é  $R$  e o comprimento médio de um pacote é dada por  $E[X]$ .  $E[TS]$  é dado por  $E[X] / R$ , e a intensidade de tráfego ou de carga,  $S$ , é definido como

$$S = \frac{M\lambda E[X]}{R} \quad (1)$$

onde  $\lambda$  representa a taxa média dos pacotes que chegam ao sistema.

O processo de simulação é dividido em três passos:

- O primeiro passo foi gerar os tempos de chegada dos pacotes em cada nó sensor, obedecendo a uma distribuição exponencial negativa com uma

média de  $1/\lambda$ , mantendo-os em uma matriz de números. A equação (2) é usado para gerar instantes de momentos aleatórios de chegadas.

$$T_{chegada} = -\frac{\ln x}{\lambda} \quad (2)$$

Em que  $x$  é o número aleatório entre 0 e 1.

- O segundo passo foi a análise da matriz de tempos de chegada. Na sequência determinada pelo atendimento ponderado, todas as estatísticas de dados necessárias são calculadas. As estatísticas dos dados são armazenadas na variável correspondente que será utilizado para calcular os tempos médios de transferência de pacotes.
- O terceiro passo foi traçar os parâmetros em gráficos, e a análise de desempenho de cenários simulados é realizado.

Para a simulação os seguintes valores são utilizados. O número de nó sensor  $M$  é de 10, 20 ou 30; a capacidade de transmissão  $R$  é 20 kbits/segundo; o comprimento de pacote de  $E[X]$  é de 900 bits; tempo de sincronização (tempo para sincronizar os pacotes em um nó sensor) é de 2 ms e o tempo de mudança (tempo para mudar de um nó sensor para outro em um ciclo) é de 4,5 ms. O tempo de transmissão de pacotes (tempo para transmitir um pacote),  $E[TS]$ , é, portanto,  $900/20.000=45$  ms.

Os valores destes parâmetros são os mesmos apresentados em (Motoyama, 2012) e são utilizados para fins de comparação.

Três cenários são simulados. Os cenários simulados são diferentes apenas no número de nós sensores, mantendo os mesmos os outros parâmetros apresentados acima. O tamanho do *buffer* infinito é utilizado em cada nó sensor. A Tabela 3 resume os três cenários.

**Tabela 3 - Parâmetros dos Cenários.**

Cenários	Quantidade Sensores "M"	Int. de Tráfego "S"	Tamanho Pacote E[X] bits	Link "R" Kb/s	Tempo de Serviço (ms)	Temp. de Sinc (ms)	Tempo de Mudança de Sensor (ms)
Cenário 1	10	0,1~0,9	900	20	45	2	4,5
Cenário 2	20	0,1~0,9	900	20	45	2	4,5
Cenário 3	30	0,1~0,9	900	20	45	2	4,5

No esquema de acesso de *polling* ponderado proposto, o serviço não-preemptivo também é utilizado, isto é, o pacote a ser servido não é interrompido quando um pacote com uma prioridade mais alta chega a um nó. A transmissão de pacotes é finalizada e, em seguida, o pacote com maior prioridade é servido.

O total de nós sensores foi dividido em grupos. Dependendo do valor de  $M$ , a quantidade de nós sensores em cada grupo é diferente. Considerou-se somente três grupos e o número de nós sensores para cada valor de  $M$  ficou da seguinte forma. Para  $M = 10$ , os grupos contêm 3, 3 e 4 nós sensores; para  $M = 20$ , os grupos estão com 6, 6 e 8 nós sensores e para  $M = 30$ , cada grupo contém 10 nós sensores. Dois conjuntos de pesos diferentes são estudados para os grupos. No primeiro conjunto, os pesos são 3, 2 e 1, para os grupos definidos anteriormente e na sequência apresentada. O segundo conjunto contém os pesos 5, 3 e 1, atribuídos aos grupos na sequência apresentada.

Em cada nó sensor, 50.000 pacotes são gerados.

## 5.2 – ANÁLISE DOS RESULTADOS

A figura 33 mostra os resultados obtidos para a simulação de 10 nós sensores utilizando o esquema de acesso de *polling* ponderado e considerando os pesos 3, 2 e 1. Pode-se observar que, para valores de  $S$  iguais ou menores do que  $S=0.7$  os tempos de transferência de pacotes, para qualquer grupo, são todos menores do que 100 ms. Os tempos de transferência para os grupos de média e alta prioridade são menores do que 80 ms. No entanto, para  $S$  superior a 0,8 os tempos de transferência do grupo de baixa prioridade começa a aumentar exponencialmente. Entretanto, os tempos de transferência, para os grupos com prioridade média ou alta, ficam estáveis, menores que 200 ms.

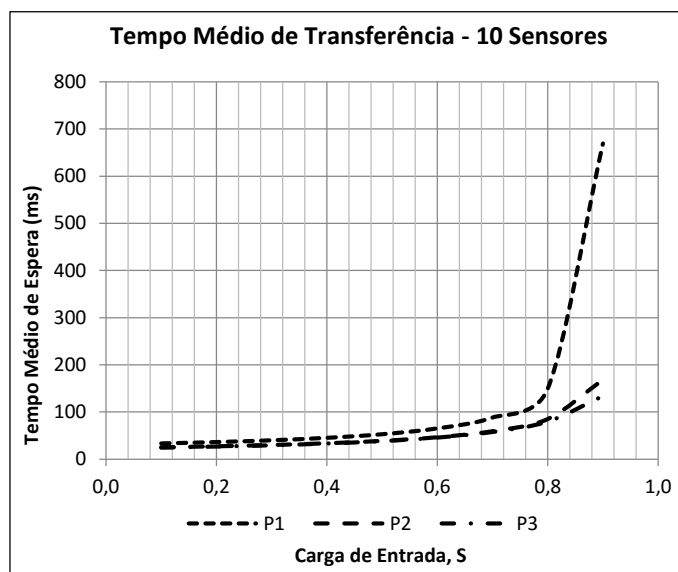


Figura 33: Tempos de Transferência para P1=1, P2=2, P3=3 e M=10.

Na comparação dos resultados obtidos em (Motoyama, 2012) para os mesmos parâmetros, como mostrado na figura 34, as curvas se mostram menos drásticas para o esquema de acesso de *polling* ponderado, proposto neste trabalho. Os comportamentos das curvas em ambos os casos são semelhantes, no entanto, no caso de *polling* ponderado, os tempos de transferência de três grupos se mantêm quase os mesmos até  $S=0,75$ , menos do que 100 ms, mas no caso de *polling* com prioridade total, como é mostrado na figura 33, o sistema já está na região de condição instável para menores nós sensores prioritários. Para  $S=0,8$ , o *polling* ponderado está começando a entrar na região instável para menor grupo prioritário, e no caso de *polling* com prioridade total o sistema já está na região instável.

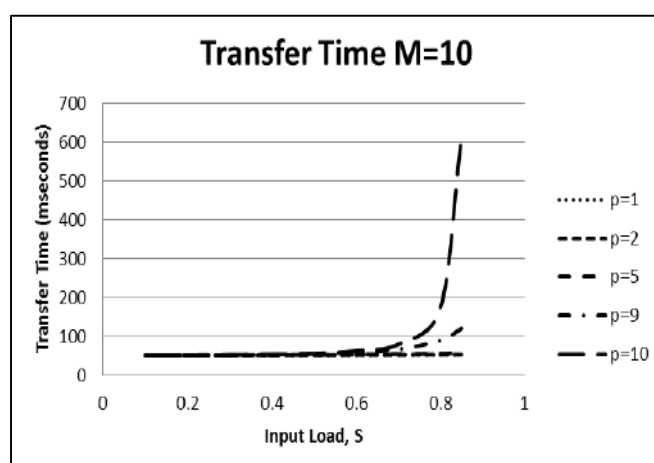


Figura 34: Tempos de Transferência apresentados em (Motoyama, 2012) para M=10.

A figura 35 mostra os resultados para o cenário 2 com  $M=20$  e pesos de 3, 2 e 1. Há um aumento no tempo de transferência. No entanto, o tempo de transferência permanece abaixo de 100 ms até  $S=0,6$ . Para  $S=0,6$  até  $S=0,8$ , os valores aumentam para o grupo com menor prioridade, quase duplicando, e para os grupos de média e de alta prioridade, há um aumento de 50%, aproximadamente, quando a carga é de cerca de  $S=0,9$ .

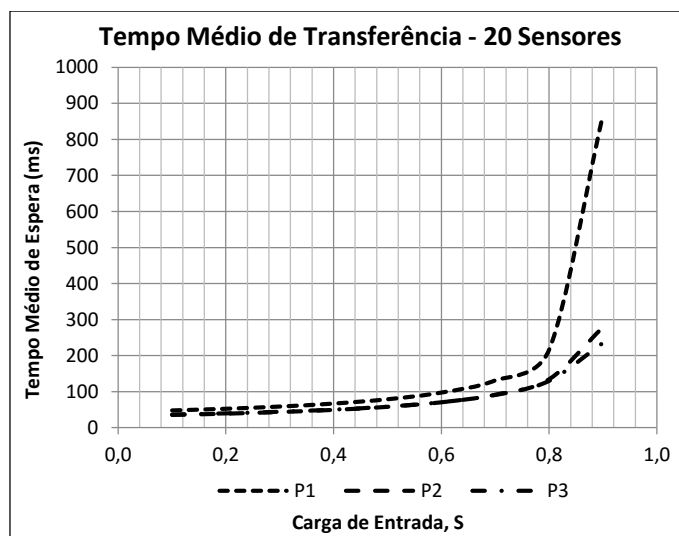


Figura 35: Tempos de Transferência para  $P1=1$ ,  $P2=2$ ,  $P3=3$  e  $M=20$ .

A figura 36 mostra os resultados obtidos em (Motoyama, 2012) para  $M=20$ . As mesmas conclusões podem ser obtidas como antes, para  $M=10$ , se as figuras 31 e 32 são comparadas. A melhoria usando *polling* ponderado é muito perceptível em comparação com *polling* de prioridade total.

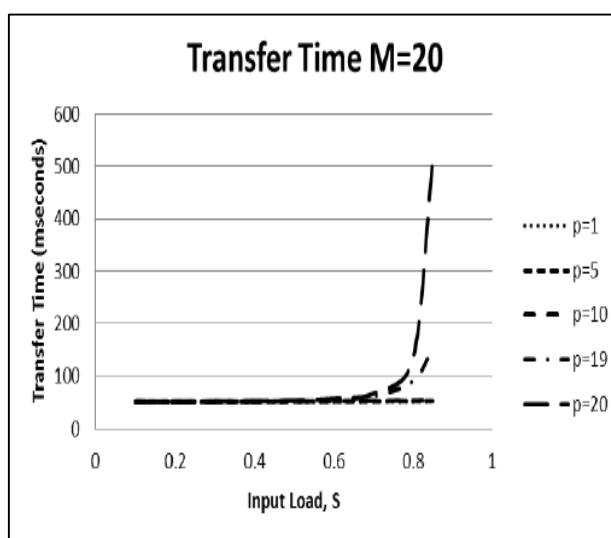
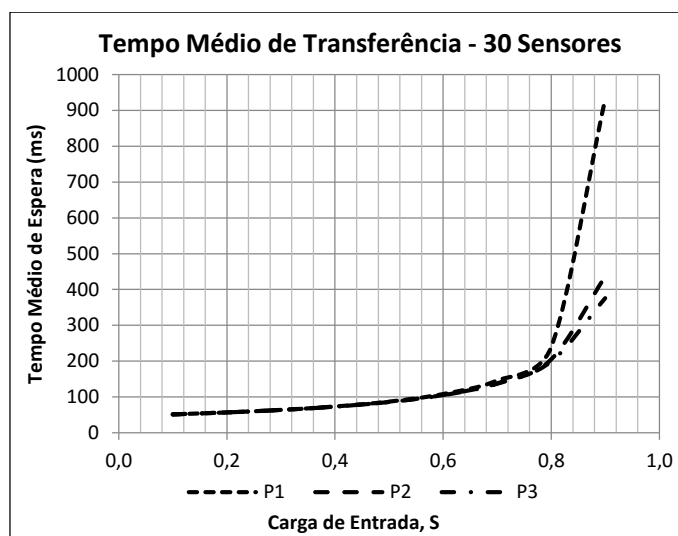


Figura 36: Tempos de Transferência apresentados em (Motoyama, 2012) para  $M=20$ .

A figura 37 mostra o terceiro cenário, para  $M=30$  e pesos 3, 2 e 1. Pode-se notar que, para  $S=0,6$ , os tempos de transferência para três grupos já estão acima 100ms. Para  $S=0,6$  até  $S=0,8$ , os tempos de transferência quase dobram para todos os grupos e são muito próximos entre os grupos. O sistema apresenta instabilidade para  $S$  maior do que 0,8. Para  $S=0,9$ , o tempo de transferência de grupo de menor prioridade é 931ms. Por outro lado, para os grupos de prioridades média e maior, os tempos de transferência são 436 ms e 376 ms, respectivamente.



**Figura 37: Tempos de Transferência para  $P1=1$ ,  $P2=2$ ,  $P3=3$  e  $M=30$ .**

Para estudar a influência de diferentes pesos, no sistema de pesquisa, os pesos foram alterados para  $P1=1$ ,  $P2=3$  e  $P3=5$  e os três cenários foram simulados novamente. A figura 38 mostra os resultados para  $M=10$ . Observa-se que os tempos de transferência até  $S=0,7$  estão abaixo 100ms para os três grupos. Para valores entre  $S=0,7$  e  $S=0,8$  os tempos de transferências para sensores com pesos 3 e 5 continuam com crescimento lento ficando abaixo de 100ms mesmo quando atingirem  $S=0,8$ , já para os sensores do grupo com peso 1 de menor prioridade, o crescimento dos tempos de transferência passa a ter um comportamento de crescimento exponencial, os tempos quase dobram, mais permanecem abaixo de 200ms, já após  $S=0,8$  disparam. Para  $S$  superior a 0,8 o sistema para os grupos prioritários de peso 3 e 5 tornaram-se instáveis. Para valores acima de  $S=0,9$ , o tempo de transferência do grupo de menor prioridade é 669ms, e para os grupos de média e alta prioridade os tempos foram de 168 ms e 133 ms, respectivamente. Na comparação dos resultados obtidos em (Motoyama, 2012) para os mesmos parâmetros, mostrados na figura 34, os comportamentos das curvas em ambos os casos são

semelhantes, no entanto, no caso de *polling* ponderado, os tempos de transferência de três grupos se mantêm quase os mesmos até  $S=0,75$ , valores abaixo de que 100 ms, mas no caso de *polling* com prioridade total, como é mostrado na figura 38, o sistema já está na região de condição instável para os nós sensores de menor prioridade. Para  $S=0,8$ , o *polling* ponderado está começando a entrar na região instável os grupos de menor prioridade, e no caso de *polling* com prioridade total o sistema já está na região instável.

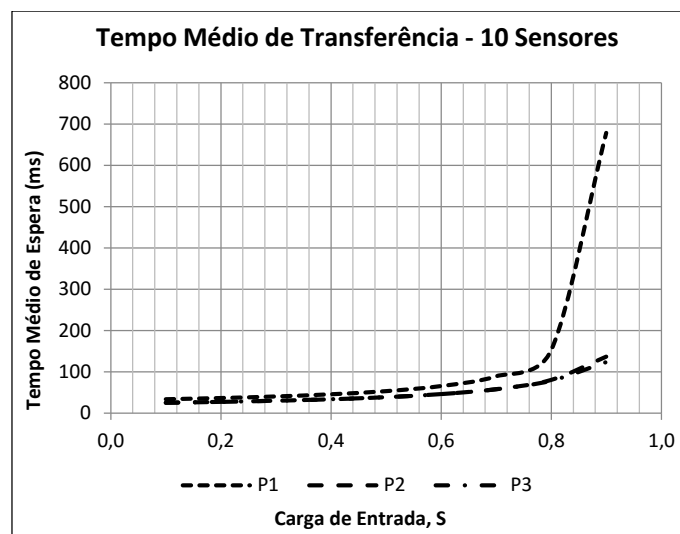


Figura 38: Tempos de Transferência  $P1=1$ ,  $P2=3$ ,  $P3=5$  e  $M=10$ .

A figura 39 mostra os resultados para  $M=20$ . Os tempos de transferência para  $S=0,6$  são inferiores a 100 ms; entre  $S=0,6$  e  $S=0,8$  o tempo de transferência para os grupos de menor prioridade dobram saindo de valores abaixo de 100 ms chegando a 200ms, enquanto que os para os grupos de média e alta prioridade os tempos de transferência ultrapassam 100 ms por volta de  $S=0,75$  chegando a 120 ms em  $S=0,8$ . Para ambos os grupos há um aumento suave nos tempos de transferência até  $S=0,6$ , ficando abaixo 100ms, após  $S=0,6$  o sistema começa a apresentar características de estar entrando em estado de instabilidade pois o grupo de sensores de menor prioridade começa a apresentar crescimentos mais agressivos, em alguns casos dobrando de valor. Após  $S=0,8$  para o grupo de sensores menos prioritários o sistema entra em estado de instabilidade apresentando crescimento exponencial com o tempo de transferência variando de 200 ms e chegando a 900 ms, já para os grupos de média e alta prioridade os valores variam entre 120 ms a 220 ms. Comparando os resultados da figura 35 com os obtidos em (Motoyama, 2012) nas figuras 30 e 32, nota-se que o método de *polling* ponderado tem um desempenho melhor do que o método de *polling* de prioridade total, as curvas do tempo

de transferência apresentam um aumento gradual, apresentando instabilidade após  $S=0,75$  já o método de *polling* de prioridade total, após  $S=0,6$  o sistema já entra em instabilidade para ambos os grupos, desta forma fica visível o ganho com a técnica proposta.

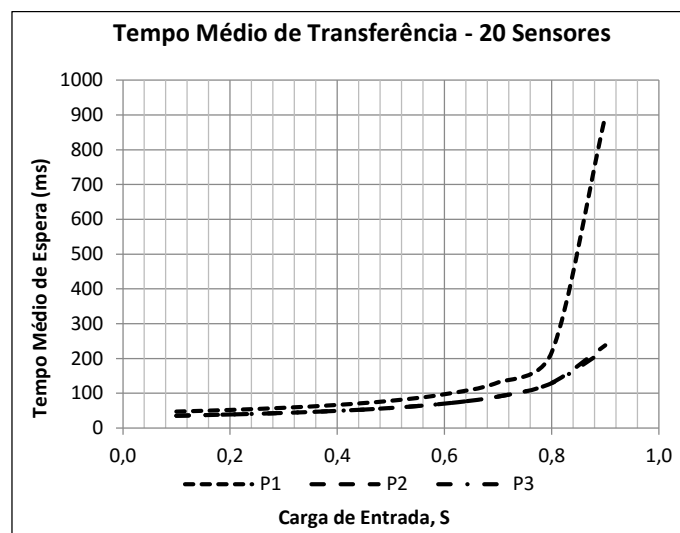


Figura 39: Tempos de Transferência P1=1, P2=3, P3=5 e M=20.

A figura 40 mostra os resultados para o terceiro cenário, com  $M=30$ . Para  $S=0,8$ , os tempos de transferência estão abaixo de 200 ms para todos os grupos, um valor razoável em se tratando de uma WBAN que trabalha em tempo real. Para valores superiores  $S=0,8$ , o sistema se torna instável, no grupo de menor prioridade o tempo de transferência atinge 952 ms para  $S=0,9$ , para os grupos de médias e alta prioridade os tempos de transferência são 379 ms e 376 ms, respectivamente. Comparando os resultados da figura 40 com os obtidos em (Motoyama, 2012) nas figuras 34 e 36, nota-se que em ambos os casos quando o sistema ultrapassa  $S=0,6$  é visível ver que o sistema entra em instabilidade, os valores dos tempos de transferência disparam chegando a 600 ms no grupo de menor prioridade, e nos grupos de maior prioridade não ultrapassam 150 ms no método de *polling* de prioridade total, no método proposto podemos observar que até  $S=0,6$ , os tempos de transferências para os três grupos se mantem quase os mesmos chegando a 100 ms, entre  $S=0,6$  e  $S=0,8$  os tempos caminham quase juntos com uma leve diferença no grupo de menor prioridade que está um pouco acima dos grupos de média e alta prioridade, quando os tempos se aproximam de  $S=0,8$  nota-se que os valores começam a sofrer variações um pouco mais visíveis mas ficam com valores por volta de 200 ms, no caso dos grupos de média e alta prioridade, ao ultrapassarem  $S=0,8$  há um aumento nos tempos de transferência, porem o aumento dos tempos continuam bem

próximos mas com um crescimento mais acelerado tanto que os valores chegam a quase dobrar chegando a 330 ms para o grupo de maior prioridade e 390 ms para o grupo de média prioridade, para o grupo de menor prioridade os tempos dispararam chegando a 940 ms em  $S=0,9$ , comparando os resultados obtidos em (Motoyama, 2012), os valores obtidos pelo método proposto até  $S=0,8$  são bem inferiores, comprovando sua eficiência.

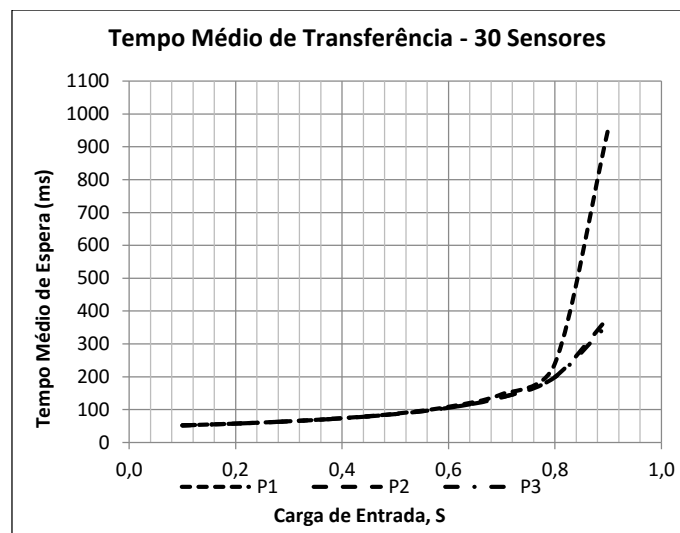


Figura 40: Tempos de Transferência  $P1=1$ ,  $P2=3$ ,  $P3=5$  e  $M=30$ .

As comparações dos resultados obtidos para dois tipos diferentes de pesos,  $P1=1$ ,  $P2=2$  e  $P3=3$ , e  $P1=1$ ,  $P2=3$  e  $P3=5$ , considerando os diferentes cenários, mostraram que os tempos de transferência não são muito diferentes. No entanto, os resultados quando comparados com o modelo de *polling* de prioridade total apresentada em (Motoyama, 2012) são bem inferiores, o que mostra a melhoria do método de consulta proposto.

### 5.3 - CONCLUSÃO

Um esquema de acesso baseado em *polling* ponderado para WBAN foi proposto neste trabalho. O esquema de acesso proposto divide os nós sensores em grupos e cada grupo tem pesos diferentes. O grupo que tem maior peso tem a maior prioridade no esquema de acesso para garantir a QoS para os dados urgentes de nós sensores. O grupo que tem menor peso tem a menor prioridade para nós sensores que coletam dados normais.

Os resultados obtidos por simulação mostraram que o esquema de acesso de *polling* ponderado proposto é melhor do que o esquema baseado em prioridade total

apresentado em (Motoyama, 2012). Isto porque se temos um grupo de 3 sensores, e a média do tempo de espera na fila ficou próximo ao tempo de espera de apenas um sensor, isto comprova que o método proposto é mais eficiente que o método apresentado por (Motoyama, 2012). Os resultados também mostraram que a mudança de peso de  $P1=1$ ,  $P2=2$  e  $P3=3$  a  $P1=1$ ,  $P2=3$  e  $P3=5$  não tem grande influência no tempo de transferência de pacotes, mantendo quase o mesmo comportamento em ambos os casos. Pode-se concluir que o esquema de acesso de *polling* ponderado é mais balanceado do que o esquema de total prioridade, evitando, dessa forma, o problema de nós de sensores sem serviços ou atendimentos.

## CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHO FUTUROS

O objetivo principal dessa dissertação foi estudar um novo método de acesso ao meio MAC para uso em redes WBAN com a finalidade de monitoramento remoto de pacientes. A proposta consistiu em uma configuração de rede que pode conter grupos de 10, 20 e 30 nós sensores para atendimento médico de pacientes em suas próprias casas.

Uma rede WBAN monitora os sinais vitais de um paciente com nós sensores espalhados estrategicamente em determinadas áreas do corpo dos pacientes, coletam dados da fisiológicos, através dos nós sensores, e os dados são transferidos para um nó sink, e, em seguida, transmitidos para um gateway. O gateway tem uma conexão com a Internet e, portanto, os dados dos pacientes podem atingir instalações médicas onde podem ser processados e apresentados aos médicos para fins de diagnóstico, análise e construção de uma base de dados.

Os principais pontos do método proposto foram apontados e detalhados, a fim de descrever o seu funcionamento. A capacidade do *buffer* de cada nó sensor foi estudada na primeira proposta Polling com *Buffer* limitado, concluiu-se o tamanho exato do *buffer* onde os nós da rede passaram a se comportar como se tivessem *buffer* infinito, esta característica é um ponto onde se pode projetar nós que consumam menos energia, visando o bom funcionamento da rede, já que esta será empregada na área da saúde, e se tiver mau funcionamento pode impor riscos para os pacientes.

No modelo de simulação computacional, além do estudo do *buffer* infinito, para nos aproximarmos mais da realidade, focamos no modelo com *buffer* limitado que possui soluções teóricas mais complexas e muitas vezes não possuem soluções explícitas, como no caso de tamanho de pacote fixo. O modelo teórico auxiliou na validação do modelo computacional.

O segundo modelo proposto foi o Polling Ponderado, com *buffer* infinito, os resultados obtidos mostram que, este método apresenta um melhor desempenho em relação ao modelo teórico adotado para validação da simulação computacional, em ambos os casos foram utilizados pacotes de tamanhos fixos, tanto para o método de Polling com *Buffer* Limitado quanto para Polling Ponderado com *Buffer* Ilimitado. Assim, um *buffer* com tamanho apropriado é fundamental para que se alcance uma probabilidade de perda

de pacotes bem baixa, por exemplo, menor do que 2%, já que a WBAN trata de informações que devem ser tratados em tempo real, e as perdas devem ser baixíssimas.

## **6.1 – TRABALHOS FUTUROS**

Como forma de continuação dessa dissertação, algumas ideias para trabalhos futuros serão apresentados.

A ideia consiste em propor outros dois métodos de acesso, realizar um estudo detalhado sobre as principais características dos métodos, principalmente os relacionados ao tempo médio de espera na fila de atendimento e descartes de pacotes, isto porque estes dois pontos impactam diretamente no desempenho de uma rede WBAN, e por se tratar de uma rede de monitoramento necessita que os dados sejam tratados em tempo real. Perdas de Pacotes e Tempo Médio de Espera são métricas relacionadas a QoS, daí a importância em fazer o estudo.

Esses dois modelos são protótipos de Protocolos de Acesso ao Meio MAC, serão baseados na técnica de Polling com variações, o primeiro denominado Polling com Prioridade Total, e o segundo Polling com Prioridade Total Equilibrada, o assunto é alvo de muitas pesquisas por parte dos pesquisadores, mostrando ser assunto muito interessante, e relevante para a proposta de rede aqui exposta. Além desses estudos teóricos, novos resultados obtidos através de simulação computacional podem gerar novas informações, configurando uma oportunidade para novas dissertações serem elaboradas.

## REFERÊNCIAS

- B. Latré, B. Braem I. Moerman, C. Blondia and P. Demeester, "A survey on wireless body area networks," *Wireless Networks*, Volume 17 Issue 1, January 2011, Kluwer Academic Publishers Hingham, MA, USA.
- F. Chen, Simulation of wireless sensor node using s-mac. Master's thesis, University of Erlangen-Nuremberg, Department of Computer Science 7, September 2005.
- Y. Tselishchev, "Designing a Medium Access Control Protocol for Body Area Networks" - School of Information Technologies, University of Sydney, NSW 2006, Australia. Networks research group, NICTA, 13 Garden St., Eveleigh, NSW 1430, Australia.
- L. M. Borges, F. J. Velez and A.S. Lebres, "Performance evaluation of the schedule channel polling MAC protocol applied to health monitoring in the context of IEEE 802.15.4," in 11th European Wireless Conference - Sustainable Wireless Technologies (European Wireless), 2011, pp. 94-101.
- A. A. F. Loureiro, J. M. S. Nogueira, L. B. Ruiz, R. A. F. Mini, E. F. Nakamura, C. M. S. Figueiredo. *Redes de Sensores Sem Fio (In Portuguese)*. In: Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, 21, Natal – RN, Brazil, May 19–23, 2003, pp. 179-226.
- L. Huaming and T. Jindong, "Heartbeat-driven medium-access control for body sensor networks," *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, Vol. 14, No. 1, January 2010, pp. 44-51.
- K. Van Dam, S. Pitchers, and M. Barnard, "Body area networks: Towards a wearable future," in Proceedings of WWRF kick off meeting, Munich, Germany, 6-7 March 2001.
- G. Fang and E. Dutkiewicz, 2009. BodyMAC: Energy Efficient TDMA-based MAC Protocol for Wireless Body Area Networks. The 9th International Symposium on Communication and Information Technologies. Korea. pp. 1455.
- Z. Yan & B. Liu, (2011, July). A context aware MAC protocol for medical Wireless Body Area Network. In *Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, 2011 7th International (pp. 2133-2138). IEEE.

- S. S. Oliveira and S. Motoyama, "Applications oriented medium access control protocols for wireless sensor networks," *IEEE Latin America Transactions*, v. 7 Issue 5, 2009, pp. 586-593.
- W. Ye, J. Heidemann and D. Estrin, "An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks", in *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Communication* , pp.1567-1576, USC/Information Sciences Institute, New York, USA, 2002.
- J. Polastre, J. Hill, and D. Culler, "Versatile Low Power Media Access for Wireless Sensor Networks," *ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (Sensys)*, Baltimore, Maryland, USA, 2004.
- A. El-Hoiydi and J. D. Decotignie, "WiseMAC: An Ultra Low Power MAC Protocol for the Downlink of Infrastructure Wireless Sensor Networks", CSEM, Swiss Center for Electronics and Microtechnology, Inc. Rue Jaquet-Droz 1, 2007 Neuchâtel, Switzerland.
- Q. Tang, N. Tummala, S. K. S. Gupta, and L. Schwiebert, "Communication scheduling to minimize thermal effects of implanted biosensor networks in homogeneous tissue," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 52, no. 7, pp. 1285–1294, Jul. 2005.
- B. Liu, Z. Yan, C. Chen, "CA-MAC: A Hybrid Context-aware MAC Protocol for Wireless Body Area Networks", 2011 IEEE 13th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services.
- X. Zhu, S. Han, P. C. Huang, A. K. Mok, and D. Chen, "MBStar: A Real-time Communication Protocol for Wireless Body Area Networks," in *Euromicro Conference on Real-Time Systems*, 2011, pp. 57–66.
- K. A. Ali, J. H. Sarker, H. T. Mouftah, QoS-Based MAC Protocol for Medical Wireless Body Area Sensor Networks. In *Proceedings of 2010 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, Riccione, Italy, 22–25 June 2010; pp. 216–221.
- S. Marinkovic, C. Spagnol and E. Popovici, "Energy-efficient TDMA-based MAC protocol for wireless body area networks," in *Third International Conference on Sensor Technologies and Applications*, 2009. *SENSORCOMM '09*, pp. 604-609.

- S. Motoyama, 2012. Flexible Polling-based Scheduling with QoS Capability for Wireless Body Sensor Network. 37th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks, LCN 2012, Clearwater, USA.
- T. A. Pazeto, L. F. Refatti and S. Motoyama, "Polling-based Medium Access Control Scheme for Wireless Body Sensor Network" in International Conference on Wireless Networks - ICWN-12, 2012, Las Vegas. pp. 87-93.
- T. Zasowski, F. Althaus, M. Stager, A. Wittneben, and G. Troster, "UWB for noninvasive wireless body area networks: channel measurements and results," in Ultra Wide-band Systems and Technologies, 2003 IEEE Conference on, Nov. 2003, pp. 285-289.
- E. Reusens, W. Joseph, G. Vermeeren, L. Martens, B. Latré, B. Braem, C. Blondia, and I. Moerman, "Path-loss models for wireless communication channel along arm and torso: Measurements and simulations," in IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium 2007, Honolulu, HI, USA, 9-15 June 2007, pp. 336-339.
- A. Fort, J. Ryckaert, C. Desset, P. De Doncker, P. Wambacq, and L. Van Biesen, "Ultra-wideband channel model for communication around the human body," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 24, pp. 927-933, Apr. 2006.
- W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks," in System Sciences, 2000. Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on, Jan 2000, pp. 8020-8024.
- L. H. A. Correia, D. F. Macedo, A. L. Santos, J. M. Nogueira e A. A. F. Loureiro, (2005) "Uma Taxonomia para Protocolos de Controle de Acesso ao Meio em Redes de Sensores Sem Fio". RT.DCC.005/2005 – UFMG.
- T. V. Dam and K. Langendoen, "An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," SenSys 2003, Los Angeles, California, USA, 2003.
- A. El-Hoiydi, J. D. Decotignie, and J. Hernandez, "Low Power MAC Protocols for Infrastructure Wireless Sensor Networks," European Wireless Conference, Barcelona, Spain, 2004.

S. Ullah, M. Mohaisen, and M. Alnuem. A review of IEEE 802.15.6 MAC, PHY, and security specifications. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2013, 2013. (Cited on page 22.)

## APÊNDICE I – ARTIGO PUBLICADO NO CISTI'2015



Associação Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação  
(Iberian Association for Information Systems and Technologies)  
Rua de Lagares, 523  
4620-646 Silvares  
Portugal  
+351 96 1539027

<http://www.aisti.eu>  
aisti@aisti.eu

**INVITATION LETTER**

May 13, 2015

*Dear Manoel Pontes Gomes*  
IFMT, Brazil

On behalf of the CISTI'2015 - 10th Iberian Conference on Information Systems and Technologies, I am pleased to inform you that your submission "*Análise de Desempenho de um Esquema de Acesso Baseado em Polling Exaustivo Para WBAN*" has been accepted for publication and presentation in this conference as a Full Paper.

So, you are cordially invited to participate in the CISTI'2015 (<http://www.aisti.eu/cisti2015>) to be held in Águeda, Aveiro, Portugal, June 17 - 20, 2015, an international scientific event organized by AISTI and University of Aveiro.

We sincerely hope that you will join us in making CISTI'2015 a success. We look forward to seeing you in Águeda next June.

Sincerely,

---

Álvaro Manuel Reis da Rocha  
AISTI, President  
CISTI'2015, General Chair

# ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM ESQUEMA DE ACESSO BASEADO EM *POLLING* EXAUSTIVO PARA WBAN

## *PERFORMANCE ANALYSIS OF AN ACCESS SCHEME BASED ON EXHAUSTIVE POLLING FOR WBAN*

Manoel Pontes Gomes

Federal Institute of Education Science and Technology  
IFMT-MT  
Cuiabá, MT, Brasil.  
manoel.gomes@plc.ifmt.edu.br

Shusaburo Motoyama

Faculty of Campo Limpo Paulista  
FACCAMP  
Campo Limpo Paulista, SP, Brasil  
shumotoyama@gmail.com

**Resumo** — As redes de sensores sem fio - RSSFs são compostas por uma grande quantidade de nós distribuídos, de dimensões reduzidas, que colaboram entre si para executar uma tarefa. Esse tipo de rede tem sido objeto de intensas pesquisas, pois tem aplicabilidade em várias áreas, dentre elas: monitoramento de ambientes, robótica e na área médica. Este artigo aborda a aplicação das redes de sensores sem fio na área médica, mais especificamente no monitoramento de sinais vitais de pacientes. Neste artigo, é estudada a técnica de acesso ao meio utilizando *polling* exaustivo para rede corporal de sensores sem fio (WBAN - Wireless Body Sensor Network). É um método alternativo para economizar energia dos nós sensores. Foi investigada a influência do tamanho do buffer dos nós sensores em relação ao tempo de transferência e da perda de pacotes. Esses parâmetros são métricas que normalmente são utilizadas em redes de computadores para aferir a QoS. Vários cenários foram simulados, principalmente levando em consideração o tamanho dos buffers dos nós sensores que influenciam diretamente no tempo de transferência, e na perda de pacotes que são características importantes para a WBAN que processam dados em tempo real. O estudo é realizado através de um simulador desenvolvido em Matlab que gera e analisa dados usando a técnica de *polling* exaustivo. Os resultados obtidos são, inicialmente, comparados com os resultados teóricos existentes e outros resultados são obtidos para definir o tamanho conveniente de buffer para WBAN.

**Palavras Chave** - Desempenho, *Polling* Exaustivo, buffers, Simulação, WBAN.

**Abstract** — The wireless sensor networks - RSSFs are composed of a large number of distributed nodes, reduced dimensions that work together to perform a task. This type of network has been the subject of intensive research, and has applicability in several areas, such as environment monitoring, robotics and in the medical field. This paper deals with the application of wireless sensor networks in the medical field, specifically in monitoring of vital signs of patients. A study of an access scheme using exhaustive *polling* technique for wireless body sensor network - WBAN is carried out in this paper. It is an alternative method for saving

energy of sensor nodes. The influence of the buffer sizes of sensor nodes in relation to the transfer time and packet loss is investigated. These parameters are metrics in general used in computer networks to measure the QoS. Several scenarios were simulated taking into account the sizes of buffer of sensor nodes that directly influence the transfer time and packet loss, which are essentials for WBAN requiring real time processing. The study is carried out using a simulator developed in Matlab that generates and analyzes data based on exhaustive *polling* technique. The results obtained are initially compared to existing theoretical results and other results are obtained to define the most appropriate buffer size for WBAN.

**Keywords** - Exhaustive *Polling*, Performance, buffers, Simulation, WBAN.

### I. INTRODUÇÃO

As redes de sensores sem fio - WSNs (Wireless Sensor Networks) são compostas de um grande número de nós, que colaboram entre si para executarem tarefas diversificadas. Um nó sensor pode ser composto por um rádio transmissor e receptor, uma bateria e um processador. Este tipo de rede tem sido objeto de intensas pesquisas, pois pode ser aplicada em diferentes áreas, tais como monitoramento de meio ambiente, robótica e na área médica. Na área médica, uma das principais aplicações das WSNs é denominada Rede Corporal de Sensores Sem Fio - WBAN (Wireless Body Area Network), ou simplificada Redes Corporais, seu objetivo é monitorar os sinais vitais do corpo humano. Em uma WBAN, os sensores são colocados em várias partes do corpo humano, sendo inclusive implantados sob a pele, o que dificulta a recarga ou troca da bateria, e provoca desvanecimento do sinal, impondo que a rede opere com alta eficiência em termos de consumo de energia [1].

Os dados coletados pelos sensores são médicos, logo necessitam de confiabilidade e processamento em tempo real, também são dados privados e confidenciais, exigindo algum tipo de criptografia para dar segurança no tratamento de dados. Uma

proposta de projeto do controle de acesso ao meio (MAC – medium access control) é estudada, neste artigo, com o objetivo de economizar energia. Neste trabalho é analisado o esquema de acesso baseado em *polling* para WBAN. Este esquema é flexível e utiliza a técnica de acesso baseado em *polling* exaustivo para WBAN e foi proposto em [15]. Nesse esquema, existem dois tipos de operação: uma operação normal e a outra emergencial. Na operação normal, a investigação dos sensores é feita um a um, em uma sequência pré-definida (*polling* padrão). No caso da operação emergencial, alguns sensores têm prioridades na transmissão e são investigados com maior frequência. Em [15], a operação normal é analisada teoricamente supondo que os sensores possuem no primeiro caso, buffers de tamanho infinito e, no segundo caso buffer limitado em apenas uma posição para armazenar pacotes e o método de atendimento adotado foi o exaustivo. Estudando o desempenho da operação normal para diferentes tamanhos de buffer, pode-se dimensionar o tamanho de buffer mais adequado ao sistema para que ele se comporte como se tivesse buffer infinito. Este dimensionamento é importante, pois, com o tamanho reduzido do sensor, determinar o tamanho exato do buffer irá impactar no tamanho final do sensor e no consumo de energia.

O artigo está estruturado em cinco seções. Na segunda seção, os principais conceitos de uma rede WBAN são apresentados. Os principais trabalhos relacionados a este artigo são discutidos na terceira seção. Na quarta seção, os parâmetros utilizados na simulação, os cinco cenários e a análise dos resultados são apresentados, e finalmente na quinta e última seção, as conclusões e os trabalhos futuros são descritos.

## II. OS PRINCIPAIS CONCEITOS DA REDE WBAN

A Rede Corporal de Sensores sem Fio coleta dados vitais do corpo humano. Devido às dimensões dos sensores, eles possuem limitações nos quesitos: processamento, comunicação e recursos energéticos. A WBAN permite o monitoramento contínuo de parâmetros fisiológicos, independentemente do local onde o paciente está, seja no hospital, em casa ou desempenhando alguma atividade cotidiana, desta forma, não será mais necessário ficar na cama de um hospital para fazer exames [1]. Os sinais vitais poderão ser analisados remotamente, dando a sensação de liberdade ao paciente.

A topologia utilizada para comunicação de uma WBAN é a estrela, pois a comunicação centralizada evitará a concorrência na utilização do meio de transmissão, evitando assim colisões de pacotes, e retransmissão de dados. Para as outras topologias de redes sem fio como a mesh, o gasto energético é maior, sem um nó central os dados terão que percorrer vários sensores até atingir o nó sink, consumindo recursos de vários outros nós, e caso ocorra erros ou perda de dados, o processo será repetido. Esse processo em uma rede de nós colaborativos provocaria uma redução drástica na vida útil dos sensores. Atualmente os smartphones podem ser utilizados com nó sink, sua configuração e/ou substituição são feitas rapidamente, o que não onera o funcionamento de uma WBAN. Na Figura 1 temos um exemplo desta rede, vários tipos de sinais estão sendo coletados. Os sensores são espalhados por todo o corpo. O nó central (sink) é responsável pelo controle e processamento dos dados coletados e o seu encaminhamento para um gateway e posteriormente para a rede externa. Fora da WBAN os dados

coletados podem alcançar uma equipe de emergência ou o próprio médico do paciente, que analisarão os dados, podendo acionar o serviço de emergência. Assim, este paciente experimentará uma nova modalidade de prestação de serviço médico a e-Health (saúde eletrônica) [1].

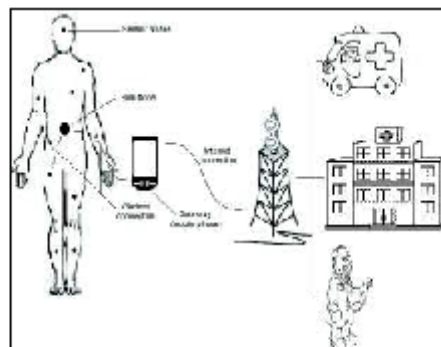


Figura 1. Operação de uma WBAN.

Logo o projeto de um esquema de acesso ao meio, MAC, para uma WBAN deve ser capaz de economizar energia da bateria dos sensores. De maneira geral, existem dois tipos de MAC, um aleatório e outro ordenado. No método aleatório, cada nó transmite pacotes ao acaso e isso pode provocar colisões entre os dois ou mais sensores envolvidos na tentativa de acessar o link de saída ao mesmo tempo, fazendo com que haja um aumento nas retransmissões, o que acarretará no aumento do consumo desnecessário de energia. No método ordenado o nó central é responsável por organizar a sequência de transmissão dos nós sensores, controlando o acesso ao link de saída, evitando colisões e retransmissões, consequentemente economizando energia [17]. Pode-se concluir, dessa forma, que o esquema centralizado (topologia estrela) é mais adequado para a WBAN.

O objetivo deste artigo é estudar o tamanho do buffer para o caso de operação normal e a influência dos tamanhos de buffer na operação de *polling*, assim, verificar qual é o tamanho de buffer ideal para o sistema se comportar como se tivesse buffer infinito, evitando nós sensores com buffers muito grandes que consomem mais energia para guardar os dados coletados.

## III. TRABALHOS RELACIONADOS

Vários esquemas MACs propostos na literatura para a WBSN são baseados no padrão 802.15.4 que fornece um baixo consumo de energia [1]. No entanto, uma vez que o sistema não foi projetado para aplicações WBAN algumas desvantagens têm sido apontadas [2], recentemente muitos esquemas de protocolos MAC especificamente para WBAN foram propostos [2-13]. Algumas propostas baseiam-se nas variações do padrão 802.15.4 [5], [7] e [9], e outras utilizam a técnica de acesso TDMA [3-4], [6], [8], [11-13]. Cada uma das propostas explora algumas características especiais com base em necessidades médicas. Por exemplo, em [3-4] para lidar com as cargas leves e pesadas em situações normais e urgentes, é proposto um MAC sensível ao contexto. Para garantir a QoS de um WBAN, um protocolo MAC baseado na técnica de acesso aleatório é

proposto em [10]. Na proposta apresentada em [8], o batimento do coração é utilizada para fins de sincronização do relógio.

Recentemente, o padrão 802.15.6 foi proposto para a WBAN [14]. Este padrão tem três modos de operação: modo beacon com período de superquadro limitado por beacon, o modo não-beacon com periódico de superquadro e não-beacon sem período de superquadro [14]. O modo beacon é projetado para aplicações médicas e não médicas e tem sido objeto de padronização. A padronização está preocupada com características gerais e não trata de um determinado tipo de acesso. Desta forma, vários tipos de propostas de acesso podem ser acomodadas no padrão.

O modo não-beacon e sem período de superquadro tem sido menos explorado na literatura. Em [15] e [16] foram propostos esquemas MAC usando este modo. Ambas as propostas são baseadas em esquema de acesso *polling* que evita a necessidade de sincronização periódica. Em [15] foi proposto um esquema flexível de *polling* que troca o modo de operação normal para o modo de operação urgente em caso de necessidades de emergência. Em [16] o sistema de *polling* é analisado utilizando modelo de nó sensor mais realista para WBAN através da simulação computacional. Em [11] um esquema MAC usando topologia hierárquica baseada na técnica TDMA (Time Division Multiplex Access) foi proposto para WBAN. O esquema MAC proposto em [18] tem também uma topologia hierárquica, mas em vez de TDMA é baseado na técnica *polling*. O objetivo deste trabalho é estudar o sistema MAC proposto em [15]. Sabe-se que para armazenar dados e mantê-los em memória é necessário que haja gasto energético. Então o tamanho do buffer é um fator que impacta diretamente no desempenho do sistema. Logo, o estudo para determinar o tamanho ideal do buffer dos sensores se faz. A técnica de *polling* flexível utiliza o método de sondagem com capacidade de prover QoS para WBAN. O método de acesso proposto faz a consulta de acordo com o nível de exigência de cada um dos sensores, e essa exigência pode variar a cada ciclo do *polling*. No *polling* flexível os nós sensores podem ser classificados em dois níveis, normal e urgente. No primeiro momento todos os nós sensores são classificados em operação normal, à medida que o tempo passa e a exigência de um determinado nó sensor aumenta ela passa ao modo de operação de urgência, neste momento o nó sink passa a dar maior prioridade para aquele nó sensor ou um grupo de nós sensores. A mudança do modo de operação é feita no nó sink, quando percebe que um nó está enviando muito mais pacote que no ciclo normal, começa a sondar aquele nó sensor com mais frequência, assim, mudando o modo de operação para operação urgente, como pode ser visto na Figura 2 [15].

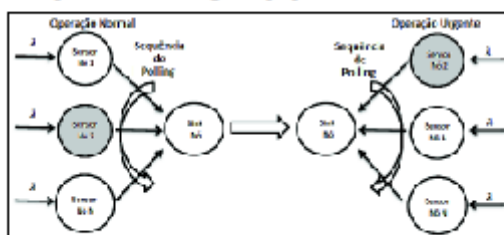


Figura 2. Polling Flexível.

A análise teórica feita em [15] considerou dois casos. No primeiro caso, a análise do caso normal considerou buffer único e infinito em cada um dos nós sensores e a disciplina de atendimento foi exaustiva. No segundo caso, considerou-se um buffer infinito e uma ordem de prioridade para todos os nós sensores, e a disciplina de atendimento foi feita de nós mais prioritários para os menos prioritários.

#### IV. PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

O *polling* exaustivo aplicado em um buffer ilimitado funciona da seguinte forma: o nó sink interroga os nós sensores seguindo uma sequência pré-definida (*polling*); caso o nó sensor tenha pacotes na fila de espera todos eles são transmitidos. Quando esses pacotes estão sendo transmitidos e chegam novos pacotes, eles serão transmitidos, esvaziando por completo o buffer. Caso não tenha mais pacotes na fila, o nó sink muda de sensor e repete o processo de investigação obedecendo a sequência de *polling* até completar o ciclo, este processo é repetido indefinidamente. Quando o buffer é limitado, a fila de espera em cada nó sensor passa a ter um tamanho limitado para acomodar os pacotes que chegam e caso este espaço fique cheio, os pacotes excedentes que chegarem ao nó sensor mesmo durante o tempo de serviço serão descartados. Para a simulação do esquema de acesso baseado em *polling* exaustivo, foram utilizados os seguintes parâmetros: o número de nós sensores,  $M$ , a capacidade do canal,  $R$ , e o comprimento médio de pacote,  $E\{X\}$ . A intensidade de tráfego ou carga,  $S$ , é definida em (1),

$$S = \frac{M \cdot E\{X\}}{R} \quad (1)$$

onde  $\lambda$  representa a taxa média de pacotes que chegam ao sistema.

O processo de simulação se resume em três partes:

- A primeira etapa da simulação é gerar a matriz de instantes de tempos de chegadas aleatórias, simulando o tempo de chegada de pacotes em cada nó sensor, obedecendo a uma distribuição exponencial negativa com uma média  $1/\lambda$ . A expressão (2) foi utilizada para geração desses instantes de tempos aleatórios,

$$T_{chegada} = -\frac{\ln x}{\lambda} \quad (2)$$

onde  $\ln$  é o logaritmo neperiano e  $x$  é um número aleatório entre 0 e 1 obtido pela função  $\text{rand}(x)$  do MatLab.

- A segunda etapa é percorrer a matriz, para calcular os dados estatísticos. Como o serviço é exaustivo, ou seja, quando um nó está sendo interrogado, todos os pacotes que estão no buffer são servidos incluindo aqueles que chegam durante o tempo de atendimento do pacote. Assim, são calculadas as médias de tempo de espera, a perda de pacotes, a taxa  $\lambda$  efetiva, a média do tempo de ciclo de *polling* e as quantidades de pacotes atendidas por ciclo.
- A terceira etapa é plotar os gráficos dos parâmetros que foram calculados e realizar as análises de desempenho entre os cenários simulados.

Para analisar o comportamento de uma WBAN apresentada na Figura 1, são feitas análises e comparações de dados coletados de 5 cenários diferentes. O objetivo é analisar a perda de pacotes e o tempo de espera na fila dos nós sensores usando a técnica de *polling* exaustivo. Na Tabela 1 listamos os parâmetros utilizados nas simulações.

TABELA 1. PARÂMETROS DOS CENÁRIOS

Cenário	Tam. do Buffer	Qtz. de Sensores "S"	Int. de Tráfego "s"	Tam. Pacote E (z) bits	Link "R" Kbit/s	Tempo de Serviço (ms)	Temp. de Sinc. (ms)	Tempo de Mudança de Sensor (ms)
Cenário 1	1	10, 20, e 30	0,1-0,9	900	20	45	2	4,5
Cenário 2	3	10, 20 e 30	0,1-0,9	900	20	45	2	4,5
Cenário 3	5	10, 20 e 30	0,1-0,9	900	20	45	2	4,5
Cenário 4	10	10, 20 e 30	0,1-0,9	900	20	45	2	4,5
Cenário 5	13	10, 20 e 30	0,1-0,9	900	20	45	2	4,5

Cada fonte foi simulada com 50.000 pacotes, e os tamanhos dos buffers usados são de 1, 3, 5, 10 e 13 posição(s). A escolha destes valores é justificada pelo fato de os nós terem pouca capacidade de memória. Os grupos de sensores variam entre 10, 20 e 30 sensores.

Na Figura 3(a) temos o tempo médio de transferência (definido como tempo médio de espera no buffer mais o tempo médio de transmissão) dos pacotes para número de sensores iguais a  $M=10$ ,  $M=20$  e  $M=30$  sensores. Para os três grupos de sensores, o buffer neste caso tem tamanho 1. Os tempos de espera mínimo para o grupo de 10 sensores é de cerca de 81ms e o máximo é de cerca de 123ms; para o grupo de 20 sensores os tempos são 127ms e 223ms respectivamente e para o grupo de 30 sensores são 153ms e 323ms. Estes resultados estão bem próximos daqueles apresentados teoricamente em [15].

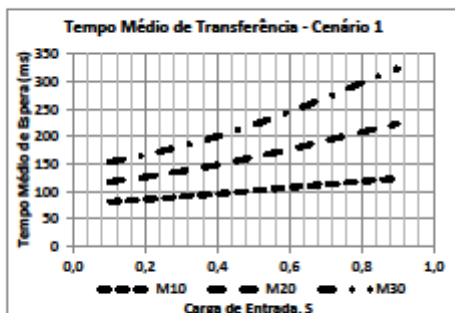


Figura 3(a). Tempo médio de transferência para cenário 1.

Na Figura 3(b) são mostradas as curvas de perdas de pacotes, para os três grupos de sensores. Os valores mínimos são 1,80%, 1,31% e 1,13% e os valores máximos são 24,74%, 22,38% e 21,52% respectivamente para os grupos de 10, 20 e 30 sensores.

Neste primeiro cenário, os buffers dos nós sensores têm apenas uma posição, os tempos de transferência têm variações pequenas para os três grupos, entretanto, as curvas de perda de pacotes já apresentam um crescimento mais acentuado, pois com o aumento da carga aumenta a perda de pacotes. No segundo cenário, com o tamanho do buffer igual a 3 posições, observa-se um aumento dos tempos de transferência a partir da carga  $S=0,6$  como mostra a Figura 4(a).

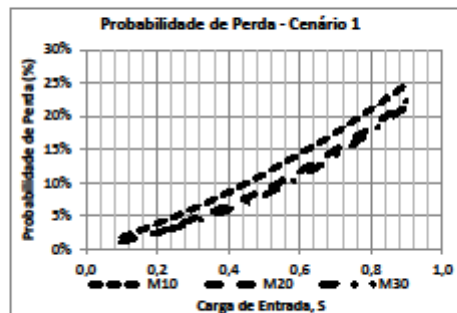


Figura 3(b). Probabilidade de perdas para cenário 1.

As curvas passam a ter um crescimento rápido, principalmente para  $M=20$  e  $M=30$ . Os valores mínimos obtidos foram 83ms, 119ms e 155ms, e os valores máximos foram 319ms, 579ms e 835ms, respectivamente para grupos de sensores  $M=10$ ,  $M=20$  e  $M=30$

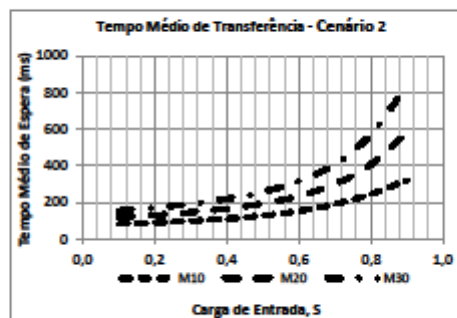


Figura 4(a). Tempo médio de transferência para cenário 2.

Na Figura 4(b), a partir da carga  $S=0,6$ , há um aumento sensível nas perdas porém, os valores são aceitáveis com valores mínimos de 0,25%, 0,12% e 0,09% e picos máximos de 4,65%, 3,73% e 3,36%, para grupos de sensores  $M=10$ ,  $M=20$  e  $M=30$ , respectivamente.

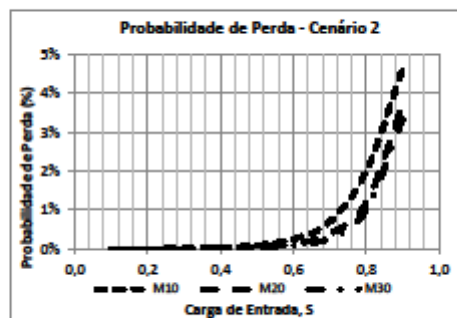


Figura 4(b). Probabilidade de perda para cenário 2.

Para o terceiro cenário em que o tamanho do buffer é de 5 posições, a Figura 5(a) mostra que os valores mínimos do tempo de transferência se mantiveram constantes para os grupos de sensores  $M=10$ ,  $M=20$  e  $M=30$ . Já os valores de máximos tiveram variações consideráveis para  $M=20$  e  $M=30$ , alcançando picos de 773ms e 1091ms respectivamente.

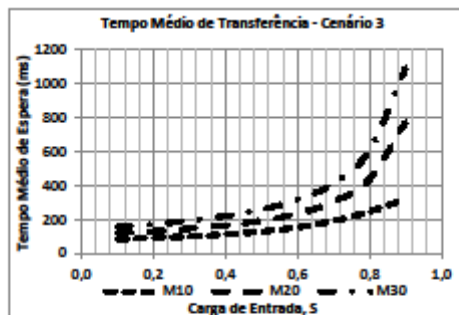


Figura 5(a). Tempo médio de transferência para cenário 3.

Já na Figura 5(b) os comportamentos das curvas de perdas de pacotes ficam alteradas; para os grupos de sensores  $M=20$  e  $M=30$  as perdas são baixíssimas ficando abaixo de 1%, os valores exatos são 0,74% e 0,54% respectivamente. Para  $M=10$  as perdas se mantiveram iguais ao cenário 2 apresentando pico de 4,65%.

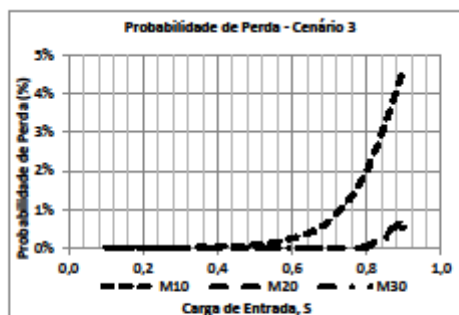


Figura 5(b). Probabilidade de perda para cenário 3.

No quarto cenário, em que o tamanho do buffer é igual a 10 posições, nota-se pela Figura 6(a) que para valores abaixo de  $S=0,6$  o sistema se mantém estável, com pouca variação no tempo de transferência, porém ao ultrapassar esse ponto, os tempos de transferência disparam; os valores mínimos se mantêm iguais aos cenários anteriores, assim pode-se dizer que acima de  $S=0,6$  há uma instabilidade no sistema.

Com relação a Figura 6(b), as perdas foram ainda menores, fato justificado pelo aumento do tamanho do buffer. As perdas ficaram abaixo de 1% para os grupos de sensores  $M=10$  e  $M=20$ , alcançando picos de 0,05% e 0,01% respectivamente.

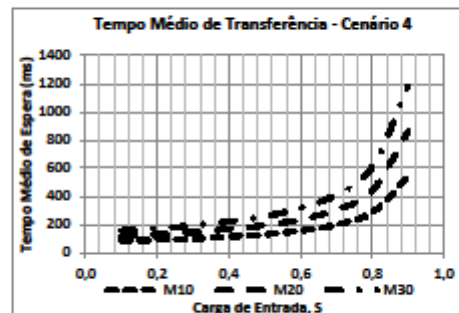


Figura 6(a). Tempo médio de transferência para cenário 4.

Já para o grupo de sensores  $M=30$ , observou-se 0,0% de perda. Isso demonstra que sensores com buffer de 10 posições já atendem os requisitos de perdas inferiores a 1% para todos os sensores.

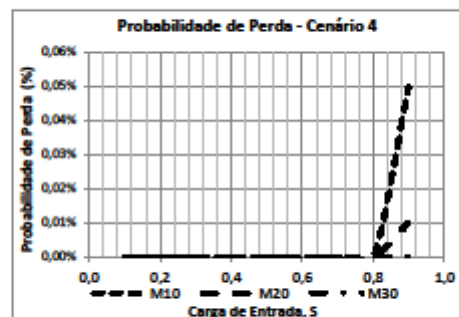


Figura 6(b). Probabilidade de perda para cenário 4.

No quinto cenário simulado o tamanho do buffer é de 13 posições e neste cenário com base nos valores das curvas apresentados nas Figuras 7(a) e 7(b), pode-se concluir que esta configuração é ótima para o cenário proposto com os parâmetros adotados, pois não apresentam perdas em nenhum dos grupos de sensores.

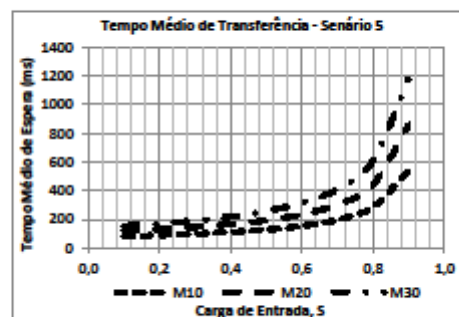


Figura 7(a). Tempo médio de transferência para cenário 5.

As variações de tempo de transferência também continuam análogas aos cenários anteriores, porém apenas após o ponto  $S=0,6$  onde se inicia a observar a instabilidade, os tempos de espera disparam. Os valores mínimos são 83ms, 119ms e 155ms e os valores máximos de 530ms, 862ms e 1178ms para os grupos de  $M=10$ ,  $M=20$  e  $M=30$ , respectivamente. Este cenário representa a situação de buffer infinito, em que não há perda, e pode ser utilizado para a WBAN com buffer de apenas 13 posições para economizar energia.

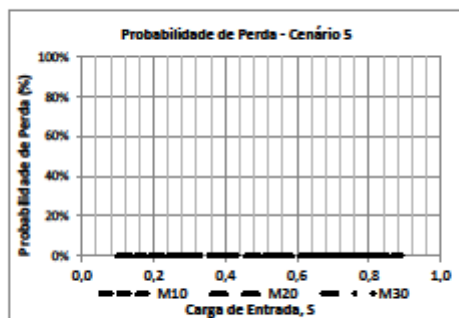


Figura 7(b). Probabilidade da perda para cenário 5.

## V. CONCLUSÕES

Neste artigo, foi estudado um esquema de acesso baseado em *polling* exaustivo para Rede Corporal de Sensores sem Fio (WBAN) através da simulação computacional. Foi estudada a influência do tamanho de buffer dos sensores nos tempos de transferência de pacotes e na perda de pacotes de uma WBAN baseada em *polling* exaustivo. O simulador foi desenvolvido em MatLab e os resultados obtidos foram comparados, inicialmente, com os resultados teóricos apresentados em [15] para buffer de uma posição e de infinitas posições. Nestes casos, as curvas obtidas por simulação ficaram bem próximas das teóricas, validando, dessa forma, os modelos matemáticos teóricos. Outros casos foram estudados, considerando três grupos de sensores com 10, 20 e 30, e os buffers limitados em 3, 5, 10 e 13 posições. Com buffer de uma posição o sistema apresentou grandes perdas de pacotes que variaram entre 2% a 24%, e os tempos de transferência entre 81ms a 323ms.

À medida que o tamanho do buffer aumentou, as curvas foram se modificando e ficou claro que para cargas do sistema inferiores a  $S=0,6$ , o sistema se comporta de maneira estável, pois a quantidade de perdas e as variações dos tempos de transferência são aceitáveis, porém quando a carga ultrapassa este ponto, a perda dos pacotes e as variações dos tempos de transferência disparam. Assim podemos concluir que até  $S=0,6$  temos estabilidade e o sistema é mais eficiente. Outra informação obtida foi que com o buffer de tamanho 13 o sistema se comporta com as mesmas características que se tivesse buffer infinito, com esses valores o sistema não apresenta mais perdas de pacotes. Para trabalho futuro, será estudado um outro esquema de operação emergencial. Nesse esquema, os sensores serão divididos em grupos e cada grupo receberá um peso. Os grupos de maiores pesos terão maiores prioridades, e serão interrogados com uma frequência maior, assim, assegurando que

os sensores responsáveis por coletar os dados de maior importância terão maiores prioridades.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- [1] B. Latré, B. Braem, I. Moerman, C. Blondia and P. Demeester, "A survey on wireless body area networks," *Wireless Networks*, Volume 17 Issue 1, January, 2011, Kluwer Academic Publishers Hingham, MA, USA.
- [2] B. Otal, L. Alonso and C. Verikoukis, "Towards energy saving wireless body sensor networks," in *Health Care Systems Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC 2010), Second International Workshop on Medical Applications Networking (MAN 2010)*, Capetown, South Africa, 2010.
- [3] Z. Yan and B. Liu, "A context aware MAC protocol for medical wireless body area network," in *Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, 2011 7th International, pp. 2133-2138.
- [4] B. Liu, Z. Yan and C. W. Chen, "CA-MAC: A Hybrid context-aware MAC protocol for wireless body area networks," in *13th IEEE International Conference on e-Health Networking Applications and Services (Healthcom)*, 2011, pp. 213-216.
- [5] X. Zhu, S. Han, P. Huang, A.K. Mok and D. Chan, "MBStar: a real-time communication protocol for wireless body area networks," in *23rd EuroMicro Conference on Real-Time Systems (ECRTS)*, 2011, pp. 57-66.
- [6] Y. Tsilichchev, "Designing a medium access control protocol for body area networks," in *IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM)*, 2011.
- [7] L.M. Borges, F. J. Velez and A.S. Lebrun, "Performance evaluation of the schedule channel *polling* MAC protocol applied to health monitoring in the context of IEEE 802.15.4," in *11th European Wireless Conference - Sustainable Wireless Technologies (European Wireless)*, 2011, pp. 94-101.
- [8] L. Huaming and T. Jindong, "Heartbeat-driven medium-access control for body sensor networks," *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, Vol. 14, No. 1, January 2010, pp. 44-51.
- [9] K. A. Ali, J.H. Sarker and H.T. Moufah, "Urgency-based MAC protocol for wireless sensor body area networks," in *IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC)*, 2010.
- [10] A. A. Khaled, H. S. Jahangir and T. H. Moufah, "QoS-based MAC protocol for medical wireless body area sensor networks," in *IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, 2010, pp. 216-221.
- [11] S. Marinkovic, C. Spagnol and E. Popovici, "Energy-efficient TDMA-based MAC protocol for wireless body area networks," in *Third International Conference on Sensor Technologies and Applications*, 2009. SENSORCOMM 09, pp. 604-609.
- [12] G. Fang, E. Dutkiewicz, "BodyMAC: energy efficient TDMA-based MAC protocol for wireless body area networks," in *9th International Symposium on Communications and Information Technology*, 2009. ISCT 2009, pp. 1455-1459.
- [13] S. S. Oliveira and S. Motoyama, "Applications oriented medium access control protocols for wireless sensor networks," *IEEE Latin America Transactions*, v. 7, Issue 5, 2009, pp. 586-593.
- [14] K. S. Kwak, S. Ullah and N. Ullah, "An overview of IEEE 802.15.6 standard," in *ISABEL*, 2010, Rome, Italy.
- [15] S. Motoyama, "Flexible *polling*-based scheduling with QoS capability for Wireless Body Sensor Network" in *Local Computer Networks Workshops (LCN Workshops)*, 2012 IEEE 37th Conference, pp. 745-752.
- [16] T.A. Paneto, L. F. Rafatti and S. Motoyama, "Polling-based Medium Access Control Scheme for Wireless Body Sensor Network" in *International Conference on Wireless Networks - ICWN-12*, 2012, Las Vegas, pp. 87-93.
- [17] W. Ye, J. Heidemann and D. Estrin, "An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Communication*, pp.1567-1576, USC/Information Sciences Institute, New York, USA, 2002.
- [18] Motoyama, "Hierarchical Polling-based MAC scheme for Wireless Body Sensor Network" in *International Conference on Wireless Networks - ICWN-13*, 2013, Las Vegas, pp. 103-109. Acesso em: 2 set. 2014.

## APÊNDICE II – ARTIGO PUBLICADO NO CBMS'2015

28th IEEE International Symposium on  
 Computer-Based Medical Systems  
 June 22<sup>nd</sup> – 25<sup>th</sup>  
 São Carlos and Ribeirão Preto - Brazil

**RECEIPT IEEE CBMS 2015**

**Registrant ID:** 46  
 Mr. Gomes, Manoel

**Email:** [manoel.gomes@plc.ifmt.edu.br](mailto:manoel.gomes@plc.ifmt.edu.br)

**Institution:** IFMT

**Phone:** +556593016062

**City:** Várzea Grande

**Country:** Brasil


**Registration date:** 08-April-2015-21:58


**Non-Member Fee:** \$625

**Paper number:** 146

**Amount:** 625.00 USD

**Paid in Full:** YES  
**Idpayment:** br10r46

  
 Agma Juci Machado Traina, PhD  
 CBMS 2015 General Chair  
 Full Professor  
 Dept. of Computer Science  
 University of Sao Paulo at Sao Carlos - ICMC-USP  
 Av. do Trabalhador Sao carlense, 400  
 13566-590 - São Carlos, BRAZIL  
 Phone: +55-16-3373-9674

  
 Paulo M. de Azevedo Marques - PhD  
 CBMS 2015 Finance Chair  
 Associate Professor  
 Ribeirao Preto Medical School  
 University of Sao Paulo  
 Av. dos Bandeirantes, 3900  
 14049-900, Ribeirão Preto, BRAZIL  
 Phone: + 55-16-3602-2647

# PERFORMANCE ANALYSIS OF AN ACCESS SCHEME BASED ON WEIGHTED POLLING FOR WBAN

Manoel Pontes Gomes  
Federal Institute of Education Science and Technology  
IFMT-MT  
Cuiabá, MT, Brasil.  
manoel.gomes@plc.ifmt.edu.br

Shusaburo Motoyama  
Faculty of Campo Limpo Paulista  
FACCAMP  
Campo Limpo Paulista, SP, Brasil  
shumotoyama@gmail.com

*Abstract – A weighted polling access scheme for Wireless Body Sensor Network (WBAN) is proposed in this paper. In this scheme the sensor nodes are divided into groups and each group has a weight. Each sensor node of each group can transmit packets up to the value of weight, thus limiting the number of packet transmission per sensor node. The performance of proposed access scheme is analysed by simulation using MatLab software tool and compared to the access scheme presented in [15], in which the highest priority sensor node can transmit first all packets stored in its buffer, leaving some lower priority sensor nodes without service or none packet transmission. The simulation results showed that proposed weighted polling access scheme is better than total priority scheme when packet transfer times are compared.*

*Index terms: performance, weighted polling, simulation, WBAN.*

## I. INTRODUCTION

The wireless sensor networks (WSNs) are composed of a large amount of sensor nodes that execute diverse tasks cooperatively. A sensor node is composed of a small radio (transmitter and receptor), a battery and a processor. This type of network has been the object of intense researches because of its application in different fields, such as environment monitoring, robotics and medical areas.

In the medical area, one of WSNs applications is named Wireless Body Area Network (WBAN). Its main aim is to monitor and control all vital signals of a human body. In a WBAN, the sensors are placed in many parts of the body, including under the skin which it becomes difficult to either recharge the battery of a sensor or replace it, thus the system has to work in an efficient energy consumption mode.

The process which consumes more energy in a WBAN is the communication. Another difficult is that the sensors placed under skin can use the human body as a transmission medium which is very noisy channel and has high loss [1]. The data collected by the sensors are medical, thus they need real time processing and high reliability. The data are also private and confidential, and they demand some sort of cryptography. One of the most important facts for a good WBAN performance is the project of Medium Access Control (MAC). A good project of a MAC for WBAN must

satisfy the requirements of efficiency, collision avoidance and low packet loss, which will minimize retransmissions and consequently will save energy.

Many MAC schemes for WBAN have been proposed in the literature [2-18]. Most of them are based on TDMA technique which needs the periodic synchronization [3], [4], [6], [8], [11], [12] and [13]. Some are based on polling technique which uses a predefined sequence to investigate the sensors to collect the data [15], [16] and [17].

A scheme using the polling access technique named flexible polling for WBAN was proposed in [15]. There are two types of operation in this scheme: the normal and urgent. In normal operation the sensor nodes are investigated one by one, in a predefined sequence. In the urgent operation the sensor nodes are classified in sequence of priorities and the highest priority sensor node has the total priority and when a packet arrives in this sensor node, the packet is transmitted before others packets. The second higher priority sensor node can transmit if there is no packet in the highest priority sensor node. The third higher priority sensor node can transmit if there are no packets in the first and second higher sensor nodes, and so on. In [15] the urgent operation was analysed theoretically, and showed that the flexible polling system can be efficient for WBAN application. However, the analysis also showed that total priority scheme can leave some sensor nodes without service, that is, none packet is transmitted from the lower priority sensor nodes.

To improve this drawback of flexible polling scheme, a MAC scheme named weighted polling for WBAN is proposed in this paper. In this scheme, the sensor nodes are divided into groups and each group has a weight, meaning that each sensor node can transmit the packets, at most, equal to the weight of the group, in a cycle. Thus, different of total priority, in this case there is a limit that the sensor nodes can transmit packets in a cycle of polling. This paper is divided into five sections. The main concepts of a WBAN are presented in the second section. The related works are discussed in the third section. In the fourth section, the parameters used in the simulation and the analysis of results are presented. Finally, in last section, the main conclusions are presented.

## II. THE MAIN CONCEPTS OF A WBAN NETWORK.

The WBAN is composed of many different biological sensors, which collect vital information from the human body. Due to their small dimensions, the sensor nodes have limitations in data processing, communication and energy resource. The main function of a WBAN is to monitor human body activities, in special patients with a fragile health or patients with some kind of limitations. Thus, a WBAN provides remote monitoring called e-Health [1].

The WBAN allows also continuous physiological monitoring, regardless patient location: at hospital, at home or performing any other activity. Figure 1 shows how the vitals signals can be collected by WBAN technology. The sensors are spread over the head, chest and inferior members. The topology adopted to collect data from the sensors is the star configuration. The collected data are sent to the central node denoted sink node which is also responsible for forwarding to a gateway and, afterwards, to an external network. The data collected by a WBAN can be reached by the emergency team on the ambulance, or a medical team in a hospital. Both teams can activate the emergency services and consequently, the patient own doctor. Thus, this patient can experience a new medical assistance modality (e-Health) [1].

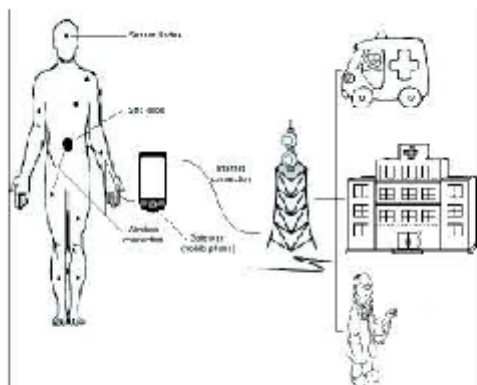


Figure 1. WBAN OPERATON.

The adopted star topology is the most adequate configuration because the sensor nodes are not far from sink node, less than 2 m, and the sink node can be quickly replaced in case of failure. Another important fact is that the sensors may be placed under the skin and the human body will directly influence data transmission, because the skin absorbs part of the radio waves. Thus, the location of sink node could be as close as the sensor nodes, may be placed in a belt attached to the patient body.

The star topology is also convenient for organization of medium control access (MAC) for data transmission of sensors. Different from random access technique in which

each node transmits packets randomly, so that collision of packets may occur, spending energy for retransmission, in the star topology the sink node can organize the access, avoiding collisions.

## III. RELATED WORK

Many MAC protocol schemes for WBAN have been proposed in literature [2-16]. Some proposals [5], [7] and [9] are based on the standard 802.15.4, which provides a low-energy consume [1]. However, it has been pointed out some drawbacks [2] because this standard was not designed to be applied in a WBAN. Others use the access technique TDMA (Time Division Multiple Access) [3], [4], [6], [8], [11], [12] and [13]. Each proposal exploits a special characteristic based on medical necessity. For example in [3-4], in order to deal with light and heavy loads, whether in normal or urgent situations, it is proposed a MAC system sensible to the context. In order to guarantee the QoS of a WBAN, a MAC protocol based on the random access technique is proposed in [10]. In [8], the heartbeat is used to synchronize the clock.

Recently, the standard 802.15.6 has been proposed to the WBAN [14]. This standard has three operations: Beacon mode with superframe boundaries limited by Beacon, Non-Beacon mode with superframe boundaries and Non-Beacon without a boundaries of superframe [14]. The Beacon mode is designed for medical and non-medical applications and is the object of main standardization. The standard 802.15.6 is concerned with general lines and not a determined type of access. Thus, many types of access proposed can fit this standard.

The Non-Beacon mode without a superframe boundary has been less exploited in literature. In [15] and [16] it has been proposed MAC schemes by using this mode. Both proposals are based on polling access scheme, which avoids the necessity of a periodic synchronization. In [15] it was proposed a flexible polling scheme that changes the operation from normal to urgent in case of emergency. In [16], the polling system is analysed by using a more realistic node sensor for a WBAN through a computer simulation. In [11], a MAC scheme using a hierarchical topology based on the TDMA technique is proposed for WBAN. The access scheme proposed in [17] also contains hierarchical topology, but it is based on polling instead of TDMA.

Since the access scheme proposed in this paper is the improvement of presented in [15], the scheme called flexible polling is now better explained. The operation of access scheme is presented in Figure 2. The scheme operates with two modes: normal and urgent. Initially, all sensors are classified as normal, and the sensors are polled in a predefined sequence, transmitting the packets exhaustively, and one sensor at time. However, when the demands from the sensor nodes increase, the operation is changed to urgent mode. In this mode, the sensors are organized from highest to lowest priorities. The highest priority sensor node receives

total priority and any packet arriving in this node is transmitted first. The second higher priority sensor node is served only if there are no packets in the highest sensor node. The third higher sensor node is served only if the two higher sensor nodes have no packets to transmit, and so on for other lower priority sensor nodes.

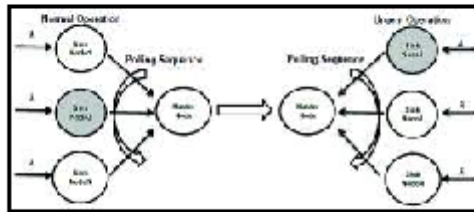


Figure 2. Flexible Polling.

The theoretical analysis carried out in [15] showed that the flexible access scheme can keep packet transfer time very low, guaranteeing packet transfer in almost real time. However, it also showed that for urgent mode the packet transfer times for lower priority sensor nodes can be large, and depending on the load may be not served at all.

To not penalize too much the lower priority sensor nodes, a different approach for the urgent mode is proposed in this paper. Instead of giving total priority to the higher sensor nodes, in this approach the sensor nodes are divided into groups, and each group has a weight, meaning that the group that has higher weight can transmit more packets when is polled in a cycle. For instance, the group with weight  $p = 3$  can transmit up to 3 packets in a cycle. The theoretical analysis using queueing theory to study the proposed weighted polling scheme is difficult because besides the priority scheme, it is necessary to consider the limited packet transmission. Thus, the study will be carried out by simulation using MatLab software tool.

#### IV. SIMULATION PARAMETER AND RESULT ANALYSIS

For a simulation of access scheme based on weighted exhaustive polling technique the following parameters are used. The number of sensor nodes is  $M$ , the channel capacity is  $R$ , and the average length of a packet is given by  $E\{X\}$ . The traffic intensity or load,  $S$ , is defined as

$$S = \frac{M\lambda E\{X\}}{R} \quad (1)$$

where  $\lambda$  represents the average rate of packets arriving to the system.

The simulation process is divided into three steps:

- The first step is to generate the arrival times of the packets in each sensor node, obeying a negative exponential distribution with an average of  $1/\lambda$ , keeping them in a matrix of numbers. The Equation (2) is used to generate instants of random times of arrivals.

$$T_{arrival} = -\frac{\ln x}{\lambda} \quad (2)$$

Where  $x$  is the random number between 0 and 1.

- The second step is the analysis of the matrix of arrival times. In sequence determined by proposed weighted polling all necessary data statistics are calculated. As the service is exhaustive, which means that when a node is being polled, all the packets in a buffer are served, including those arriving during a packet transmission. The data statistics are stored in the correspondent variable that will be used to calculate the average packet transfer times.
- The third step is to plot the parameters in graphs and the performance analysis of simulated scenarios is carried out.

For simulation the following values are used. The number of sensor node  $M$  is 10, 20 or 30; the link capacity  $R$  is 20 kbits/sec; the packet length  $E\{X\}$  is 900 bits; synchronization time (time to synchronize the packets in a sensor node) is 2 ms and the walk time (time to change the sensor node for polling) is 4.5 ms. The packet transmission time (time to serve a packet) can be calculated as  $900 / 20 \text{ k} = 45 \text{ ms}$ .

These parameter values are same of presented in [15] and are used for comparison purposes. Three scenarios are simulated. The simulated scenarios are different only in number of sensor nodes, keeping the same the other parameters presented above. The infinite buffer size is provided in each sensor node. Table 1 summarizes the three scenarios.

Table 1. Parameters of scenarios for simulation.

Scenario	Sensor Number $M$	Traffic Load $S$	Packet Size $E\{X\}$ bits	Link Rate $R$ Kbit/s	Serve Time ms	Synchro Time ms	Walk Time ms
Scenario 1	10	0,1-0,9	900	20	45	2	4,5
Scenario 2	20	0,1-0,9	900	20	45	2	4,5
Scenario 3	30	0,1-0,9	900	20	45	2	4,5

In the proposed weighted exhaustive polling access scheme, the non-preemptive service is also used, that is, the packet being served is not interrupted when a packet with a higher priority arrives to a node. The packet transmission is finalized and then the packet with higher priority is served.

The following numbers of sensor nodes classified for weights are used in each group.

For  $M = 10$ , the numbers of sensor nodes in each group are 3, 3 and 4, for sets of weights 3, 2 and 1, and 5, 3 and 1 respectively. For  $M = 20$ , the numbers of sensor nodes in each group are 6, 6 and 8 for sets of weights 3, 2 and 1, and 5, 3 and 1, respectively. For  $M = 30$ , the numbers of sensor nodes in each group are 10, 10 and 10.

In each sensor node, 50,000 packets are generated.

*A. Analysis of Results*

Figure 3 shows the results obtained for the simulation of 10 sensor nodes using the weighted polling access scheme, considering the weights 3, 2 and 1. It can be observed that for values of  $S$  equal or smaller than  $S=0.7$  the packet transfer times, for any group, are all lower than 100ms.

The groups with medium and high priority can be lower than 80 ms. However, for  $S$  greater than 0.8 the transfer times of low-priority group start to increase exponentially. On the other hand, the transfer times, for groups with medium or high priority, stay stable reaching less than 200ms.

In comparison of results obtained in [15] for the same parameters, as shown in Figure 4, the curves show less drastic for the weighted polling access scheme proposed in this paper.

The behaviour of curves in both cases are similar, however in the case of weighted polling, the transfer times of three groups keep almost same up to  $S = 0.7$ , less than 100 ms, but for total priority, as shown in Figure 7, the polling system is already in region of unstable condition for lower priority sensors nodes. For  $S = 0.8$ , the weighted polling is starting the unstable region for lower priority group, but the total priority polling is already in unstable region.

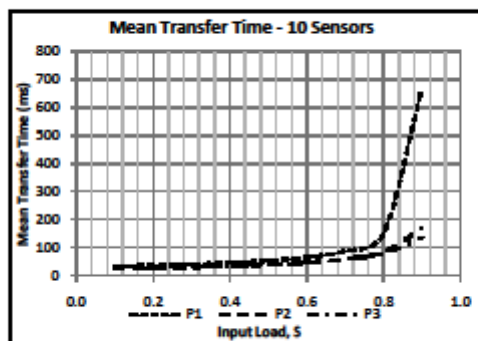


Figure 3. Transfer Times for  $P1=1, P2=2, P3=3$  and  $M=10$ .

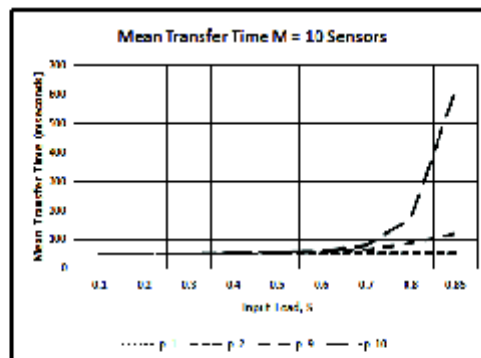


Figure 4. Transfer Times presented in [15] for  $M=10$

Figure 5 shows the results for scenario 2 with  $M = 20$  and weights 3, 2 and 1. There is an increase in the transfer time. However, the transfer time remains below 100ms until  $S=0.6$ . For  $S=0.6$  up to  $S=0.8$  the values increase for group with lower priority, almost doubling, and for groups of medium and high priorities, there is an increase of 50%, approximately, when the load is about  $S=0.9$ .

Figure 6 shows the results obtained in [15] for  $M = 20$ . The same conclusions can be obtained as before, for  $M = 10$ , if the Figures 5 and 6 are compared. The improvement using weighted polling is very noticeable compared to total priority.

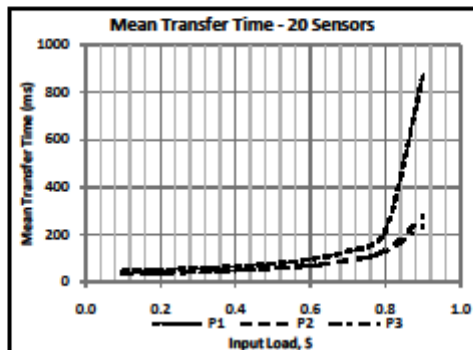


Figure 5. Transfer times for  $P1=1, P2=2, P3=3$  and  $M=20$ .

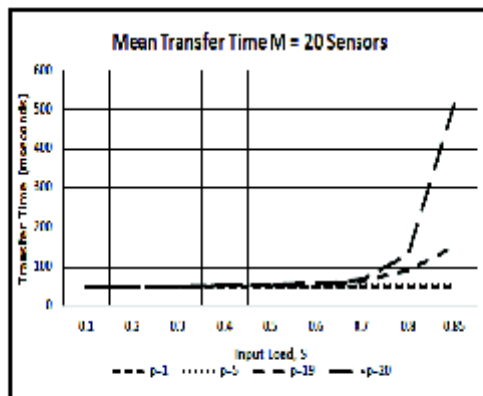


Figure 6. Transfer times presented in [15] for M=20.

Figure 7 shows the third scenario, for M= 30 and weights 3, 2 and 1. It can be noticed that for S=0.6 the transfer times for three groups are already above 100ms.

For S=0.6 up to S=0.8 the transfer times double for all groups and the transfer times are very close among groups. The system presents instability for S greater than 0.8. For S=0.9 the transfer time of lower priority reach 931ms. On the other hand, for medium and highest priority groups the transfer times are 436 ms and 376 ms, respectively.

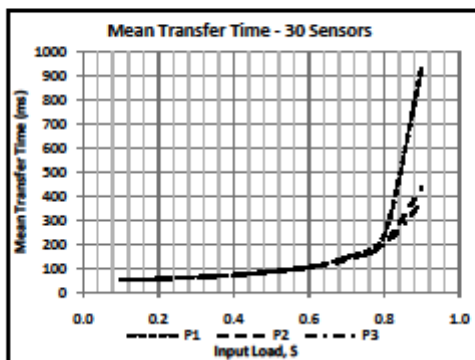


Figure 7. Transfer times P1=1, P2=2, P3=3 and M=30.

To study the influence of different weights in the polling system, the weights are changed for P1 = 1, P2 = 3 and P3 = 5 and the three scenarios were simulated again. Figure 8 shows the results for M=10.

It is observed that the transfer times until S=0.7 stay below 100ms for the three groups. For S=0.7 up to S=0.8 the transfer times increase, however, stay below 200ms. For S greater than 0.8 the polling system for lower priority group is becoming unstable. For instance, for S=0.9, the transfer time

of lowest priority group is 669ms, and for medium and highest priority groups are 168 ms and 133 ms, respectively. There is no much variation when compared to the Figure 3 with weights P1 = 1, P2 = 2 and P3 = 3.

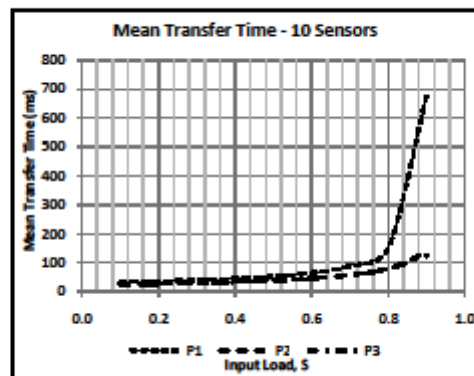


Figure 8. Transfer Times P1=1, P2=3, P3=5 and M=10.

Figure 9 shows the results for M=20. The transfer times for S=0.6 stay below 100 ms; between S=0.6 and S=0.8 the transfer time for lowest priority group is doubled. For medium and highest priority groups there is a small increase, but in all cases the transfer times are below 200ms. After S = 0.9 the behaviour is the same when compared to Figure 5.

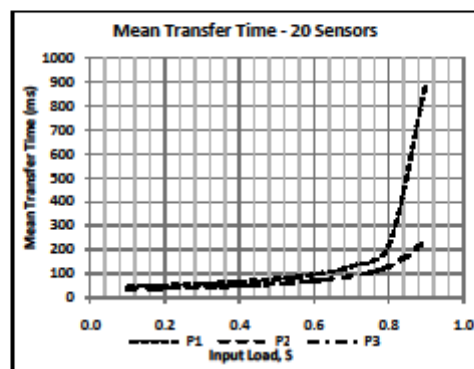


Figure 9. Transfer Times for P1=1, P2=3, P3=5 and M=20.

Figure 10 shows the results for third scenario, with M=30. For S=0.8, the transfer times are below 200 ms for all groups, a reasonable value for WBAN working almost in real time.

For values higher than S=0.8, the polling system is becoming unstable. For lowest priority group the transfer time reaches 952 ms for S = 0.9, and for medium and highest priority groups are 379 ms and 376 ms, respectively.

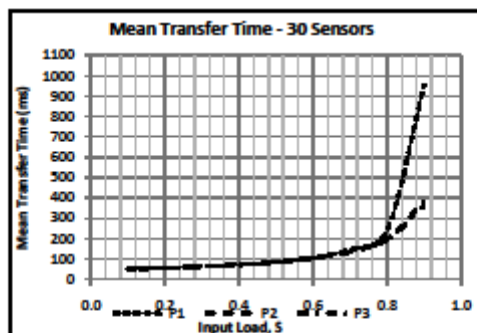


Figure 13. Transfer Times for  $P1=1$ ,  $P2=3$ ,  $P3=5$  and  $M=30$ .

The comparison of results obtained for two different types of weights,  $P1=1$ ,  $P2=2$  and  $P3=3$ , and  $P1=1$ ,  $P2=3$  and  $P3=5$ , considering different scenarios, showed that the transfer times are not much different. However, the results when compared to the total priority presented in [15] are very noticeable, showing the improvement of the proposed weighted polling access scheme.

#### V. CONCLUSION

A weighted polling-based access scheme for WBAN was proposed in this paper. The proposed access scheme divides the sensor nodes into groups and each group has different weights. The group that has highest weight has the highest priority in the access scheme to guarantee the QoS for urgent data of sensor nodes. The group that has lowest weight has the lowest priority for sensor nodes collecting normal data. The results obtained by simulation showed that the proposed weighted polling access scheme is better than the scheme based on total priority presented in [15]. The results also showed that the change of weights from  $P1=1$ ,  $P2=2$  and  $P3=3$  to  $P1=1$ ,  $P2=3$  and  $P3=5$  has not much influence in packet transfer times, keeping almost same behaviour in both cases. It can be concluded that the weighted polling access scheme is more balanced than total priority scheme, avoiding the problem of starvation or sensor nodes without being served. In future work, an access scheme based on polling in which some sensors are classified as highest priority and others remaining as normal will be studied. Furthermore, some practical experiments with real data using proposed weighted polling access scheme will be implemented.

#### REFERENCES

- [1] B. Latré, B. Braem, I. Moerman, C. Blondia and P. Demeester, "A survey on wireless body area networks," *Wireless Networks*, Volume 17 Issue 1, January, 2011, Kluwer Academic Publishers Hingham, MA, USA.
- [2] B. Otal, L. Alonso and C. Verikoukis, "Towards energy saving wireless body sensor networks," in *Health Care Systems* Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC 2010), Second International Workshop on Medical Applications Networking (MAN 2010), Capetown, South Africa, 2010.
- [3] Z. Yan and B. Liu, "A context aware MAC protocol for medical wireless body area network," in *Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, 2011 7th International, pp. 2133-2138.
- [4] B. Liu, Z. Yan and C. W. Chen, "CA-MAC: A Hybrid context-aware MAC protocol for wireless body area networks," in *13th IEEE International Conference on e-Health Networking Applications and Services (Healthcom)*, 2011, pp. 213-216.
- [5] X. Zhu, S. Han, P. Huang, A.K. Mok and D. Chen, "MBStar: a real-time communication protocol for wireless body area networks," in *23rd Euromicro Conference on Real-Time Systems (ECRTS)*, 2011, pp. 57-66.
- [6] Y. Tselishchev, "Designing a medium access control protocol for body area networks," in *IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM)*, 2011.
- [7] L. M. Borges, F. J. Velez and A.S. Lebrés, "Performance evaluation of the schedule channel polling MAC protocol applied to health monitoring in the context of IEEE 802.15.4," in *11th European Wireless Conference - Sustainable Wireless Technologies (European Wireless)*, 2011, pp. 94-101.
- [8] L. Huaming and T. Jindong, "Heartbeat-driven medium-access control for body sensor networks," *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, Vol. 14, No. 1, January 2010, pp. 44-51.
- [9] K. A. Ali, J.H. Sarker and H.T. Moufah, "Urgency-based MAC protocol for wireless sensor body area networks," in *IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC)*, 2010.
- [10] A. A. Khaled, H. S. Jahangir and T. H. Moufah, "QoS-based MAC protocol for medical wireless body area sensor networks," in *IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, 2010, pp. 216-221.
- [11] S. Marinkovic, C. Spagnol and E. Popovici, "Energy-efficient TDMA-based MAC protocol for wireless body area networks," in *Third International Conference on Sensor Technologies and Applications, 2009. SENSORCOMM '09*, pp. 604-609.
- [12] G. Fang, E. Dutkiewicz, "BodyMAC: energy efficient TDMA-based MAC protocol for wireless body area networks," in *9th International Symposium on Communications and Information Technology, 2009. ISCIT 2009*, pp. 1455-1459.
- [13] S. S. Oliveira and S. Motoyama, "Applications oriented medium access control protocols for wireless sensor networks," *IEEE Latin America Transactions*, v. 7, Issue 5, 2009, pp. 586-593.
- [14] K. S. Kwak, S. Ullah and N. Ullah, "An overview of IEEE 802.15.6 standard," in *ISABEL*, 2010, Rome, Italy.
- [15] S. Motoyama, "Flexible polling-based scheduling with QoS capability for Wireless Body Sensor Network" in *Local Computer Networks Workshops (LCN Workshops)*, 2012 IEEE 37th Conference, pp. 745-752.
- [16] T. A. Pazeto, L. F. Refatti and S. Motoyama, "Polling-based Medium Access Control Scheme for Wireless Body Sensor Network" in *International Conference on Wireless Networks - ICWN-12*, 2012, Las Vegas, pp. 87-93.
- [17] S. Motoyama, "Hierarchical Polling-based MAC scheme for Wireless Body Sensor Network" in *International Conference on Wireless Networks - ICWN13*, 2013, Las Vegas, 103-109.



## **Análise de Desempenho de um Esquema de Acesso Baseado em Polling Exaustivo para WBAN**

**Manoel<sup>1</sup> Pontes Gomes, Shusaburo Motoyama<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Faculdade Campo Limpo Paulista – FACCAMP  
Programa de Mestrado em Ciência da Computação  
Campo Limpo Paulista, SP – Brasil

manoel.gomes@plc.ifmt.edu.br; shumotoyama@gmail.com

**Abstract.** *In this paper the performance analysis of an access scheme based on exhaustive polling technique for wireless body sensor network - WBAN is carried out through computer simulation. In the exhaustive polling technique, the sequence of polling is predefined and when a sensor node is polled, all packets stored in the buffer are transmitted, emptying it completely. The simulator is developed in MatLab and the results obtained are compared to the theoretical results. It is verified that results obtained by simulation are very close to the theoretical results, thus, validating the theoretical mathematical model.*

**Resumo.** *Neste artigo é feita a análise de desempenho de um esquema de acesso baseado na técnica polling exaustivo para a rede corporal de sensores sem fio - WBAN através de simulação computacional. Em um polling exaustivo, a sequência de investigação é pré-definida e quando um nó sensor é investigado, todos os pacotes do buffer são transmitidos, esvaziando-o completamente. O simulador é desenvolvido em MatLab e os resultados obtidos são comparados com os resultados teóricos. Comprovou-se que os resultados obtidos por simulação estão bem próximos dos teóricos, validando, dessa forma, o modelo matemático teórico.*

### **1. Introdução**

A rede corporal de sensores sem fio - WBAN (*Wireless Body Area Network*), ou simplificada rede corporal de sensores, objetiva monitorar e controlar os sinais vitais de um corpo humano.

Em uma WBAN, os sensores são colocados ou implantados em várias partes do corpo humano e são capazes de estabelecer um link de comunicação sem fio com dispositivos externos e enviam dados (sinais vitais). Estes dados são analisados e fornecem vigilância contínua da saúde e *feedback* em tempo real para o usuário ou para equipe médica.

Através dos dispositivos externos, uma WBAN pode ser conectada à Internet podendo, dessa forma, um paciente ser monitorado de seu lar, dispensando a sua presença no hospital, propiciando que ele experimente uma nova sensação de liberdade *mHealth* – Saúde Móvel Latré et al. (2011).

Como os sensores podem ser implantados sob a pele em corpos humanos, dificultando a recarga ou troca de bateria, a WBAN deve ter o consumo de energia altamente eficiente.

Vários critérios foram propostos para minimizar o consumo de energia em WBAN tais como: evitar colisão, diminuir o *overhearing* (escuta inútil), controle do overhead e *idle listening* (escuta ociosa, quando não há tráfego na rede). Na arquitetura de protocolos de uma WBAN, uma das camadas de maior relevância é a MAC (*Medium Access Control*). O projeto de controle de acesso ao meio (MAC) para transmitir os dados coletados dos sensores é um dos pontos essenciais para operar uma WBAN de modo eficiente e com eficiência energética Ye, Heidemann and Estrin, (2002).

Neste artigo é estudado um esquema de acesso ao meio baseado em *polling* onde um sensor é interrogado pelo nó central, caso possua dados no *buffer*, o processo de encaminhamento será iniciado e todos os dados armazenados no *buffer* do sensor são transmitidos até que o mesmo fique completamente vazio. O desempenho desse esquema é estudado através de simulação em MatLab, utilizando o atraso de pacotes como parâmetro de desempenho.

Este artigo está dividido em três seções. A segunda parte está relacionada com o funcionamento do esquema de acesso *polling*. Na subseção 2.1 faremos a análise de desempenho da técnica de *polling* exaustivo, analisaremos o tempo médio de espera na fila e o resultado será descrito. Por fim as conclusões são apresentadas na seção três.

## 2. MAC baseado em polling

Um esquema de acesso MAC baseado em *polling* para aplicação em WBAN foi apresentado em Motoyama (2012). No esquema apresentado, existem duas operações: uma operação normal em que os nós sensores são investigados um por vez em uma sequência pré-definida, e outra em que alguns nós sensores recebem altas prioridades de atendimento. É uma situação em que, por ex., há uma repentina alta na pressão arterial do paciente, e uma nova operação de atendimento de nós sensores é definida, recebendo alguns nós sensores prioridades totais. A análise de desempenho desse esquema de acesso denominado de MAC flexível foi feita através de modelos matemáticos teóricos e constatou-se que, embora os nós sensores que receberam prioridades tivessem tempos de espera de pacotes nos seus buffers bastante pequenos, outros nós sensores tiveram seus tempos de espera de pacotes bastante grandes, inclusive alguns sem nenhum atendimento. Para evitar essas situações extremas, o objetivo desse trabalho é propor e estudar um esquema de acesso baseado em *polling* em que se atribui certa ponderação aos nós sensores, por ex., uma ponderação de 3, 2 e 1. Aos nós sensores atribuídos com ponderação 3, significa que esses sensores têm maiores prioridades e podem transmitir até 3 pacotes seguidamente; com ponderação 2 podem transmitir até dois pacotes seguidamente a assim por diante.

Para o estudo do esquema de acesso por *polling* ponderado, será desenvolvido uma plataforma computacional em MatLab. Neste artigo foi desenvolvido, como uma parte inicial de estudo, o esquema de acesso por *polling* exaustivo, quando um nó sensor é investigado, todos os pacotes armazenados no buffer daquele sensor são transmitidos, os resultados serão comparados com os obtidos teoricamente em Motoyama (2012).

## 2.1 Análise de Desempenho do polling exaustivo

Para a simulação do esquema de acesso baseado em *polling* exaustivo, foram utilizados os seguintes parâmetros: o número de nós sensores,  $M$ , a capacidade do canal,  $R = 20$  *kbps*, e o comprimento médio de pacote,  $E\{X\} = 900$  *bits*. A intensidade de tráfego ou carga,  $S$ , é definida como  $S = \frac{M\lambda E\{X\}}{R}$ , onde  $\lambda$  representa a taxa média de pacotes que chegam ao sistema.

O processo de simulação se resume em três partes:

- A primeira etapa da simulação é gerar a matriz de instantes de tempos de chegadas aleatórias, simulando o tempo de chegada de pacotes em cada nó sensor, obedecendo a uma distribuição exponencial negativa com uma média  $1/\lambda$ . A expressão utilizada para geração desses instantes de tempos aleatórios foi  $T_{chegada} = -\frac{\ln x}{\lambda}$ , onde  $\ln$  é o logaritmo neperiano e  $x$  é um número aleatório entre 0 e 1.
- A segunda etapa é percorrer a matriz, para calcular os dados estatísticos. Como o serviço é exaustivo, ou seja, quando um nó está sendo interrogado, todos os pacotes são servidos incluindo aqueles que chegam durante o tempo de execução. Os dados são armazenados nas variáveis correspondentes que posteriormente serão usadas para realizar os cálculos das médias de tempo de transferência, perda de pacotes,  $\lambda$  efetivo, média do tempo de ciclo de *polling* e quantidades de pacotes atendidos por ciclo.
- A terceira etapa é calcular os parâmetros de desempenho que no caso deste artigo é o tempo médio de espera na fila de atendimento de cada uma das matrizes.

A Figura 1(a) mostra os resultados obtidos através do modelo matemático teórico. Tanto na Figura 1(a) e Figura 1(b), o tempo médio de espera é mostrado em função da intensidade de tráfego  $S$ , para três valores de  $M$ .

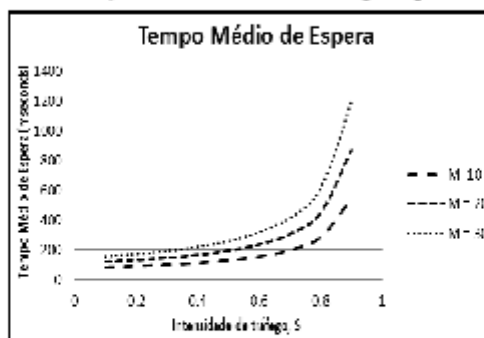


Fig 1(a) - Valores Teóricos Motoyama (2012)

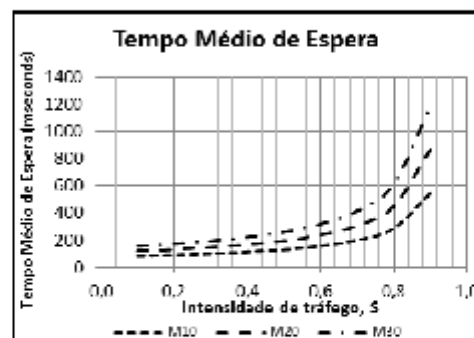


Fig 2(b) - Valores Simulados.

Na Figura 1(a), observa-se as curvas teóricas encontrada em Motoyama (2012), na Figura 1(b) temos as curvas simulados, pela análise das curvas obtidas, observa-se que para uma intensidade de tráfego até 0,6, o sistema de *polling* opera na região

estável, tendo tempos de espera relativamente pequenos, abaixo de 400 ms para ambas as figuras, para todos os valores de  $M$ , o que garante uma operação adequada para WBAN que necessita tratamento quase em tempo real de dados. Para valores de  $S$  entre 0,6 e 0,8, onde 0,8 já é uma carga muito elevada, o tempo médio de espera fica mantido abaixo de 600 ms em ambos os casos, porém a operação com carga  $S$  acima de 0,6 deixa o sistema instável, logo a operação nessas regiões deve ser evitada Motoyama (2012).

### 3. Conclusões

Neste artigo foi estudado um esquema de acesso baseado em *polling* exaustivo para rede corporal de sensores sem fio através de simulação computacional. No esquema de acesso utilizando *polling* exaustivo, quando um nó sensor é investigado, todos os pacotes que estão no buffer são transmitidos, inclusive aqueles que chegam enquanto o nó sensor está sendo atendido. O objetivo do trabalho foi desenvolver a parte inicial de um projeto maior que estudará um esquema de *polling* denominado ponderado que tem como intuito melhorar o esquema de acesso apresentado em Motoyama (2012). O simulador foi desenvolvido em MatLab e os resultados obtidos foram comparados com os resultados teóricos apresentados em Motoyama (2012). Comprovou-se que as curvas obtidas por simulação ficaram bem próximas das teóricas, os valores médios de espera diferem dos teóricos para os simulados com diferenças de alguns centésimos de segundos, validando dessa forma o modelo matemático teórico.

Entre os pontos 0,6 e 0,8 foi onde se observou o aumento substancial das médias dos tempos de espera, justamente após  $S$  superior a 0,6 o sistema entra em instabilidade, em ambos os modelos teórico e simulado os valores médios de espera ficam abaixo de 600 ms, um valor ainda aceitável como visto em Motoyama (2012). Desta forma podemos afirmar que houve êxito na simulação proposta.

Para a continuação do trabalho apresentado neste artigo, será estudado o esquema de acesso baseado em *polling* com buffer limitado em vez buffer infinito adotado neste trabalho. Além disso, o esquema de acesso baseado em *polling* ponderado será incorporado ao simulador e serão feitas comparações com o modelo teórico de prioridade total apresentado em Motoyama (2012).

### Referências

- B. Latré, B. Braem I. Moerman, C. Blondia and P. Demeester, "A Survey on Wireless Body Area Networks", in *Wireless Networks*, Volume 17 Issue 1, January, 2011, Kluwer Academic Publishers Hingham, MA, USA.
- Motoyama, S. 2012. Flexible Polling-based Scheduling with QoS Capability for Wireless Body Sensor Network, 37th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks, - LCN 2012, Clearwater, USA.
- W. Ye, J. Heidemann and D. Estrin, "An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks", in *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Communication* , pp.1567-1576, USC/Information Sciences Institute, New York, USA, 2002.