

*Uma Estrutura de Rede Baseada em
Tecnologia IoT para Atendimento Médico a
Pacientes Remotos*

Edivaldo Serafim

Agosto / 2014

Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação

Uma Estrutura de Rede Baseada em Tecnologia IoT para Atendimento Médico a Pacientes Remotos

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, 29 de Agosto de 2014.

Edivaldo Serafim

Shusaburo Motoyama (Orientador)

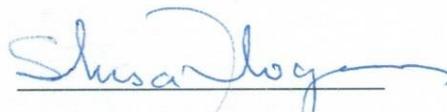
Faculdade Campo Limpo Paulista
Programa de Mestrado em Ciência da Computação

“Uma Estrutura de Rede Baseada em Tecnologia IoT para Atendimento Médico a Pacientes Remotos”

EDIVALDO SERAFIM

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Mestrado em Ciência da Computação da Faculdade Campo Limpo Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Membros da Banca:



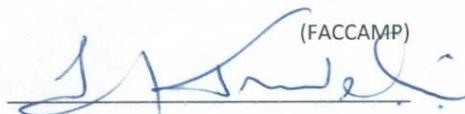
Prof. Dr. Shusaburo Motoyama

(Orientador – FACCAMP)



Prof. Dr. José Hiroki Saito

(FACCAMP)



Prof. Dr. Luis Carlos Trevelin

(UFSCar)

Campo Limpo Paulista, 29 de agosto de 2014.

FICHA CATAOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Câmara Brasileira do Livro, São Paulo, Brasil

Serafim, Edivaldo

Uma estrutura de rede baseada em tecnologia IoT para atendimento médico a pacientes remotos / Edivaldo Serafim. Campo Limpo Paulista, SP: FACCAMP, 2014.

Orientador: Profº. Dr. Shusaburo Motoyama
Dissertação (mestrado) – Faculdade Campo Limpo Paulista – FACCAMP.

1. Internet das coisas – Internet of things (Iot). 2. RFID – IoT cluster. 3. Wireless body area network – WBAN – Rede de sensores corporal. 4. Telemedicina – e-Health – Monitoramento remoto de pacientes. I. Motoyama, Shusaburo. II. Faculdade Campo Limpo Paulista. III. Título.

CDD-005.621

Agradecimentos

À minha família, que muito me apoiaram, em especial meu pai que me ajudou nessa jornada.

Ao meu orientador, Shusaburo Motoyama, pela orientação incomum, dedicação, incentivo e sabedoria.

Aos professores, funcionários e colegas do programa de mestrado em Ciência da FACCAMP.

À Deus, pelas oportunidades que me proporcionou e pela força que me fez seguir adiante.

Resumo. Nesta dissertação é proposta uma estrutura de rede baseada em tecnologia IoT para atendimento médico em comunidades rurais, ou urbanas. A estrutura proposta interliga Redes de Sensores Sem Fio (WBAN) com a Internet por meio de Radio Frequency Identification (RFID). A WBAN capta os dados dos sinais vitais de pacientes e repassa-os para leitores RFIDs, que de forma colaborativa, os retransmitem para um nó sink e deste para um gateway, e finalmente os dados chegam a um centro médico ou hospital pela Internet. As concepções da proposta de rede são discutidas, bem como uma análise sobre os dimensionamentos de capacidade do enlace do nó sink e de número de RFIDs é detalhada. Essa análise é feita em duas etapas, uma por meio de análise teórica e outra por meio de simulação computacional. As capacidades do enlace de um nó sink são estimadas pela simulação para casos em que a análise teórica se torna difícil de resolver ou não tem solução explícita. Usando os mesmos resultados obtidos para a estimativa da capacidade, também é estimado o número de tags RFID que a rede pode acomodar.

Abstract: A network structure based on IoT technology for medical assistance in rural or urban communities is proposed in this dissertation. The proposed structure interconnects Wireless Sensor Networks (WBAN) with the Internet through Radio Frequency Identification (RFID). The WBAN captures vital signs data from patients and passes them to RFID readers, which collaboratively, relay them to a sink node and then to a gateway, and finally through the Internet the data arrive to a medical center or hospital. The conceptions of the proposed network are discussed, as well an analysis of dimensioning of link capacity of the sink node and the number of RFIDs is detailed. This analysis is carried out in two steps, one through theoretical analysis and other by computer simulation. The link capacity of a sink node are estimated by simulation for cases where the theoretical analysis becomes difficult to solve or do not have explicit solution. Using the results obtained for the capacity estimation it is also estimated the number of RFID tags that the network can accommodate.

Sumário

Capítulo 1. Introdução	15
1.1 Motivação	16
1.2 Objetivos e contribuições.....	16
1.3 Organização da dissertação.....	17
Capítulo 2. Tecnologia IoT e Aplicações	20
2.1 Introdução	20
2.2 O que é a <i>Internet of Things</i>	20
2.2.1 Tecnologias para IoT.....	23
RFID	25
Auto-ID Labs e o projeto EPCGlobal	27
2.2.2 Arquitetura IoT.....	28
2.2.3 Principais problemas e desafios da IoT.....	34
2.3 Aplicações da IoT	36
2.3.1 Área de transporte e logística.....	39
2.3.2 Área ambiental (casa, escritório, fábrica, meio ambiente).....	40
2.3.3 Área pessoal e social	42
2.4 Aplicações da IoT na área da saúde e trabalhos relacionados	43
2.4.1 Plataforma de monitoramento e gerenciamento remoto de saúde	46
2.4.2 Controle da obesidade infantil com uso da IoT	47
2.4.3 IoT em áreas rurais.....	49
2.5 Conclusão.....	52
Capítulo 3. Estrutura de Rede Proposta Baseada em IoT.....	53

3.1	Introdução	53
3.2	Estrutura proposta	54
3.3	Detalhamento do modelo de rede	57
3.4	Conclusão.....	62
Capítulo 4. Dimensionamentos da capacidade de enlace do nó <i>sink</i> e do número de <i>tags</i> RFID		
	RFID	64
4.1	Introdução	64
4.2	Modelo de rede para a análise.....	64
4.3	Dimensionamento teórico do enlace do nó <i>sink</i>	65
4.3.1	Dimensionamento teórico para a fila M/M/1	66
4.3.2	Dimensionamento teórico para a fila M/D/1.....	68
4.4	Dimensionamento por simulação computacional do enlace do nó <i>sink</i>	71
4.4.1	Algoritmo do simulador	72
4.4.2	Estimativas para a capacidade de enlace do nó <i>sink</i>	75
	1° caso: <i>Buffer</i> ilimitado	75
	2° caso: <i>Buffer</i> limitado	76
4.4.3	Estimativa utilizando pacotes com comprimentos fixos.....	78
	1 caso: <i>Buffer</i> ilimitado.....	79
	2° caso: <i>Buffer</i> limitado	79
4.5	Estimativa do número de <i>tags</i> RFID para os parâmetros propostos.....	81
4.5.1	Estimativa do número de <i>tags</i> RFID com comprimento exponencial de pacotes	82
4.5.2	Estimativa do número de <i>tags</i> RFID com comprimento de pacotes fixo	83
4.6	Conclusão.....	84
Capítulo 5. Conclusões e trabalhos futuros		
		86

5.1 Trabalhos futuros	87
Referências Bibliográficas.....	89
Apêndice A. Detalhes do <i>software</i> Desenvolvido.....	93
Anexo I. Publicações da dissertação.....	97
1. Artigo aceito pela ICWN'14.....	97
1.1 Comprovante de aceitação do artigo	97
1.2 Artigo aceito.....	99
2. Artigo submetido na WD'14.....	104
2.1 Comprovante de submissão do artigo	105
2.2 Artigo submetido.....	106
3. Artigo submetido para o X <i>Workshop</i> de Computação da FACCAMP	112
3.3 Comprovante de submissão do artigo	113
3.3 Artigo submetido.....	114

Lista de Tabelas

Tabela 1. Aplicações da IoT por áreas (Vermesan et al. 2011).....	37
Tabela 2. Números de <i>tags</i> RFID em função da capacidade de enlace considerando uma taxa de um pacote/s por RFID para o modelo M/M/1	68
Tabela 3. Números de <i>tags</i> RFID em função da capacidade de enlace considerando uma taxa de 1 pacote/s por RFID para o modelo M/D/1	71
Tabela 4. Números de <i>tags</i> RFID em função da capacidade de enlace considerando uma taxa de 1 pacote/s por RFID, comprimentos exponenciais e buffers infinitos	82
Tabela 5. Números de <i>tags</i> RFID em função da capacidade de enlace considerando uma taxa de 1 pacote/s por RFID, comprimentos fixos e buffers infinitos	83

Lista de Figuras

Figura 1. Uma visão geral do conceito de IoT (Google Images 2013).	23
Figura 2. Algumas <i>tags</i> de RIFD passivas encontradas no mercado (Google Images 2013).	25
Figura 3. Algumas <i>tags</i> de RIFD ativas encontradas no mercado (Google Images 2013).	26
Figura 4. Leitores de <i>tags</i> de RIFD (Google Images 2013).	27
Figura 5. Arquitetura IoT básica geralmente aceita entre os pesquisadores.	29
Figura 6. Arquitetura IoT composta por 5 camadas (Wu et al. 2010).	31
Figura 7. Arquitetura IoT proposta por Tan and Wang (Tan and Wang 2010).	33
Figura 8. IoT possibilitando ambientes inteligentes (Vermesan et al. 2011).	38
Figura 9. <i>Framework</i> de serviço RMMP-HI proposto por Zhao (Zhao et al. 2011).	47
Figura 10. <i>QRcode</i> com informações nutricionais proposto por Briseno (Briseno et al. 2012).	49
Figura 11. Arquitetura proposta por Rohokale (Rohokale et al. 2011).	50
Figura 12. Arquitetura proposta por Chia (Chia et al. 2013).	51
Figura 13. Modelo de rede para monitoramento de pacientes rurais com uso de IoT <i>cluster</i>	55
Figura 14. Estrutura de <i>feedback</i> do modelo de rede proposto.	56
Figura 15. Estrutura de comunicação cooperativa entre os leitores RFID.	60
Figura 16. Modelo de estrutura de rede para a estimativa da capacidade do enlace do nó <i>sink</i>	65
Figura 17. Capacidade de enlace em função da taxa de pacote de entrada para vários valores de tempo de espera no sistema para o modelo M/M/1.	67

Figura 18. Capacidade de enlace em função da taxa de pacote de entrada para vários valores de tempo de espera no sistema para o modelo M/D/1.	70
Figura 19. Comportamento da fila no algoritmo do simulador.	72
Figura 20. Comportamento da fila com <i>buffer</i> limitado no algoritmo do simulador.	73
Figura 21. Capacidade do enlace em função da taxa de entrada de pacotes obtidos através de simulação	76
Figura 22. Resultado da simulação com <i>buffer</i> de 3 posições: (a) capacidade do enlace e (b) probabilidade de perda em função da taxa de entrada de pacotes	77
Figura 23. Resultado da simulação com <i>buffer</i> de 5 posições: (a) capacidade do enlace e (b) probabilidade de perda em função da taxa de entrada de pacotes.	77
Figura 24. Resultado da simulação com <i>buffer</i> de 10 posições: (a) capacidade do enlace e (b) probabilidade de perda em função da taxa de entrada de pacotes.	78
Figura 25. Capacidade do enlace em função da taxa de entrada de pacotes obtidos através de simulação com tamanho de pacote fixo e <i>buffer</i> ilimitado.	79
Figura 26. Resultado da simulação com <i>buffer</i> de 3 posições e comprimento de pacote de tamanho fixo: (a) capacidade do enlace e (b) probabilidade de perda em função da taxa de entrada de pacotes.	80
Figura 27. Resultado da simulação com <i>buffer</i> de 5 posições e comprimento de pacote de tamanho fixo: (a) capacidade do enlace e (b) probabilidade de perda em função da taxa de entrada de pacotes.	81
Figura 28. Resultado da simulação com <i>buffer</i> de 10 posições e comprimento de pacote de tamanho fixo: (a) capacidade do enlace e (b) probabilidade de perda em função da taxa de entrada de pacotes.	81
Figura 29. Tela principal do simulados desenvolvido em Java.	93
Figura 30. Exemplo do simulador em andamento para fila com modelo M/M/1.	94
Figura 31. Tela do simulador para fila M/M/1/n.	95

Figura 32. Tela com navegador exibindo a plataforma EDAS exibindo o artigo submetido	106
Figura 33. Tela com navegador exibindo a plataforma EasyChair exibindo o artigo submetido	113

Lista de Siglas e Símbolos

IoT	<i>Internet of Things</i> - Internet das Coisas
EDI	<i>Electronic Data Interchange</i> - Intercâmbio Eletrônico de Dados
EPC	<i>Electronic Product Code</i> - Código Eletrônico de Produtos
FIFO	<i>First-in, First-out</i>
GDSN	<i>Global Data Synchronisation Network</i> - Rede Global de Sincronização de Dados
GPS	<i>Global Positioning System</i> - Sistema de Posicionamento Global
NFC	<i>Near Field Communication</i> - Comunicações de campo próximo
OLA	<i>Opportunistic Large Array</i>
QRcode	<i>Quick Response Code</i> - Código de Resposta Rápida
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i> - Identificação por Rádio Frequência
WBAN	<i>Wireless Body Area Network</i> - Rede de Sensores Corporal Sem Fio
C	Capacidade de transmissão do enlace expressa bits/segundo
$E\{T_s\}$	Tempo de espera no sistema
$E\{W\}$	Tempo de espera no buffer
$E\{X\}$	Comprimento do pacote em bits
λ_i	Taxa média de chegada de pacotes de dados
λ_t	Taxa média total de chegada de pacotes de dados
μ	Taxa de saída de pacote do buffer
$E\{X\}$	Comprimento do pacote em tempo
ρ	Fator de carga do tráfego de pacotes

Capítulo 1. Introdução

A Internet das Coisas (*Internet of Things* ou IoT) é um novo paradigma que a cada dia mostra-se mais presente no cotidiano das pessoas. O conceito básico da IoT consiste na presença generalizada de objetos inteligentes interagindo com as pessoas e com outros objetos para atingir objetivos comuns.

Esse novo conceito terá efeitos profundos na vida das pessoas, sendo mais evidente para os usuários no ambiente doméstico e de trabalho. No ambiente doméstico, a vida assistida, a saúde e o reforço na aprendizagem são usos em potencial para essa tecnologia. Em processos produtivos, automação e produção industrial, logística, gestão comercial, transporte inteligente de pessoas e bens entre outras, são possibilidades apontadas. Contudo, o uso da IoT pode estender para outras áreas governamentais e meio ambiente.

Uma das principais tecnologias da IoT é a *Radio Frequency Identification* (RFID) utilizada para endereçar eletronicamente os objetos. Porém, outras tecnologias como sensores, atuadores, telefones celulares, *Near Field Communication* (NFC), inteligência artificial, nanotecnologias, etc., podem ser utilizadas na IoT para proporcionar uma nova dimensão para o mundo da informação e da comunicação.

Os objetos munidos dessas tecnologias trocarão informações entre si e um imenso tráfego será gerado, se bilhões desses objetos estiverem interconectados. Isso trará um profundo impacto na Internet atual, fazendo com que haja necessidade de novas concepções de arquiteturas de redes. Com objetos captando as atividades dos indivíduos e interligados com a Internet, questões de segurança e privacidade necessitarão de estudos profundos. Além disso, com os dados das pessoas trafegando pela Internet, o uso e armazenamento desses dados passam a ser de extrema responsabilidade, visando garantir a privacidade das pessoas.

O principal objetivo da IoT é melhorar a qualidade de vida das pessoas. Dessa forma, a IoT poderá contribuir muito na área de saúde para melhorar o cotidiano de pacientes. Assim, existem muitas propostas de aplicações IoT para a saúde. Essas aplicações incluem a identificação de pacientes com uso de RFID, a identificação e

controle de administração de medicamentos, controle de obesidade infantil com o monitoramento da alimentação, entre muitas outras.

1.1 Motivação

Como o Brasil é um país de grande extensão territorial, existem muitas comunidades rurais ou indígenas em áreas afastadas de grandes centros. Essas comunidades geralmente possuem pouca ou nenhuma infraestrutura médica, o que pode complicar o quadro de saúde dos pacientes que residem nesses locais.

Além dessas comunidades rurais ou indígenas, alguns centros urbanos carecem igualmente de infraestrutura na saúde pública para atendimento de forma ótima, e a telemedicina poderá contribuir para um melhor atendimento neste setor da sociedade.

Com o uso de tecnologia, pacientes poderão ser monitorados em suas residências ou local de trabalho, ocasionando menores deslocamentos para checagens e diagnósticos de sua saúde. Isso possibilita relatórios mais precisos baseados no comportamento cotidiano dessas pessoas.

1.2 Objetivos e contribuições

O principal objetivo desta dissertação de mestrado é propor o uso da IoT para interligar redes de sensores com a Internet e um centro médico especializado para monitoramento da saúde dessas pessoas.

O que se propõe é um modelo de rede em que os leitores de RFID troquem informações entre si para cooperar uns com outros, formando um *Cluster* IoT. Os dados dos pacientes são captados por uma Rede de Sensores Corporal Sem Fio (WBAN – *Wireless Body Area Network*) e devem ser repassados para as *tags* RFID posicionadas nesses pacientes. Essa *tag* serve de interface entre a WBAN e o IoT *Cluster*. O *cluster* se comunica com o *gateway* por meio de um nó *sink*. Este *sink* canaliza as informações para o *gateway* que envia os dados para um centro médico ou hospital por meio da Internet. No hospital, um *software* recebe, analisa e armazena os dados dos pacientes, podendo também gerar alertas de emergência se for o caso. Com esse arranjo de leitores de RFID, será possível fazer uso da IoT em comunidades mais afastadas, interligando várias vilas

para que as informações da rede de sensores possam chegar a um centro médico de forma mais rápida e mais segura possível. Essa estrutura também poderá ser aplicada em centros urbanos com grande concentração de pessoas. Algumas possibilidades de aplicações por exemplo, seria posicionando os leitores RFIDs em parques, praças, estações, etc. Quando o paciente se locomover pela cidade, estará assistido, com sua *tag* se comunicando com o *Cluster* IoT sempre que entrar na cobertura de algum leitor RFID que pertença ao *cluster*. O uso de *smartphones* também pode ser alternativa a ser utilizada na estrutura, sendo candidato a substituir os leitores RFID quando necessário, porém o que pretende-se é uma alternativa aos sistemas existentes.

Essa dissertação tem como objetivo subjacente um estudo do dimensionamento de enlace entre o nó *sink* e o *gateway*. Por se tratar de aplicação na área de saúde, esse estudo é de fundamental importância para não colocar vidas em risco, considerando que este enlace é um ponto crítico da rede. O estudo é realizado por meio de modelos matemáticos usando teoria de filas (M/M/1 e M/D/1) e também por meio de simulação computacional, desenvolvido em linguagem de programação Java. Os resultados obtidos são apresentados e discutidos.

Assim, A principal contribuição desta dissertação é a proposta uma estrutura de rede baseada na tecnologia IoT que seja bastante flexível no atendimento médico tanto em áreas rurais como em áreas urbanas.

A outra contribuição é na modelagem e análise de rede para dimensionamento de enlaces baseado em um critério em que o atraso de espera dos pacotes é definido. É feita, também, uma contribuição no dimensionamento de número de leitores RFIDs para que não haja sobrecarga de tráfego na rede.

1.3 Organização da dissertação

Este trabalho está estruturado da seguinte maneira:

Capítulo 2: neste capítulo são apresentados os referenciais teóricos sobre *Internet of Things* e está dividido em três partes. A primeira parte introduz de forma mais profunda a semântica envolvida em IoT, apresentando o estado da arte da tecnologia, bem como os conceitos, suas características, definições, tecnologias, arquitetura e problemas. Na segunda parte, as aplicações da IoT são detalhadas por áreas. A terceira parte apresenta

algumas propostas de uso da IoT na área da saúde que estão relacionadas com essa dissertação.

Capítulo 3: neste capítulo é apresentada a proposta de estrutura de rede para aplicação médica em áreas rurais e urbanas brasileiras, expondo sua concepção geral, depois detalhando cada parte da rede.

Capítulo 4: este capítulo trata do dimensionamento de enlace e está dividido em quatro partes principais. A primeira parte expõe o modelo de rede para análise. A segunda parte, é realizado dimensionamento de enlaces de forma teórica. Na terceira parte os resultados por simulação são expostos. Esta parte também detalha o algoritmo do simulador. A simulação desenvolvida tem como base a teoria de filas e serve especificamente para o dimensionamento do enlace entre o nó *sink* e o *gateway*. Estes resultados possibilitam também estimar o número de *tags* RFID que a estrutura comportará, e será detalhado na quarta parte.

Capítulo 5: neste capítulo são apresentadas as principais conclusões desta dissertação, bem como trabalhos futuros são sugeridos.

Finalizando o texto da dissertação, são apresentados o apêndice e o anexo:

Apêndice A: detalhes do *software* desenvolvido para obtenção de resultados são apresentados de forma sucinta.

Anexo I: todas as publicações que a dissertação buscou são expostas conforme a ordem:

Artigo aceito em “*The 2014 International Conference on Wireless Networks – ICWN 2014*” em, *Las Vegas, Nevada, USA*, com o título “*A Network Structure for Medical Assistance in Rural and Urban Areas Using IoT Technology*”, bem como e-mail com comprovante de submissão e aceitação do mesmo.

Artigo submetido e aguardando aceitação em “*Wireless Days 2014 – WD’14*” no Rio de Janeiro, Brasil, com o título “*Link Capacity and Number of RFIDs Estimation of a Network Using IoT Technology for Medical Application*”, bem como e-mail com comprovante de submissão.

Artigo submetido e aguardando aceitação no “*WCF 2014 - X Workshop de Computação na FACCAMP*”, com o título “*Uma Estrutura de Rede Baseada em*

Tecnologia IoT para Atendimento Médico em Áreas Urbanas e Rurais”, bem como e-mail com comprovante de submissão.

Capítulo 2. Tecnologia IoT e Aplicações

2.1 Introdução

Neste capítulo é apresentado o resultado da literatura sobre *Internet of Things*, apresentando a semântica sobre IoT. Os conceitos, suas características, definições, tecnologias, arquitetura e problemas da IoT também serão apresentados.

O levantamento das aplicações da IoT também é apresentado, separadas por áreas. Essas áreas podem ser: transporte e logística, rastreando mercadorias e produtos; ambiental com o controle automatizado do ambiente doméstico, de trabalho e meio ambiente; social e pessoal com o uso da IoT nas reações sociais do indivíduo ou no uso de objetos do cotidiano das pessoas; e saúde, com a identificação de objetos e pessoas, bem como no controle e o fluxo de trabalho em hospitais e clínicas de saúde. Por ser foco deste trabalho de dissertação, esta última área é melhor detalhada, já que este referencial teórico foi analisado de forma mais aprofundada.

Este capítulo também expõe os trabalhos relacionados com esta dissertação, apresentando os que mais diretamente se aproximam no uso da IoT na área da saúde. Uma subseção especialmente destinada aos trabalhos que propõem uso da IoT na área da saúde em localidades rurais fecha este levantamento bibliográfico.

2.2 O que é a *Internet of Things*

O termo “*Internet of Things*” (IoT) foi utilizado pela primeira vez no ano de 1999 como título de uma apresentação feita à *Procter & Gamble* (P&G) pelo pesquisador do MIT, Kevin Ashton. O que Ashton propôs aos executivos da P&G foi uma nova tecnologia cujo objetivo era interligar os produtos daquela companhia por meio de transceptores de RFID, para melhor controle da cadeia de suprimentos (Ashton, 2009). Quatorze anos depois, este termo ainda é mencionado em títulos de artigos científicos e em grandes conferências. Porém por ser um conceito novo, na época, foi abordado de diversas maneiras, e tornou-se um assunto muitas vezes incompreendido e confuso (Ashton, 2009), (Yang et al. 2010), (Fleisch 2010).

Esse assunto realmente ganhou importância prática nos últimos anos. Graças ao avanço tecnológico na área de *hardware*, surgiu no mercado grande quantidade de minúsculos computadores baratos que alavancaram a tecnologia (Fleisch 2010).

Em sua definição mais ampla, IoT consiste em interligar os objetos de uso cotidiano do ambiente real com a Internet, ou seja, um ambiente virtual, tornando-os então objetos inteligentes. Isso é possível graças ao uso de sensores e de *tags* RFID endereçáveis, fixadas nos objetos, que se comunicam por meio de uma rede, e esta, com a Internet (Yang et al. 2010), (Fleisch 2010), (ITU 2005), (Atzori et al. 2010), (Wu et al. 2010), (Mazhelis et al. 2011), (Auto-Id Labs 2013).

O RFID já está presente em muitas soluções do nosso cotidiano tal como cobrança de pedágio automático em rodovias, gestão da cadeia de suprimentos, e-saúde, identificação funcional por meio de crachás entre muitas outras. Por essa razão, o uso do RFID, atualmente é a base central para que esse novo paradigma possa de fato se tornar amplamente aceito (ITU 2005).

Além do uso de RFID, a IoT deverá incluir tecnologias como Inteligência Artificial, sistemas embarcados e nanotecnologia, o que possibilitará uma interligação máquina-a-máquina (Yang et al. 2010), (ITU 2005), (Mazhelis et al. 2011). Isso levará a uma nova forma de comunicação onipresente, em que objetos poderão de comunicar com as pessoas, e com outros objetos de forma independente. Uma nova dimensão foi adicionada para o mundo da comunicação que já possuía os conceitos de “conectividade a qualquer hora, de qualquer lugar, para qualquer pessoa”, e agora vamos ter “conectividade para qualquer coisa” (ITU 2005), (Mazhelis et al. 2011), (Xue et al. 2012).

Com essa nova realidade, em que objetos interagem com o ambiente onde se encontram e com os outros objetos que os cercam, um grande impacto na vida cotidiana dos usuários é inevitável. Os efeitos mais visíveis desse impacto deverão ocorrer no ambiente de trabalho e no ambiente doméstico (ITU 2005), (Mazhelis et al. 2011). Outras áreas para aplicação da IoT seriam transporte, segurança pública, energia, inteligência governamental e muitas outras como sugerem a maioria dos pesquisadores. Em especial, a área da saúde merece peculiar atenção, pois poderá além de melhorar a qualidade de vida do usuário, contribuir para uma maior longevidade, possibilitando até salvar vidas,

em casos de situações de emergência (Yang et al. 2010), (ITU 2005), (Atzori et al. 2010), (Mazhelis et al. 2011), (Vermesan et al. 2011), (Bauer et al. 2011).

Muitas questões continuam em aberto, o que merece especial atenção por parte dos pesquisadores (Yang et al. 2010), (Atzori et al. 2010). O impacto na segurança requer maiores cuidados e padrões, principalmente nas aplicações em saúde. A vulnerabilidade da rede pode expor a vida íntima do paciente utilizador da tecnologia, bem como colocá-lo em risco, já que os objetos com sensores estarão ligados com a Internet. Devido a Internet ser um ambiente pouco seguro atualmente, a privacidade do paciente pode ser violada (ITU 2005), (Atzori et al. 2010), (Vermesan et al. 2011), (Xue et al. 2012), (Bauer et al. 2011). Apesar de ser objeto de esforço de várias organizações como o Auto-ID Center, EPCGlobal e o *Unique/Universal/Ubiquitous Identifier architecture* (UID), a falta de padronização ainda é um grande problema (Yang et al. 2010), (Fleisch 2010), (Atzori et al. 2010), (Bauer et al. 2011).

Nos últimos trinta anos a Internet trouxe grandes mudanças na sociedade, na economia, na vida cotidiana dos indivíduos e continua evoluindo e crescendo em importância (Xue et al. 2012), (Coetzee et al. 2011). A Internet passou de uma rede que interligava apenas computadores, para interligar pessoas, criando o conceito de *Web Social* (Web 2.0), (Coetzee et al. 2011). Tudo o que era feito apenas na forma presencial pode ter representatividade no espaço virtual, como trabalho, compras, encontros e relacionamento sociais. Mas o ambiente em que vivemos é um ambiente físico, com objetos físicos. Para que o ambiente virtual se torne um ambiente que realmente incorpore os objetos do ambiente em que vivemos, esses objetos deverão estar presentes no espaço virtual (Ashton, 2009), (ITU 2005).

Atualmente a Internet e os computadores são quase totalmente dependentes de seres humanos para obter informações. Somos nós que digitamos, apertamos botões, tiramos fotos, ou digitalizamos documentos (Ashton, 2009). Consequentemente sua configuração e adaptação também dependem de seres humanos com conhecimentos técnicos para fazê-las. Contudo, os objetos do cotidiano estão se tornando inteligentes, devido ao desenvolvimento de tecnologias como sensores, identificação, e uma variedade de soluções de comunicação (Fleisch 2010), (ITU 2005), (Xue et al. 2012), (Bauer et al. 2011), (Coetzee et al. 2011). Uma verdadeira revolução tecnológica que representa o

futuro da computação e das comunicações, habilitando uma nova perspectiva da Internet, a Internet do Futuro (Fleisch 2010), (ITU 2005) (Atzori et al. 2010), (Wu et al. 2010), (Xue et al. 2012), (Vermesan et al. 2011), (Coetzee et al. 2011).

Nesse novo contexto de Internet, um grande número de objetos heterogêneos passa a ser parte integrante do espaço virtual. Tais objetos transformam-se de objetos atuais simplesmente estáticos em novos objetos dinâmicos. Por serem providos de identificação e acessados remotamente, incorporam inteligência em nosso meio ambiente e estimulam a criação de produtos inovadores e serviços inteiramente novos (Fleisch 2010), (ITU 2005), (Xue et al. 2012), (Wu et al. 2010), (Vermesan et al. 2011), (Coetzee et al. 2011). Na Fig. 1 pode-se ter uma visão geral do conceito de IoT.



Figura 1. Uma visão geral do conceito de IoT (Google Images 2013).

A Fig. 1 representa a forma como os objetos passarão a se convergirem para a Internet pelo conceito de IoT, ganhando representatividade no espaço virtual.

Diferindo da Internet atual, tais objetos agora deverão ser capazes de se auto-configurarem, auto-repararem e interagirem uns com os outros. Providos com a capacidade de detectar mudanças físicas ao seu redor, irão introduzir novas formas de captar, armazenar, processar e transmitir informações para a Internet de forma autônoma e dinâmica (Fleisch 2010), (ITU 2005), (Atzori et al. 2010), (Xue et al. 2012), (Vermesan et al. 2011), (Bauer et al. 2011).

2.2.1 Tecnologias para IoT

Com os avanços tecnológicos que impulsionam a crescente miniaturização, consequentemente o menor consumo de energia elétrica e o barateamento do *hardware*,

várias tecnologias podem ser utilizadas para o paradigma IoT. *Cloud computing* e tecnologia IPv6 promoverão o desenvolvimento da integração da Internet e IoT (Zhao et al. 2011). Como exemplo de tecnologias possíveis para IoT, pode-se citar: *Bluetooth*, rede de sensores, *ZigBee*, entre muitas outras. Porém umas delas é sem dúvida, a mais relevante de todas: os sistemas de RFID (Yang et al. 2010), (ITU 2005), (Atzori et al. 2010), (Wu et al. 2010).

Conciliando RFID com redes de sensores, novos horizontes abrirão para a IoT. Amplamente utilizada na indústria automotiva, aeroespacial, na segurança e saúde, e com a contínua queda no custo, as redes de sensores encontrarão um ótimo nicho de mercado para seu fomento (ITU 2005).

Outra área tecnológica que poderá ser utilizada em conjunto com a IoT é a robótica. Atualmente, a robótica encontra-se fortemente ligada ao setor industrial, mas isso tenderá a mudar com a robótica pessoal ganhando mercado. A IoT deverá ser uma das tecnologias que permitirão o desenvolvimento da robótica pessoal, tornando-se tecnologia imersa na IoT (ITU 2005).

Além do uso de redes de sensores e RFID, outra arquitetura japonesa, a *Unique/Universal/Ubiquitous Identifier* (UID) centra-se no desenvolvimento de soluções para uma visibilidade global de objetos baseado em *middleware* para a ideia de "computação ubíqua" (Yang et al. 2010), (Atzori et al. 2010).

A tecnologia de NFC tem como proposta o uso de telefones celulares como leitores de RF de campo muito próximo. Apesar de não ser amplamente incluído em muitos telefones, esta tecnologia pode ser adaptada ao aparelho por cartões microSD¹ (Jara et al. 2010).

Mesmo com um leque de opções para construir o novo advento IoT, RFID desponta como a tecnologia que possibilitará que o paradigma tome moldes na realidade. Essa tecnologia predomina as citações como tecnologia de base para o paradigma IoT e por esse motivo será adotada para o modelo de rede proposto por este trabalho.

¹ MicroSD é um formato de cartão de memória *flash* que equipa a maioria dos aparelhos de telefones celulares.

RFID

O sistema de RFID visa identificar objetos pelo uso de *tags* (ou etiquetas) que podem transmitir um sinal digital para um ou mais leitores. As *tags* RFID possuem um identificador único e são colocadas nos objetos, em pessoas ou animais, e emitem essa identificação por meio de ondas de radiofrequência (RF). Os leitores de RFID captam as frequências emitidas pelas *tags*, lendo o código presente nelas e identificando-as em um perímetro de alcance determinado.

Fisicamente a *tag* é um pequeno *microchip* ligado a uma antena de RF numa embalagem que é geralmente semelhante a uma etiqueta adesiva (Yang et al. 2010). As *tags* podem ser passivas, semi-passivas e ativas (Yang et al. 2010), (Auto-Id Labs 2013).

As *tags* passivas não têm reserva de energia, e sua alimentação é provida ao aproximar o leitor na *tag*. O leitor gera uma corrente por indução na antena da *tag* e tal corrente é utilizada para alimentar o microchip para o qual vai transmitir informações. A Fig. 2 mostra algumas *tags* passivas (Google Images 2013). Usualmente, o ganho de tais sistemas é muito baixo. No entanto, graças às antenas diretivas muito utilizadas pelos leitores, *tags* RFID podem ser lidas dentro de um intervalo de alguns metros. A transmissão pode ocorrer em várias faixas de frequências que vão desde as baixas frequências (LF) em 124-135 kHz até ultra alta frequência (UHF) de 860-960 MHz, que tem maior alcance (Yang et al. 2010).



Figura 2. Algumas *tags* de RFID passivas encontradas no mercado (Google Images 2013).

Nas *tags* semi-passivas, existe uma bateria que alimenta o *microchip* da etiqueta, porém quando ela se comunica com o leitor, usa a corrente por indução do mesmo (Yang et al. 2010).

As *tags* ativas utilizam eletricidade puramente de fonte de alimentação embarcada na própria etiqueta, tanto para receber quanto para enviar sinal do leitor. Isso as tornam *tags* mais potentes, com um raio de alcance maior, porém com maior custo e tamanho (Yang et al. 2010). Pode-se ver *tags* ativas na Fig. 3, onde é possível também verificar as baterias que são fonte de energia embarcada das *tags* conforme indicadas pelas setas (Google Images 2013).

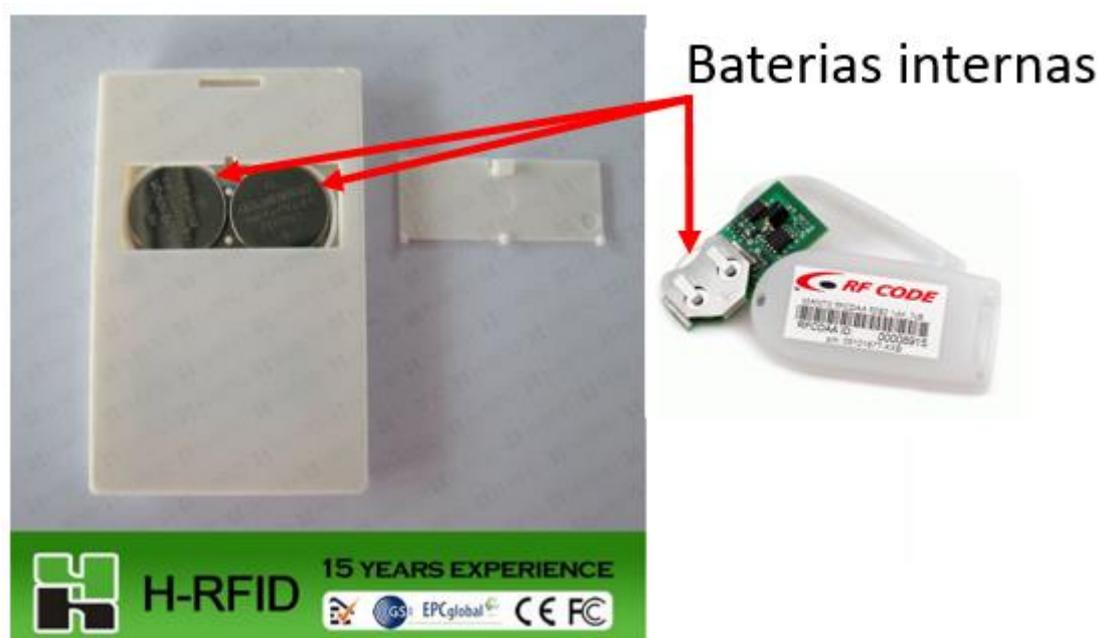


Figura 3. Algumas *tags* de RIFD ativas encontradas no mercado (Google Images 2013).

Os leitores de RFID podem ser portáteis, carregados pelos usuários, ou fixados em locais onde possam receber o sinal da *tag*, como em pedágios de rodovias ou mesmo em ambientes internos. Pode-se ver alguns leitores na Fig. 4 (Google Images 2013).



Figura 4. Leitores de *tags* de RFID (Google Images 2013).

Auto-ID Labs e o projeto EPCGlobal

Sem dúvida o grande fomentador da tecnologia RFID é o Auto-ID Labs e o projeto EPCGlobal, enraizados no MIT. Voltado para questões de pesquisa e desenvolvimento da tecnologia de RFID, o Auto-ID Labs conta com sete grandes laboratórios de pesquisa espalhados pelo mundo. Esses laboratórios trabalham em conjunto para promover pesquisas que servem de base para o desenvolvimento da EPC Networking (Auto-Id Labs 2013).

A fomentadora do projeto EPCGlobal é a GS1, que é uma associação internacional sem fins lucrativos. Com organizações membros em mais de 100 países, dedicam-se à concepção e à implementação de normas e soluções globais para melhorar a eficiência das cadeias de abastecimento. Ela é responsável por normatizações como Código de Barras, EPC – Código Eletrônico de Produtos, GDSN – Rede Global de Sincronização de Dados e EDI – Troca Eletrônica de Dados.

Ao se juntar com o Auto-ID Labs, o projeto EPCGlobal é direcionado para fazer uma arquitetura de IoT, e introduzir padrões e produtos comerciais para a tecnologia RFID (Auto-Id Labs 2013). O EPCGlobal tem seu foco principal sobre o desenvolvimento do Código Eletrônico de Produto (EPC) e visa apoiar o uso generalizado da tecnologia RFID em redes mundiais de comércio moderno (Yang et al. 2010), (ITU 2005), (Atzori et al. 2010), (Wu et al. 2010), (Auto-Id Labs 2013), (Xue et al. 2012), (Bauer et al. 2011).

EPC baseia-se na mesma concepção do código de barras, sendo considerada a tecnologia para substituí-lo. O código de barras é utilizado para identificar desde

embalagens com muitos produtos até mesmo pacotes individuais. Uma dificuldade dessa tecnologia é a leitura do código de barras, que necessita que o leitor tenha “linha de visada” para que possa ser efetuada a leitura. Ao contrário do código de barras, EPC dispensa a “linha de visada”, pois, utiliza uma etiqueta RFID. Essas *tags* contêm um *chip* de silício e uma antena de RF, ou seja, a *tag* pode ser lida por aproximação do leitor (EPCGlobal 2013).

A idealização do EPC tem como finalidade identificar produtos e não pessoas, não armazenando informações de cunho pessoal. A privacidade do indivíduo deve ser preservada e é preocupação de EPCGlobal desde o início da comercialização de produtos baseados em RFID. Logo, a tecnologia EPC não deve ser aplicado para identificação de pessoas, como prevê a licença do uso do EPC. Contudo, algumas exceções estão previstas pela EPCGlobal, como por exemplo em casos muito específicos e com total transparência em relação ao paciente em casos médicos ou a segurança de tropas em uso militar (EPCGlobal 2013).

Empresas que vendem produtos com EPC devem seguir boas condutas em relação a essa tecnologia, de modo a preservar a privacidade de seus consumidores. Por exemplo, uma orientação da EPCGlobal é para que esses consumidores sejam alertados sobre o uso do EPC na embalagem dos produtos que estão comprando. Outras orientações também servem para oferecer formas corretas para o descarte, a remoção e a desativação das *tags* EPC (EPCGlobal 2013).

Apesar de a EPCGlobal padronizar uma arquitetura para identificação de produtos que usam RFID, muitas aplicações IoT ainda carecem de arquitetura unificada, conforme verifica-se na subseção seguinte.

2.2.2 Arquitetura IoT

Quando foi idealizada na década de 1970, a Internet possuía propósitos para um cenário muito diferente ao qual é utilizada atualmente. Assim, segurança, gerenciamento e endereçamento acabaram sendo fatores que apresentaram problemas para a atual Internet (Tan and Wang 2010).

A Internet atual é baseada em uma arquitetura de cinco camadas do modelo TCP/IP, sendo esses dois protocolos principais para sua utilização. Esse modelo vem se

apresentando útil por um longo período de tempo, apesar das limitações que começam a impedir seu uso generalizado. Isso está ocorrendo devido à crescente quantidade de dispositivos conectados na Internet nos últimos anos (Tan and Wang 2010).

Se essa arquitetura já começa a apresentar problemas atualmente, com a IoT inserindo bilhões de objetos conectados à ela, novas arquiteturas deverão ser propostas. Isso se deve ao fato de que a arquitetura atual da Internet não poderá suportar essa imersão de grande número de objetos conectados. Com esses objetos produzindo dados, uma enxurrada de informação será gerada, o que levará ao colapso da Internet atual. Além disso, maior armazenamento será necessário para guardar um grande volume de informações de tantos dispositivos interconectados. Novas estruturas de rede deverão ser necessárias, como por exemplo, *backbones* com maiores capacidades de tráfego (Tan and Wang 2010).

Vários pesquisadores sugerem modelos de arquitetura para IoT, e a maioria das arquiteturas propostas se aproxima em camadas com basicamente as mesmas funções ou funções muito próximas. Essas camadas servem para prover serviços a determinadas partes da rede, assim como no modelo TCP/IP. A arquitetura básica que serve como ponto de partida para as demais, pode ser resumida em três camadas: *perception layer*, *network layer* e *application layer*. Esse modelo de arquitetura pode ser visualizado na Fig. 5.

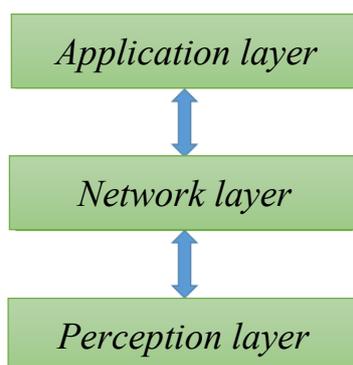


Figura 5. Arquitetura IoT básica geralmente aceita entre os pesquisadores.

Perception layer, ou camada de percepção é responsável por captar as grandezas físicas do ambiente e converte-las para um formato digital que possa ser facilmente transportado pela camada de rede. Nessa camada estão as tecnologias para identificação, sensoriamento, etc., que coletam informações do mundo real e as convertem para o

mundo virtual. Portanto, é a camada onde se encontram as *tags* RFID, código de barras, câmeras digitais, GPS, terminais, sensores e a rede de sensores, entre outros.

Network layer, ou camada de rede, é responsável por transmitir e processar as informações da IoT. Transmitindo as informações captadas pela camada de percepção, essa camada está no centro da IoT, formando um *backbone* IoT. Como nesta camada ocorre o processamento das informações, é considerada também o centro de processamento inteligente da arquitetura. Suas funcionalidades podem ser estendidas para a convergência de redes de comunicação e a Internet, o centro de gerenciamento de rede e centro de informação.

Application layer, ou camada de aplicação é onde se encontram uma vasta gama de aplicações para propósitos variados. Essa camada é onde a IoT encontra suas finalidades, servindo para melhorar a qualidade de vida das pessoas, ou melhorar os processos produtivos. As necessidades da indústria, bem como as necessidades da sociedade podem ser atendidas por meio dessa camada. EPCGlobal é um exemplo de padronização de aplicação para identificação de produtos. Hospital inteligente, *smart homes*, veículos inteligentes, são outros exemplos de aplicações que podem ser citados (Tan and Wang 2010).

Porém, as três camadas apresentadas para definir a arquitetura de IoT, podem ser muito gerais. Isso acaba ocasionando muita discórdia entre os pesquisadores acerca do real significado da IoT e seus benefícios para a sociedade. Assim, tentando aprofundar a visão de arquitetura de IoT, em uma abordagem mais detalhada, foi proposto por Wu (Wu et al. 2010) uma arquitetura com cinco camadas: *Business Layer*, *Application Layer*, *Processing Layer*, *Transport Layer* e *Perception Layer*. Esse novo arranjo de arquitetura pode ser observado na Fig. 6.

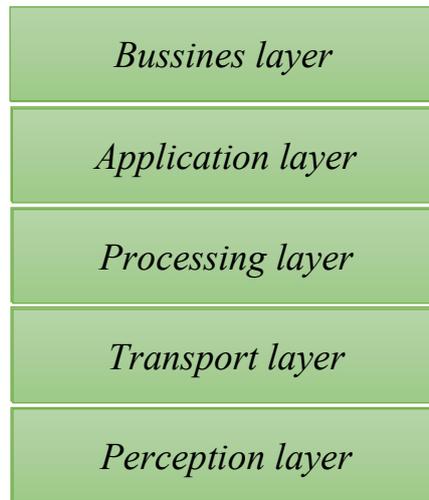


Figura 6. Arquitetura IoT composta por 5 camadas (Wu et al. 2010).

As camadas de percepção e aplicação possuem as mesmas funções descritas anteriormente, não diferindo em praticamente nada.

A camada de transporte nesta arquitetura retira o processamento dela, sendo definida apenas como camada responsável pelo transporte de dados. Aqui estão envolvidas técnicas de comunicações padrões na indústria, como FTTx, 3G, *Wi-fi*, *bluetooth*, *Zigbee*, UMB, *infrared* entre outras. Muitos protocolos podem ser incluídos nessa camada, como o protocolo IPv6, que possibilita o endereçamento de bilhões de objetos (Wu et al. 2010).

Além da função de transportar dados, como a IoT estará imersa em um ambiente heterogêneo, com muitos tipos de redes diferentes, também é função desta camada prover a interoperabilidade com outras redes. Isso possibilitará total compatibilidade com sistemas muito distintos (Wu et al. 2010).

A camada de processamento foi isolada em uma camada própria, pois como IoT deverá gerar um tráfego muito alto de informações, processá-las, analisa-las e armazená-las não serão tarefas fáceis. As principais tecnologias para essa camada podem ser *cloud computing*, computação ubíqua, banco de dados, processamento inteligente, etc. As duas primeiras tecnologias citadas podem representar o centro dessa camada, norteando o paradigma IoT. Esta camada pode ser crucial para sistema baseados em IoT, devendo ser alvo de muita atenção por parte dos órgãos de pesquisa (Wu et al. 2010).

Nesse modelo proposto de arquitetura, existe uma última camada a ser analisada, que é a camada de negócios. Para Wu (Wu et al. 2010) não existe tecnologia que perdure se não houver formas de financiá-la. Por isso, nessa arquitetura existe uma nova camada, que representa a organização dos negócios que utilizarão a IoT. A gestão das aplicações, o modelo de negócio e outros negócios devem estar envolvidos pela gerência da IoT. Para que IoT tenha sucesso a longo prazo, o modelo de negócio deve ser muito bem pensado e estruturado, envolvendo além do modelo de negócio de empresas, privacidade de usuários e segurança da informação (Wu et al. 2010).

Uma arquitetura mais completa também é proposta por Tan and Wang (Tan and Wang 2010). Nessa arquitetura, uma camada de interface entre aplicações distintas é o principal destaque. Isso porque existem muitos padrões e tecnologias para utilização da IoT, cada qual com sua arquitetura característica, faltando um padrão global, (Tan and Wang 2010).

Muitas propostas visam a soluções de problemas imediatos para situações em que se encontram, e o grande problema dessa abordagem é a falta de interoperabilidade entre os objetos de diferentes aplicações. Normalmente essas arquiteturas são isoladas em seus padrões, o que impossibilita que troquem informações entre si (Tan and Wang 2010).

Uma alternativa para resolver essa questão é a inserção de uma camada de coordenação nas arquiteturas IoT. Essa camada é responsável por receber dados de diferentes aplicações, e converte-los para um padrão unificado, de modo que essas aplicações sejam compatíveis na troca de informações (Tan and Wang 2010). A arquitetura proposta por Tan and Wang (Tan and Wang 2010) pode ser visualizada na Fig. 7.

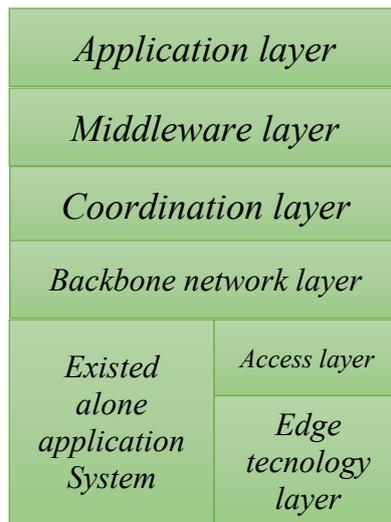


Figura 7. Arquitetura IoT proposta por Tan and Wang (Tan and Wang 2010).

Outra arquitetura proposta, também acrescenta duas camadas a mais no modelo genérico de três camadas. Assim como nas arquiteturas expostas anteriormente, tanto a camada de percepção como a camada de aplicação possuem as mesmas características e descrições. Porém, neste novo modelo a divisão possui as seguintes camadas: *Perception Layer*, *Data Management Layer*, *Network Layer*, *Business Logic Layer* e *Application Layer* (Fan and Chen 2010).

A camada de gerenciamento de dados (*Data Management Layer*) é responsável por limpar, filtrar, processar e transformar os dados captados pela camada de percepção. Ela torna os dados aptos para serem transportados pela camada de rede logo acima desta. Isso é necessário, pois muitas tecnologias da camada de percepção entregam os dados brutos, bem como em formatos diferentes para as camadas acima, (Fan and Chen 2010).

Na camada de gerenciamento de dados estão muitas técnicas intermediárias desenvolvidas por vários órgãos de padronização. Um exemplo é o *middleware EPC*, proposto pela EPCNetwork. Ela também oferece a função de gerenciamento de segurança, a localização dos recursos, tratamento de erros, a resolução de conflitos entre outras funções (Fan and Chen 2010).

A camada de rede é responsável pela transferência das informações adaptadas pela camada anterior. Essa camada geralmente possui computadores comuns conectados à Internet ou Intranet e que usam protocolos padrões de rede (Fan and Chen 2010).

A camada lógica de negócios é responsável por processar e tratar as informações fornecidas pela camada de rede e prestar serviços para a camada de aplicação. Ela também fornece controle de acesso e funções de gerenciamento de processos (Fan and Chen 2010).

Como conclusão, apesar de possuírem muitas semelhanças, principalmente nas camadas mais extremas dos modelos analisados, como a camada de aplicação e de percepção, ainda existe falta de padrão entre as arquiteturas analisadas. Mesmo possuindo variações entre os modelos sugeridos, seus propósitos são os mesmos, e algumas características levam alguns modelos serem melhores que outros em certos aspectos. Porém, mesmo com variações, suas funcionalidades são basicamente as mesmas para cumprir seus objetivos.

2.2.3 Principais problemas e desafios da IoT

A padronização do RFID, inicialmente realizada pelo AutoID-Lab, depois pelo EPCGlobal mostraram ótimos resultados para o advento da IoT. Mas as discussões sobre esse assunto não cessaram, e outros órgãos de padronização como a ITU, ISO, ETSI, entre outros, dedicam esforços para alcançar padrões ótimos de protocolos para RFID. Redes de sensores, nanotecnologia, robótica, também são tecnologias que a IoT poderá certamente abranger, e devem interoperar para poder fazer o paradigma IoT uma realidade (ITU 2005). Portanto, a falta de padrão ainda é um grande desafio, se não um grande problema a ser superado.

Com muitos objetos captando e transmitindo dados sobre os usuários, a privacidade acaba sendo outro grande desafio para a IoT. Quando esses objetos possuírem algum ou todos os cinco sentidos, como visão e olfato, as atividades diárias das pessoas poderão ser expostas. Por exemplo, sem serem percebidas pelos usuários, *tags* RFID embutidos em dispositivos pessoais, roupas e mantimentos, podem ser acionados para responder com seu ID e outras informações, sem o controle das pessoas que os carregam. Isso acaba levando a um sistema de vigilância onde as pessoas podem não ter consciência, e estarem sendo monitoradas (ITU 2005).

Para que IoT seja de fato largamente aceito, questões como segurança da informação, confidencialidade e privacidade devem ser superadas, o que acaba exigindo

a criação de padrões, leis e métodos para poder colocar em prática o paradigma IoT. Esforços em conjunto entre sociedade civil, governo e o setor privado para resolver as questões expostas devem garantir a proteção desses valores. Sem esse esforço, o desenvolvimento e aceitação da IoT pode estar comprometido, senão impedido de ocorrer (ITU 2005).

Endereçamento e padrões de rede são outras questões de extrema importância que a IoT deverá superar para ser de fato implementada. Com bilhões de nós conectados entre si e com a Internet, um grande número de endereços de rede deve existir para que possam cobri-los. Com os quatro *bytes* do IPv4, já existe escassez de endereços na Internet atual e o novo padrão IPv6 começa gradativamente substituí-lo. Portanto IPv4 está descartado para uso em IoT (Atzori et al. 2010).

A tecnologia *6LoWPAN* já faz uso do protocolo IPv6 em redes PAN, o que a coloca como provável para ser aplicado em IoT. Porém, as *tags* RFID usam identificadores de 64 ou 96 *bits*, padronizados pela EPCGlobal. Algumas técnicas para adaptar o uso de IPv6 com RFID estão sendo investigadas e alguns projetos pilotos já foram testados. Um exemplo foi a utilização de 64 *bits* para o endereçamento da *tag*, e os outros 64 *bits* para endereçamento do *gateway*, completando assim os 128 *bits* do IPv6 (Atzori et al. 2010).

Essa abordagem apresenta uma solução, porém é uma adaptação, e esbarra em outras questões. Uma delas são as *tags* com endereçamento de 96 *bits*, o que inviabiliza a solução. Outra solução é colocar a mensagem de RFID e os cabeçalhos incluídos na carga útil do pacote IPv6, porém também é uma adaptação, não sendo uma solução ótima (Atzori et al. 2010).

Uma questão relativa à rede é a forma de como os endereços são obtidos e associados aos *hosts*. Na Internet atual, com uso de IPv4, a técnica mais aceita é o uso de servidores DNS. Seu objetivo é converter endereços de *hosts* IP em nomes de domínios. Na IoT, haverá bilhões de objetos que deverão ser endereçados, e o DNS deve dar lugar para uma nova técnica. O ONS (*Object Name Service*), desenvolvido pela EPCGlobal pode ser uma solução. Esse serviço de rede deve associar um objeto específico com o identificador de uma *tag* RFID (Atzori et al. 2010).

Outro apontamento em relação à rede é a camada de transporte. Suas principais responsabilidades são garantir a comunicação fim-a-fim entre dispositivos, controlar o congestionamento, e garantir a confiabilidade da transmissão. Na Internet, o protocolo de transporte é o TCP, porém é completamente impróprio para uso em IoT (Atzori et al. 2010). A burocrática troca de mensagens para conexões TCP acaba elevando o processamento. Isso implica em maior consumo de energia, fator crítico para muitos dispositivos utilizados em IoT, como sensores implantados no corpo humano. Como IoT é baseada em comunicação sem fio, o controle de congestionamento utilizado pelo TCP também é falho, já que *wireless* é um ambiente muito congestionado e ruidoso. Outro problema é o controle de banda, que é realizado por meio de *buffers*, e também acaba saindo muito caro computacionalmente, inviabilizando o uso do protocolo TCP para IoT (Atzori et al. 2010).

Atualmente não existem propostas para protocolos de transporte para IoT, o que leva a grande necessidade de investigação nessa área. Como ainda não existe a caracterização do tráfego da rede IoT, fica difícil estabelecer um protocolo comum a todas as arquiteturas propostas (Atzori et al. 2010).

Superar esses desafios deve ser fonte de muitos trabalhos relacionados com a IoT, e terá como consequência a ampla aceitação da tecnologia da *Internet of Things*.

2.3 Aplicações da IoT

Atualmente, grande parte do desenvolvimento tecnológico da IoT está calcado no setor privado, por meio de fóruns e consórcios da indústria. Porém existe uma crescente participação no setor público fomentando o desenvolvimento tecnológico que poderá ser aplicado na IoT. A nanotecnologia e as redes de comunicação são exemplos que fazem o setor público se aproximar da IoT, principalmente nas áreas da saúde, defesa e educação (ITU 2005).

Dependendo do contexto onde é aplicada a tecnologia, o termo “coisas” possui várias visões, sendo diferente para área de aplicações. Basicamente, existem três grandes áreas para aplicações da IoT: Sociedade, Indústria, e Meio Ambiente (Vermesan et al. 2011).

Na indústria, por exemplo, uma “coisa” pode ser um produto, um equipamento na linha de produção ou mesmo o transporte da mercadoria, ou seja, quaisquer elementos que envolvam o ciclo produtivo do item. No meio ambiente, pode ser uma árvore, construções, equipamentos para medições, entre outros. Na sociedade, pode ser quaisquer coisas que tornem a vida do ser humano assistida, possibilitando captar as grandezas que o cerca, bem como as interações do ser humano com essas coisas (Vermesan et al. 2011).

As possíveis aplicações em cada área podem ser observadas na Tab. 1.

Tabela 1. Aplicações da IoT por áreas (Vermesan et al. 2011)

Área	Descrição	Exemplos
Indústria	Atividades que envolvam transações financeiras ou comerciais entre empresas, organizações e outras entidades.	Fabricação, logística, serviços, bancos, autoridades governamentais, órgãos financeiros, intermediários, etc.
Meio ambiente	Atividades relacionadas à proteção, monitoramento e desenvolvimento de todos os recursos naturais.	Agricultura e pecuária, reciclagem, serviços de gestão ambiental, gestão de energia, etc.
Sociedade	Atividades e iniciativas relativas ao desenvolvimento e à inclusão das sociedades, cidades e pessoas.	Serviços governamentais para os cidadãos e outras estruturas da sociedade (e-participação), a info-inclusão (por exemplo, os idosos e as pessoas com deficiência), etc.

Essas aplicações podem ser muito específicas para cada área de aplicação, bem como, em determinado momento, podem estar em mais de uma área ao mesmo tempo. Isso ocorre, pois algumas aplicações podem envolver essas áreas de forma inter-relacionada. Um exemplo é o monitoramento da cadeia alimentar, ou de transporte de produtos perigosos, que por vezes acabam envolvendo as três áreas. Nesses casos, IoT está interligando por aplicações inter-relacionadas que não abrangem apenas a área da indústria. Implicações na sociedade, como o consumo dessas mercadorias, bem como no ambiente, em caso de acidentes com os produtos perigosos são relações estreitas que a IoT possibilitará aproximar (Vermesan et al. 2011).

Exemplos dessas aplicações podem ser visualizados na Fig. 8. Pode-se verificar que áreas comuns atualmente se tornarão inteligentes, passando a ser agora abordadas por

uma nova forma de designação: *smart energy*, *smart transport*, *smart products*, *smart cities*, *smart buildings*, *smart living*, *smart rural areas*, e *smart health* (Vermesan et al. 2011).

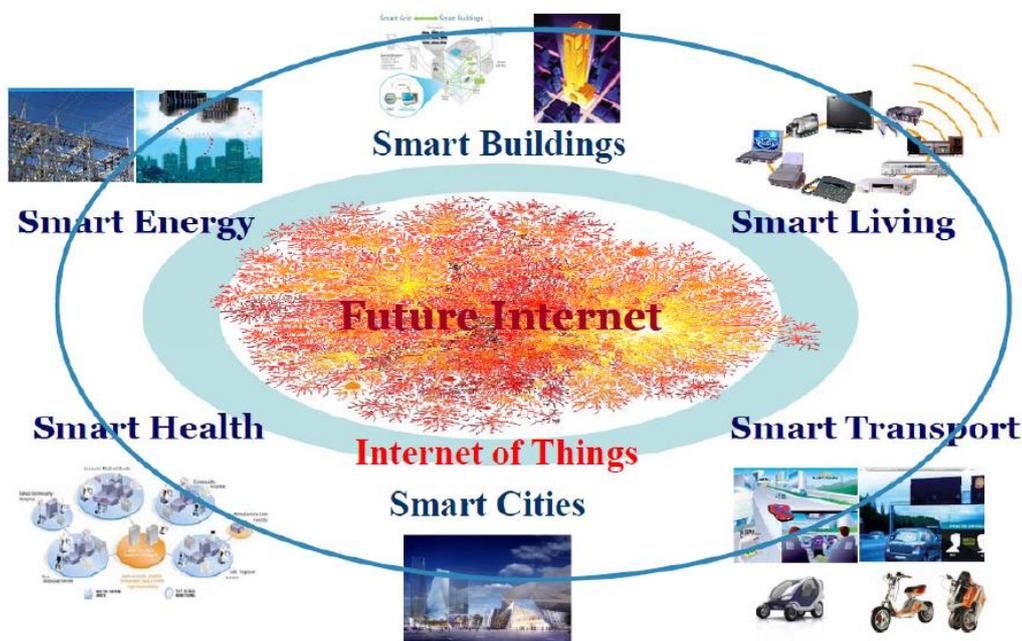


Figura 8. IoT possibilitando ambientes inteligentes (Vermesan et al. 2011).

O uso de RFID em conjunto com redes de sensores possibilitarão uma ampla gama de aplicações para IoT. Será possível (e algumas já são possíveis atualmente) que os conceitos de objetos inteligentes mostrados na Fig. 8 se tornem realidade.

Atualmente, devido às limitações tecnológicas e de mercado, apenas uma pequena parte dessas aplicações estão disponíveis para a sociedade (Atzori et al. 2010). Porém, com o avanço do conceito de IoT, muitas aplicações potenciais poderão ser utilizadas, e Atzori (Atzori et al. 2010) amplia as áreas de atuação para quatro:

- Área de transporte e logística;
- Área ambiental (casa, escritório, fábrica);
- Área pessoal e social.
- Área da saúde;

A seguir serão detalhadas as principais aplicações nessas áreas. Existem também uma diferenciação entre as aplicações diretamente aplicáveis do nosso cotidiano com as

aplicações futuristas, que ainda não existem aplicações práticas devido às limitações tecnológicas (Atzori et al. 2010).

2.3.1 Área de transporte e logística

O uso de RFID no trânsito já é uma realidade há muito tempo, inclusive em estradas brasileiras. Coladas no vidro de automóveis, as *tags* de RFID podem identificar os veículos em praças de pedágios, estacionamentos, pórticos em rodovias e postos de gasolina. Automatizando a cobrança em pedágios e estacionamentos, as quantidades de filas diminuem, melhorando a qualidade do serviço prestado e beneficiando os usuários.

Outras aplicações possíveis podem ser o monitoramento do tráfego, rastreamento de veículos de carga, auxílio aos turistas nos transportes, melhoramento da gestão de depósitos, monitoramento do status de mercadorias. Muitas dessas aplicações atualmente pode-se verificar no cotidiano na área de transporte e logística (Atzori et al. 2010).

Empresas podem trabalhar com estoque mínimo, já que as informações sobre os produtos são prontamente disponíveis. Isso resulta em um menor custo de armazenamento e menor desperdício em caso de produtos perecíveis (Atzori et al. 2010). Informações sobre a validade de produtos podem ser obtidas rapidamente, diminuindo o descarte de mercadorias vencidas (Yang et al. 2010).

Os usos de RFID e NFC possibilitam o acompanhamento desde a concepção de *commodities*² até o serviço de pós-venda de produtos. Em outras etapas como a compra de matéria-prima, produção, transporte, armazenamento, distribuição e venda de produtos também é possível obter informações detalhadas. Por muitas vezes, essas informações podem estar disponíveis em tempo real, o que ajuda no controle de mercadorias e produtos (Atzori et al. 2010).

Na indústria automobilística, RFID é utilizada para agilizar a produção de veículos, melhorando a logística, aumentando o controle de qualidade e melhorando o atendimento ao cliente. RFID possibilita identificar peças, localizar problemas e facilita na ocasião de *recalls* (Vermesan et al. 2011).

² As *commodities* são habitualmente substâncias extraídas da terra e que mantêm até certo ponto um preço universal.

Carros, ônibus, caminhões e trens, juntamente com rodovias e trilhos inteligentes equipadas com sensores, podem fornecer informações importantes para motoristas, passageiros e controle de tráfego. Sistemas de monitoramento de produtos perigosos, ou do tráfego em si, irão possibilitar aos órgãos governamentais melhor planejamento das capacidades da malha rodoviária. Sistemas que previnem colisão entre veículos possibilitarão vias mais seguras. Monitoramento de rodovias poderão agilizar o transporte de cargas para empresas de logísticas, diminuindo seu custo de transporte, bem como agilizando o fluxo e escoamento de mercadorias (Atzori et al. 2010).

Todos os dias milhões de pessoas utilizam transporte aéreo, marítimo ou terrestre pelo mundo todo. Gerenciar essas pessoas, bem como suas bagagens e percursos, torna-se cada vez mais desafiador, e a IoT possibilitará melhor controle pessoal e logístico dos passageiros, beneficiando toda a cadeia de transportes (Vermesan et al. 2011).

2.3.2 Área ambiental (casa, escritório, fábrica, meio ambiente)

Dotando de inteligência os objetos do cotidiano, pode-se ter um ambiente onde esses se comunicam entre si. Monitorando o ambiente que se encontram e gerando informações, esses objetos passam a ser de simples objetos estáticos para objetos inteligentes (Atzori et al. 2010).

Em um sentido mais amplo, conforme a Tab. 1, ambiente inteligente compreende a agricultura e pecuária, reciclagem, serviços de gestão ambiental, gestão de energia, etc. dotados de inteligência. Mas essa generalização pode ser menor, incorporando à área de meio ambiente, além daquelas contidas na Tab. 1, aplicações mais granulares. Construções, sejam elas as próprias edificações, ou um escritório, uma casa, uma planta industrial, um ambiente de lazer, têm especial atenção para aplicações IoT (Atzori et al. 2010), (Vermesan et al. 2011).

À medida que as tecnologias (principalmente *Wireless*) se tornam mais maduras e com menor custo, uma ampla gama de aplicações aparecerá. Um exemplo é a medição e transmissão de informações do consumo de eletricidade. Essa tecnologia já pode ser observada em alguns países, melhorando a forma de captação dessas informações. Combinados com eletrodomésticos inteligentes, esses sistemas poderão ser otimizados,

abrindo um vasto campo para aplicações de IoT (Atzori et al. 2010), (Vermesan et al. 2011).

Em um ambiente assistido, sensores de temperatura e umidade podem ajustar automaticamente equipamentos de ar condicionado, tornando o ambiente que monitoram mais agradável para as pessoas. Isso possibilita além de melhorar o conforto, otimizar o consumo de eletricidade (Atzori et al. 2010), (Vermesan et al. 2011).

Também é atraente para as aplicações da IoT o monitoramento do comportamento humano nesses ambientes. Desligar automaticamente equipamentos não utilizados, alterar a intensidade da iluminação, alertar as pessoas sobre riscos que possam estar expostas, como por exemplo, um bico de gás aberto no fogão, dentre outras possibilidades, são aplicações que a IoT poderá absorver. Ambientes monitorados podem ajudar idosos a ter uma qualidade de vida melhor, bem como maior longevidade (Atzori et al. 2010), (Vermesan et al. 2011).

As empresas podem se beneficiar com o uso de aplicações IoT nos ativos, tais como edifícios, máquinas, etc., que são equipados com a tecnologia. Reduzindo custos de manutenção, e evitando más condições de uso informando precocemente a necessidade de manutenção preventiva, incidentes podem ser evitados (Vermesan et al. 2011).

Produtos perecíveis como carne, frutas frescas e legumes podem ser monitorados para análise em tempo real, desde o transporte até a estocagem. Do produtor até o consumidor, condições como temperatura, umidade e choque podem ser analisadas para evitar o desperdício de produtos e adequar as condições para a comercialização (Atzori et al. 2010).

Aplicações verdes e de preservação do meio ambiente são segmentos de mercado muito promissores para o futuro e em breve haverá muitos dispositivos identificáveis sem fio utilizados para esse fim. Monitoramento de catástrofes naturais, bem como economia no consumo de eletricidade são exemplos de aplicações para IoT nesse campo (Vermesan et al. 2011).

A IoT poderá ajudar órgãos governamentais a controlar a emissão de gases poluentes, visando cumprir as metas do protocolo de Kyoto. Com programas ambientais que visam promover melhor qualidade do ar, os dispositivos podem ser acoplados

diretamente aos veículos, controlando e supervisionando a emissão de gás carbono, contribuindo para a qualidade do ar em grandes centros urbanos (Vermesan et al. 2011).

2.3.3 Área pessoal e social

Com o avanço tecnológico da Internet e das telecomunicações, novas formas de interação entre as pessoas podem ser observadas. Atualmente pode-se conversar, trabalhar, fazer compras, entre outras atividades no mundo virtual. Todo aquilo que antes se limitava às relações entre pessoas no mundo real, agora também podem ser observadas no ambiente virtual. Porém, nós vivemos em um mundo real, de objetos reais, e, para que esses objetos sejam representados no ambiente virtual, devemos utilizar tecnologias que o façam. A IoT é a tecnologia que possibilitará usar aplicações para aproximar ou interligar esses dois ambientes: o ambiente virtual e o ambiente real (Zhao et al. 2011).

O uso da IoT nas redes sociais já pode ser observado com a localização por GPS. Com um *smartphone* é possível informar nas redes sociais sua localização com o simples apertar de alguns botões. Aplicações IoT poderão facilitar a atualização de informações sobre nossas atividades sociais, com uso de RFID gerando dados sobre pessoas, eventos e lugares (Atzori et al. 2010).

Objetos perdidos podem ser facilmente localizados com o uso de RFID. Pelas aplicações IoT, poderá ser possível verificar onde um objeto perdido foi localizado pela última vez, facilitando a busca (Atzori et al. 2010).

Semelhante a aplicação para localização de objetos, a IoT pode ser utilizada para monitorar objetos que possam ser furtados. Uma aplicação pode enviar mensagens SMS em tempo real, caso algum objeto seja removido de algum ambiente (Atzori et al. 2010).

Apesar de muitos enxergarem a tecnologia IoT como invasiva da privacidade do indivíduo, muitos estão dispostos a abrirem mão da privacidade em favor da redução de custos, como por exemplo, para seguros de automóveis. Com sensores posicionados no veículo que captam a aceleração e velocidade, o preço do seguro pode ser ajustado de acordo com o estilo do motorista (Vermesan et al. 2011).

2.4 Aplicações da IoT na área da saúde e trabalhos relacionados

Devido essa área ser o foco desse trabalho de dissertação, atenção especial será dedicada para descrever algumas aplicações da IoT neste campo, servindo como base para a proposta de trabalho.

Apesar da saúde humana ser assunto de muitas pesquisas, muito ainda pode ser investigado de modo a melhorá-la. Devido ao crescimento populacional visto no último século, aliado ao declínio da taxa de natalidade, o conseqüente envelhecimento da população, o crescimento econômico e a utilização desequilibrada dos recursos sociais, a saúde humana tem-se tornado um problema social grave, principalmente em países em desenvolvimento (Zhao et al. 2011).

Na China, por exemplo, a população está cada vez mais envelhecida e o tratamento de doenças em idosos vem tornando-se um fardo para a família e a sociedade. Devido à escassez de equipes médicas e instituições de saúde, principalmente em áreas rurais, os tratamentos de saúde acabam sendo prejudicados, atingindo também os grandes centros, que acabam superlotando seus leitos (Zhao et al. 2011).

Outra situação que pode ser citada como exemplo é na África, onde a falta de médicos é um grande problema. Lá existem cerca de 40.000 pessoas para cada médico, ao passo que nos Estados Unidos esse número está entre 200 a 500 pessoas por médico (Puustjarvi and Puustjarvi 2011).

Nesse contexto, a incapacidade de atender casos urgentes e efetuar os procedimentos de primeiros socorros é evidente. Com poucas unidades médicas em países com grandes extensões territoriais, aliado ao desconhecimento de procedimentos adequados em caso de emergência pelas pessoas que cercam os doentes, a deficiência na saúde é evidente (Zhao et al. 2011).

Situação parecida pode ser verificada no Brasil. Segundo dados do próprio ministério da saúde, no país existem 1,8 médicos para cada mil habitantes, índice menor que o da Argentina (3,2), do Uruguai (3,7), do Reino Unido (2,7), de Portugal (3,9) e Espanha (4). Pelas informações divulgadas, além da falta de profissionais, o país sofre com uma distribuição desigual desses profissionais: 22 estados possuem número de médicos abaixo da média nacional e cinco deles com menos de 1 médico por mil

habitantes – Acre (0,94), Amapá (0,76), Maranhão (0,58), Pará (0,77) e Piauí (0,92). Mesmo em estados com maior relação de médicos por habitantes, como é o caso de São Paulo (2,49), em alguns municípios esta relação é muito menor, por exemplo, Registro (0,75), Araçatuba (1,33) e Franca (1,43). Esses dados tentam justificar as medidas tomadas pelo governo para amenizar o problema da saúde no país (Portal da Saúde 2013).

Analisando o exposto, pode-se ver que na saúde, principalmente em locais mais retirados do país, as aplicações IoT podem contribuir enormemente, visando melhorar esses quadros, provendo atendimento mais adequado à população.

A detecção de doenças e o tratamento geralmente ocorrem quando o paciente está em estado avançado da doença. Isso ocasiona o aumento de doenças crônicas e o tratamento é custoso e demorado, quando não é irreversível. Com uma grande quantidade de pessoas doentes, o impacto na economia e na sociedade é inevitável. Logo, prevenir que a população adoença acaba refletindo diretamente nesses setores, além de melhorar a qualidade de vida dos cidadãos (Zhao et al. 2011).

Sem dúvida alguma, as áreas analisadas anteriormente por esse trabalho mostram muitos benefícios nas aplicações da IoT para a qualidade de vida das pessoas. Porém, na área da saúde, aplicações IoT poderão beneficiar amplamente o setor. Tais aplicações podem ser resumidas em: rastreamento de objetos e pessoas (funcionários e pacientes); identificação e autenticação de pessoas; coleta automática de dados e de monitoramento de pacientes (Atzori et al. 2010).

O uso de tecnologias IoT para rastreamento de pessoas e objetos pode melhorar o controle e o fluxo de trabalho em hospitais e clínicas de saúde. Áreas de acesso restrito podem ser monitoradas, evitando o fluxo de pessoas não autorizadas. Localização de pacientes, médicos, enfermeiros e materiais podem ser otimizados com aplicações IoT (Atzori et al. 2010).

A identificação correta de pacientes pode evitar incidentes prejudiciais como administração incorreta de fármacos ou em doses erradas. Com um prontuário eletrônico, erros como esses podem ser facilmente identificados e evitados. Bens e equipamentos podem ser monitorados, evitando uso incorreto ou furtos. Com a coleta e transferência de dados de forma automática, o tempo de processamento e procedimentos necessários para

o atendimento podem ser extremamente reduzidos, o que pode salvar vidas (Atzori et al. 2010).

Com sensores colocados ou implantados nos pacientes monitorando seus sinais vitais, ou simplesmente monitorando suas atividades diárias, é possível obter em tempo real alterações no quadro de saúde. Essa rede de sensores possibilita evitar incidentes, providenciando auxílio em tempo hábil e melhorando a qualidade de vida dos pacientes (Atzori et al. 2010) (Vermesan et al. 2011). Sensores atuadores implantados no organismo de pessoas e animais podem aplicar drogas automaticamente em tempo e doses precisas, muitas vezes em função dos sintomas coletados em tempo real. *Chips* comestíveis podem ser utilizados para averiguações da saúde, e sensores podem ser posicionados em atletas para melhorar o desempenho nos treinos (Vermesan et al. 2011).

Deficientes físicos podem receber estímulos musculares ajudando no movimento de membros, bem como auxiliando na recuperação do paciente (Vermesan et al. 2011).

Dispositivos identificáveis posicionados nos pacientes poderão ser utilizados para armazenar informações que podem ser utilizadas em caso de emergência em pacientes com câncer, diabetes, acidente vascular cerebral, doença pulmonar obstrutiva crônica, deficiências cognitivas, distúrbios convulsivos e de Alzheimer. Pacientes que não podem se comunicar, ou que estejam em leitos podem ser monitorados de forma a evitar que uma emergência não possa ser identificada a tempo (Vermesan et al. 2011).

Telemedicina, e-saúde (*e-health*), sistemas de monitoramento remoto de pacientes, de fármacos, de equipamentos, combinados com tecnologias como RFID, redes de sensores, NFC, *Bluetooth*, *ZigBee*, *6LoWPAN*, *WirelessHART*, *ISA100*, *Wi-Fi*, são potenciais tecnologias para servirem de base para IoT na área da saúde (Vermesan et al. 2011).

Entre essas tecnologias potenciais, muitas já possibilitam o monitoramento de pressão sanguínea, batimento cardíaco, níveis de glicose, colesterol, temperatura, entre outras funções vitais do organismo (Vermesan et al. 2011).

Recentemente, muito se tem pesquisado na área de redes corporais sem fio, o que levou ao IEEE formar um grupo de trabalho especificamente para essa área tecnológica, o IEEE 802.15.6 WBAN (Kwak et al. 2010).

A seguir alguns exemplos de aplicação na área de saúde serão apresentados em detalhes.

2.4.1 Plataforma de monitoramento e gerenciamento remoto de saúde

Constatando que a saúde é um grande problema, especialmente na China, foi proposto por Zhao uma Plataforma de Monitoramento Remoto e de Gestão de Informações de Saúde (*Remote Monitoring and Management Platform of Healthcare Information – RMMP-HI*). Seu objetivo é monitorar a saúde e prevenir doenças, melhorando o estilo de vida das pessoas, desonerando assim o sistema de saúde pública (Zhao et al. 2011).

Com a plataforma RMMP-HI é possível monitorar em tempo real e de qualquer lugar as condições da saúde do indivíduo por meio de sensores corporais e quaisquer anomalias do estado do paciente são prontamente sinalizadas. Se os sinais forem emergenciais, unidades especializadas são avisadas para poderem prestar o atendimento adequado. Outra possibilidade é coletar dados regionais, traçando a situação de cada região e detectando epidemias, analisando dados de pacientes e não pacientes. Várias doenças podem ser monitoradas, como hipertensão, AVC, diabetes, doenças renais, doenças respiratórias e muitas outras (Zhao et al. 2011).

Tal plataforma é composta por sensores corporais, uma rede de sensores e um módulo de comunicação sem fio de curto alcance, como um telefone celular ou roteador. Além disso, uma plataforma de coleta, armazenamento e análise de dados compõe a plataforma com serviços de telemedicina. Para finalizar, existe uma equipe médica para prestar serviços aos usuários. A estrutura da plataforma pode ser visualizada na Fig. 9.

Os principais desafios apontados pelos autores são: falta de um sistema de diagnóstico único com padrão uniforme na saúde pública; falta de compartilhamento de informações de saúde entre as instituições médicas, e; falta de consciência por parte dos gestores da saúde sobre a prevenção de doenças. Assim, resolver essas questões é fundamental para a implantação de RMMP-HI (Zhao et al. 2011).

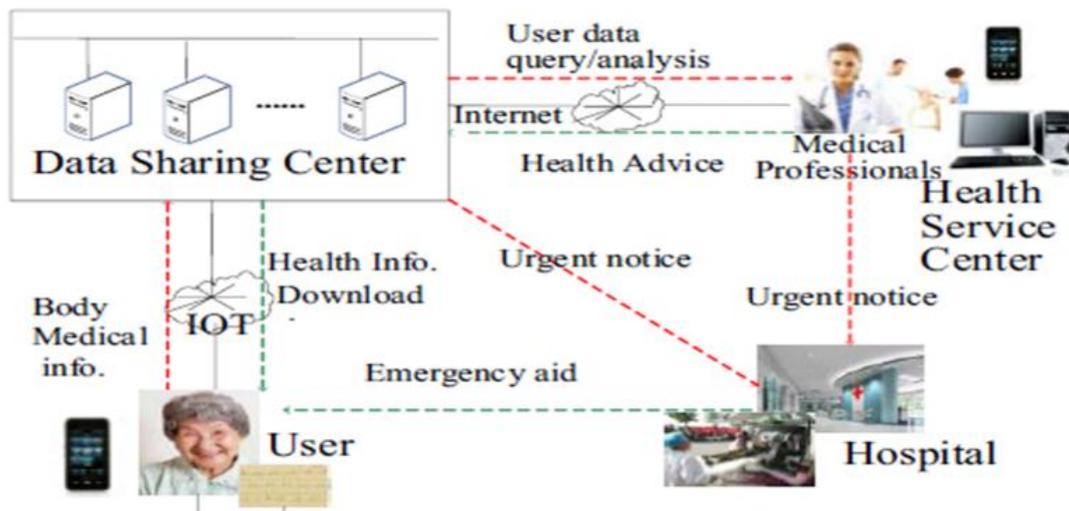


Figura 9. *Framework* de serviço RMMP-HI proposto por Zhao (Zhao et al. 2011).

2.4.2 Controle da obesidade infantil com uso da IoT

Foi proposto por Briseno o uso da IoT para controle de peso e obesidade em crianças, apontando como principais causadores desse mal, a alimentação errada e as mudanças no consumo de alimentos. Para os autores, as crianças atualmente estão se alimentando com maior frequência fora de casa do que faziam há trinta anos. Isso torna difícil controlar o que elas comem, tornando-se crianças com sobrepeso, com tendência a se tornarem adultos obesos, o que é um grande problema para a saúde pública (Briseno et al. 2012).

Os autores apontam que o uso de *m-Health* tem se tornado muito utilizado atualmente. Basicamente tais sistemas consistem na utilização de PDAs ou telefones celulares para fornecer serviços e informações de saúde. A tecnologia deve contar com formas de inserção de dados de forma eficaz e conveniente para facilitar a entrada de informações. Assim, IoT pode ser uma tecnologia que facilite essa ideia, pois integra o mundo físico com redes de computadores. Os autores apresentam uma plataforma *m-Health* com intuito de incentivar as crianças a terem hábitos alimentares melhores com ajuda dos pais, médicos e professores (Briseno et al. 2012).

A ideia principal é conscientizar as crianças sobre hábitos alimentares, principalmente quando estão na escola ou em restaurantes *fast food*, distantes dos pais. As crianças utilizam um dispositivo móvel para enviar informações para o educador, pai ou médico, e receber orientações adequadas. Os usuários captam as informações dos

alimentos por meio de *tags* inteligentes e enviam para um sistema baseado em *Web server*. Os usuários podem receber informações armazenadas no servidor sobre o alimento que estão consumindo, e o educador ou médico pode enviar informações para a criança ou para os pais. Com essa ferramenta, os pais podem interagir muito mais com os filhos, melhorando a sua alimentação (Briseno et al. 2012).

O sistema conta com três módulos básicos: módulo do usuário, o módulo tutor e o módulo educador de saúde (Briseno et al. 2012).

O módulo usuário é composto por aplicações que tem por finalidade acompanhar a alimentação da criança pela leitura de *tags* dos alimentos. As informações lidas pelos dispositivos móveis são enviadas para o servidor para análise. As *tags* que serão lidas por esse módulo devem possuir as informações nutricionais do alimento. Tais informações podem estar na forma de realidade aumentada, sendo mais atraente para a criança por serem recreativas (Briseno et al. 2012).

O módulo tutor possui um aplicativo instalado no celular dos pais ou responsável pela criança, que permite envio e recebimento de informações para acompanhamento e interação.

O módulo educador de saúde possui um sistema *Web* que recebe informações via Internet. Esse sistema possibilita enviar mensagens curtas e rápidas para o usuário, e para os pais do usuário quando necessário. Neste sistema existe um registro eletrônico de saúde do usuário (*Electronic Health Record – EHR*) com as informações do usuário, como idade, peso, tipo de dieta adequada, entre outras informações.

Como a IoT permite a comunicação entre objetos inteligentes e é baseado em RFID, os autores utilizaram RFID e smartphones com NFC para captar informações dos alimentos. Como essas tecnologias não estão presentes na maioria dos produtos e celulares, eles utilizaram também *QRcode*. Cada produto recebeu uma *tag* RFID ou uma etiqueta com *QRCode*, que são lidas pelo telefone celular com NFC ou *QRreader*. Como poucos celulares dispõem de NFC, os autores admitiram o uso de *Bluetooth* também. O uso por meio de *Bluetooth* inclui um dispositivo adaptador que lê o RFID e transmite via *Bluetooth* para o telefone celular (Briseno et al. 2012).

O estudo piloto mostrou que o uso de *QRcode* é mais atraente que RFID e *Bluetooth*, pois é mais fácil de usar e é mais abrangente que o NFC nos telefones celulares.

Além disso, o *QRreader* utiliza a câmera fotográfica do smartphone e o ato de tirar foto é mais divertido para as crianças. Alguns alimentos receberam essas etiquetas com o *QRcode* com algumas informações nutricionais como calorias, gordura saturada, sódio e açúcar. Essa técnica pode ser vista na Fig. 10 (Briseno et al. 2012).

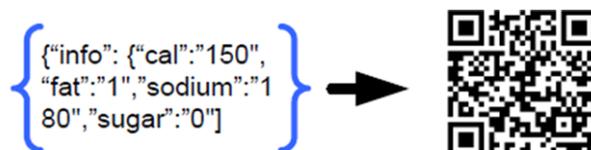


Figura 10. *QRcode* com informações nutricionais proposto por Briseno (Briseno et al. 2012).

2.4.3 IoT em áreas rurais

Um levantamento realizado por Rohokale revela que em países em desenvolvimento, as taxas de mortalidade devido à falta de tratamentos médicos oportunos são bastante elevados em comparação com outros países desenvolvidos. A maioria destas mortes seriam evitadas se melhores qualidades nos serviços de saúde existissem. Assim, foi proposta uma abordagem de IoT cooperativa para melhor monitorar e controlar os parâmetros de saúde do ser humano rural e pobre. Nessa abordagem, são monitorados sinais vitais como a pressão arterial, hemoglobina de açúcar no sangue, o crescimento celular anormal em qualquer parte do corpo, etc. (Rohokale et al. 2011).

A proposta é um mecanismo de comunicação cooperativa, que é mais adequada às redes de sensores sem fio *Ad Hoc* do que as redes de telefonia celular. Nessa arquitetura, cada nó atua como um utilizador (fonte), bem como retransmissor, retransmitindo os dados para vários nós vizinhos formando uma *Opportunistic Large Array* (OLA), sendo consideravelmente flexíveis e escaláveis. Os nós intermediários oportunamente retransmitem as mensagens para o líder (Rohokale et al. 2011).

Os sensores utilizados pelos pacientes captam as informações vitais do paciente e repassam os dados para um nó *sink*. Este nó *sink*, juntamente com outros nós formam uma estrutura OLA, e as informações urgentes serão cooperativamente encaminhadas por meio de um nó *sink* central para o *gateway*. Pela Internet, as informações irão chegar ao centro médico rural (*rural healthcare centre* – RHC). Caso a Internet não esteja disponível, a instalação de rede de telefonia móvel é uma alternativa a ser utilizada para

transmitir as informações rapidamente. O computador em rede no RHC conterà os dados em relação às questões de saúde dos pacientes cadastrados e o monitoramento pelo médico no RHC irá atualizar os dados referentes ao paciente periodicamente. Essa arquitetura pode ser melhor visualizada na Fig. 11.

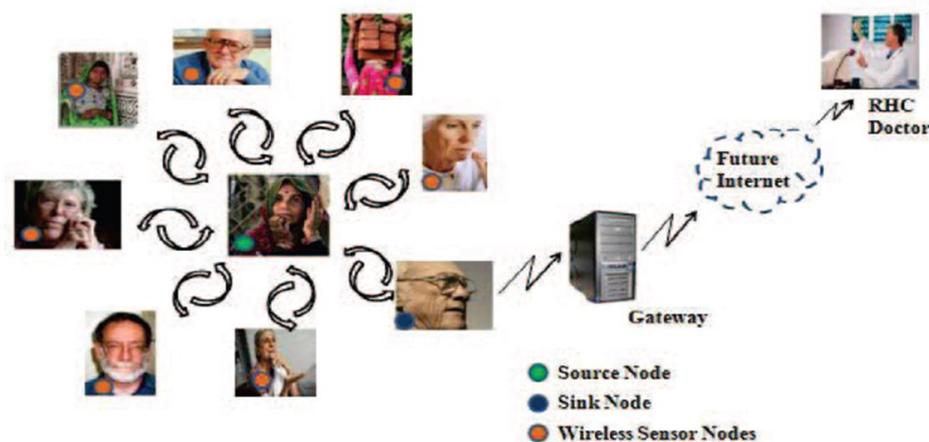


Figura 11. Arquitetura proposta por Rohokale (Rohokale et al. 2011).

No centro de saúde rural, o paciente recebe uma *tag* RFID, e mesmo analfabetos, qualquer alteração no estado de saúde é informado para o paciente. O médico e o centro de saúde são notificados sobre eventualidades no quadro de saúde do paciente, e o paciente é atendido pela equipe de emergência, caso necessário. Essa proposta visa diminuir a taxa de mortalidade em áreas rurais (Rohokale et al. 2011).

Em outro trabalho analisado, Chia propõe o uso de RFID para a identificação de pacientes para melhorar o controle da saúde em áreas rurais na Índia. Tendo em vista a dificuldade dos profissionais da saúde no campo para acessar e controlar os prontuários dos pacientes, a ideia é utilizar um prontuário eletrônico em consórcio com *tags* RFID. O principal objetivo é permitir a identificação fácil e confiável de pacientes, manter registros médicos mais precisos, possibilitar melhores condições de saúde às pessoas e melhorar a qualidade de vida das comunidades que estão distantes de um posto médico central (Chia et al. 2013).

O sistema consiste em fornecer para os pacientes *tags* RFID passivas de forma a identificá-los, e para os profissionais de saúde, leitores RFID em equipamentos com acesso ao prontuário eletrônico. Tais leitores podem estar acoplados em *laptops* ou telefones celulares dotados com uma conexão com a Internet, e assim conectados com a

base de dados no centro médico. Com essa comunicação, o sistema permite a transferência e recuperação de informações do prontuário remotamente em campo. O sistema também é capaz de ler e escrever na *tag* RFID do indivíduo localmente. Tal arquitetura pode ser vista em detalhes na Fig. 12.

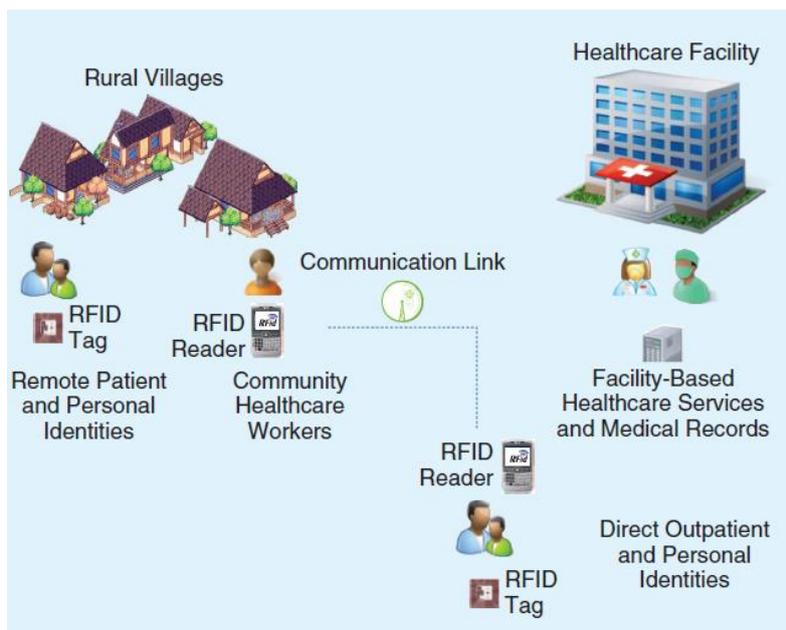


Figura 12. Arquitetura proposta por Chia (Chia et al. 2013).

Apesar da proposta ser uma solução interessante para o monitoramento de pacientes em áreas rurais, ela apresenta alguns problemas. Esses riscos podem ser problemas técnicos, fatores humanos e deficiências operacionais. Embora as questões técnicas sejam importantes, muitas vezes, são os dois últimos que pode levar a falhas prematuras da proposta (Chia et al. 2013).

Aceitação por parte das entidades envolvida no projeto deve ser plena, de modo que, para que o sistema possa funcionar corretamente, todos os envolvidos façam uso da tecnologia sem restrições. A manutenção permanente de equipamentos, a formação contínua dos profissionais de saúde, e o armazenamento preciso e seguro de registros pessoais de saúde irão determinar o reconhecimento da proposta e o apoio da comunidade (Chia et al. 2013).

Privacidade e segurança também são problemas potenciais para o sistema. Mecanismos de segurança devem garantir que o sistema não seja vulnerável, principalmente quando utilizado no campo, evitando que dados sejam interceptados por

terceiros. Sistemas de senha para acesso às *tags* RFID, bem como comunicação criptografada são soluções para esses problemas (Chia et al. 2013).

Apesar desses dois casos serem diretamente relacionados com o tema desta proposta de trabalho de dissertação, ainda são muito poucas as propostas de aplicações IoT na saúde, principalmente em áreas rurais. Assim, este trabalho visa contribuir para essa área de pesquisa da ciência da computação.

2.5 Conclusão

Neste capítulo foi exposto o resultado de levantamento bibliográfico sobre a tecnologia *Internet of Things*, apresentando a semântica, os conceitos, suas características, definições, tecnologias, arquitetura e problemas sobre IoT.

Um levantamento bibliográfico das aplicações da IoT foi elaborado e relatado por áreas, como a área do transporte e logística, área ambiental, área social e pessoal e área da saúde. Como esta última é alvo desse trabalho de dissertação foi cuidadosamente analisada. Os trabalhos relacionados com esta dissertação encontrados na literatura foram apresentados, como os trabalhos de Zhao (Zhao et al. 2011) e Rohokale (Rohokale et al. 2011), que serviram de inspiração para a proposta de estrutura de rede a ser detalhada no capítulo 3.

Os benefícios ao ser humano com novas tecnologias como a IoT são vivíveis. A integração entre homem máquina, e máquina-máquina devem ser otimizadas com o uso da IoT. Isso acabará gerando novas demandas por banda e as tecnologias de transmissão de dados deverão ser repensadas ou dimensionadas.

Como conclusão geral, apesar da tecnologia da IoT já estar muito presente no dia-dia das pessoas com produtos lançados, muitas questões continuam em aberto, principalmente no que diz respeito a aceitação por parte das pessoas, bem como na privacidade do indivíduo. Questões de padronizações e arquiteturas também devem ser superadas, mas muitos grupos de pesquisas se esforçam para chegarem a um consenso sobre a tecnologia.

Capítulo 3. Estrutura de Rede Proposta Baseada em IoT

3.1 Introdução

Neste capítulo é detalhada uma proposta de estrutura de rede para atendimento médico remoto por meio de telemedicina para comunidades rurais ou urbanas. A proposta baseia-se no uso de RFID em combinação com WBAN para o monitoramento remoto de pacientes. Esse monitoramento permite que parâmetros da saúde de pacientes possam ser assistidos remotamente e de forma contínua, visando evitar que entrem em situações de risco.

Exemplos de pacientes que possam ser monitorados incluem pacientes com diabetes, onde a rede de sensores monitora o nível de glicose de modo que, se este se alterar para limites críticos, sinalizações possam ser disparadas para que providências sejam tomadas em tempo hábil. Outro exemplo são pacientes com problemas cardíacos, onde caso venham apresentar anomalias no quadro de saúde, o sistema possa sinalizar para a equipe médica mesmo antes do paciente perceber que está entrando em risco de vida. Esses são alguns exemplos de muitas possibilidades de aplicação da estrutura de rede proposta.

A proposta evidencia duas redes distintas, sendo uma a WBAN, instalada no paciente, e a outra, composta por uma estrutura de RFID denominada como *cluster* IoT.

No *cluster* IoT, os leitores de RFID são dispostos de forma que possam retransmitir informações de maneira colaborativa. Posicionados em locais estratégicos nas cidades, como parques, estações de metrô, avenidas, entre outras localidades, ou mesmo em vilas rurais ou tribos indígenas, esse *cluster* IoT deverá repassar as informações até atingirem um nó *sink*. Esse nó possui acesso à Internet por meio de um *gateway* que encaminha os dados para um centro médico especializado. No centro médico, um *software* permite a análise de dados, gerando informações e *feedbacks* em tempo real, e se for necessário acionando equipes de socorro.

Este capítulo está dividido em duas partes. A primeira trata de forma mais geral as concepções da estrutura proposta. A segunda parte retrata de forma mais detalhada os elementos existentes nessa estrutura de rede proposta.

3.2 Estrutura proposta

A estrutura proposta utiliza o conceito de monitoramento de pacientes conforme apresentado por Zhao (Zhao et al. 2011), associada com a estrutura de rede cooperativa conforme Rohokale (Rohokale et al. 2011) propôs, ambas descritas com mais detalhes no capítulo 2 dessa dissertação.

O trabalho de Zhao prevê o monitoramento de paciente através uma rede de sensores e um módulo de comunicação sem fio de curto alcance, como um telefone celular ou roteador para transferir os dados da WBAN até um centro médico. Diferindo da proposta de Zhao, esta dissertação busca utilizar a tecnologia da *Internet of Things* para efetuar a comunicação entre WBAN e o centro médico.

O trabalho de Rohokale também prevê o monitoramento de pacientes por meio de rede de sensores corporais. Porém a ideia consiste na formação de um *cluster* composto por várias redes de sensores, e cada nó *sink* de cada WBAN transfere informações de forma cooperativa para um nó *sink* eleito como líder. Nesta dissertação, a mesma concepção de comunicação cooperativa é aplicada, porém não diretamente nos nós *sinks* das WBANs, mas nos leitores de RFID.

Pode-se ter uma visão geral do modelo de rede proposto na Fig. 13. Pacientes com WBAN recebem uma etiqueta de RFID ativa de alto alcance. As *tags* RFID ativas devem ter seu raio de alcance variando entre 5 a 200 metros, dependendo do caso. Essas *tags* são responsáveis por carregar informações triviais de sistemas RFID como a identificação do paciente por exemplo. Além disso, a localidade, os medicamentos utilizados pelo paciente, e outras informações que possam ser úteis devem ficar armazenadas na *tag*.

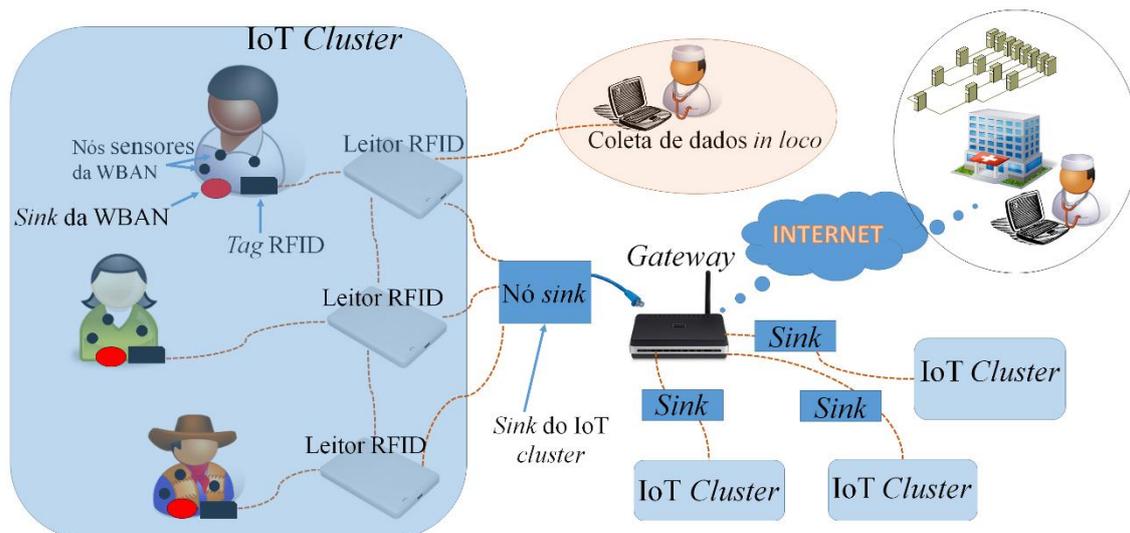


Figura 13. Modelo de rede para monitoramento de pacientes rurais com uso de IoT cluster.

Além das informações citadas, a *tag* também serve como interface entre a rede de sensores e a Internet. Os dados dos sinais vitais coletados do paciente pela rede de sensores são transmitidos para um nó *sink* local da WBAN posicionado no paciente e depois repassados para a *tag* RFID que repassa para o leitor de RFID. Os leitores então transmitem os dados para o outro nó *sink*, agora do IoT cluster e este para o gateway que entrega os dados para a Internet. Vários leitores próximos uns dos outros podem trocar informação entre si, formando uma aglomeração de leitores, o que configura um *cluster* IoT.

Na borda do *cluster*, o nó *sink* é utilizado para coletar e canalizar as informações de todo o IoT cluster para um gateway, que deve estar ligado com a Internet. Pela Internet, os dados devem ser encaminhados para um centro médico ou para um hospital de maior porte, que deverá coletar essas informações, processá-las e armazená-las.

O gateway pode receber conexão de vários clusters, sendo estes interligados por enlaces de rádio, ou mesmo via cabo.

Profissionais da saúde também podem coletar os dados *in loco* diretamente dos leitores de RFID. Isso possibilitará facilidade às consultas em que o médico se desloca até os pacientes, visitando a comunidade. Nesse caso a equipe médica deve contar com um computador móvel que possua um leitor RFID USB acoplado, bem como uma versão do *software* de controle do sistema instalado. Além de coletar os dados no local para

análise, posteriormente devem ser enviados ou descarregados no centro de médico, para serem armazenados no banco de dados.

No centro médico, um *software* interpreta as informações em tempo real, gerando relatórios e alertas para a equipe médica. Em casos que existam risco de vida do paciente, os alertas devem ser emitidos para que o socorro possa ser efetuado em tempo hábil. Assim, para complementar o sistema proposto, a arquitetura deverá fornecer um *feedback* para o médico, alguma pessoa responsável pelo paciente ou para o próprio usuário. Essa estratégia de *feedback* é detalhada na Fig. 14.

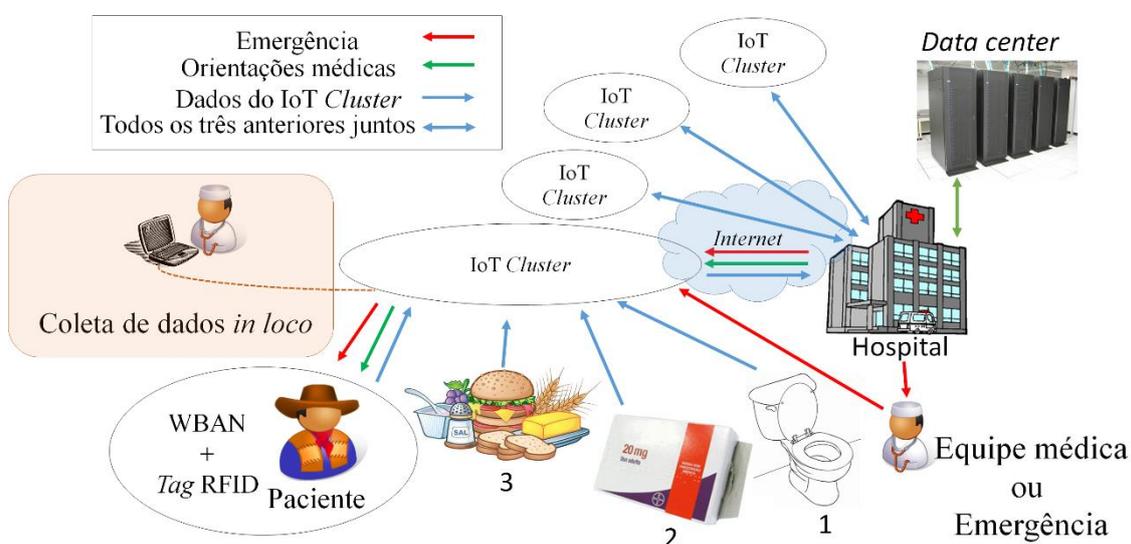


Figura 14. Estrutura de *feedback* do modelo de rede proposto.

Neste contexto outros “objetos inteligentes” podem estar inseridos, o que justifica o uso da IoT como centro da proposta. Com outros objetos do cotidiano inseridos nessa arquitetura, será possível ter uma análise melhor sobre o cotidiano do paciente e suas atividades rotineiras. Como exposto na Fig. 14, exemplos dessa análise podem incluir medições de uso do banheiro em pessoas com problemas renais (numerado como 1 na Fig. 14), controle de administração de medicamentos (numerado como 2), monitoramento de hábitos alimentares e consumo de alimentos (numerado 3), movimentação entre os cômodos do ambiente em que vive o doente entre muitas outras possibilidades. Na Fig. 14, por exemplo, existem um medicamento e um vaso sanitário com *tags* RFID. O uso tanto de um quanto de outro pode ser mensurado, e seus dados podem servir como base para análises posteriores no centro médico.

3.3 Detalhamento do modelo de rede

O modelo de rede proposto na seção anterior é composto por vários elementos, que serão detalhados a seguir.

No centro de saúde, a ponta do modelo proposto, deve existir um aparato tecnológico capaz de receber os dados gerados pelos objetos inteligentes, processá-los e armazená-los. Isso configura um ambiente com um ou vários servidores. Nesses servidores, deve existir um *software* que possibilite o monitoramento em tempo real do paciente. À medida que os dados chegam, o sistema deverá analisá-los para determinar se são dados que acusem condições normais ou um caso de emergência médica do paciente.

A WBAN coleta dados como temperatura, pressão arterial, níveis de açúcar no sangue, entre outros e em casos de condições normais de saúde do paciente, esses dados devem ser analisados e armazenados em um banco de dados para uso posterior. Em caso de urgência médica, além de analisar, um mecanismo de alerta deve ser disparado para que o socorro ao paciente ocorra. Esse socorro pode ser feito pelo médico responsável da comunidade, pelo acompanhante do paciente, ou mesmo uma equipe de primeiros socorros.

Esses servidores podem estar localizados no centro médico, em uma clínica, ou mesmo em algum *datacenter* alugado. Independentemente do local, o sistema deve estar sempre em funcionamento e disponível para acesso pelas equipes de saúde. Alugar espaço de armazenamento e processamento em *datacenters* especializados representa uma alternativa mais segura e atraente.

Como existem muitas informações sobre o paciente, muitas vezes sigilosas, essas devem ser preservadas, garantindo a privacidade e integridade do usuário do sistema. Assim, mecanismos de criptografia e segurança devem garantir que os dados estejam protegidos e que sejam acessados apenas por pessoas autorizadas. Essa camada de segurança deve ser aplicada ao *software* do sistema, aos sensores, leitores, *tags*, etc., enfim, ao sistema como um todo.

O sistema do centro médico deve estar interligado com o *cluster* IoT, de preferência em *full-time*. Essa interligação deve ser pela Internet com uma conexão

convencional. Caso o *cluster* venha ganhar uma dimensão muito grande, a conexão pode ficar sobrecarregada em determinados momentos de uso intensivo. Caso haja uma grande quantidade de objetos inteligentes na estrutura, o *throughput* também pode ser um fator crítico, comprometendo a estabilidade do sistema. Nessa situação, uma conexão melhor dimensionada deve ser disponibilizada para a interligação entre o *cluster* IoT e o centro de saúde. No capítulo 4, resultados do dimensionamento do nó *sink* e as capacidades adequadas do enlace entre o *cluster* IoT e o *gateway* obtidos mediante simulação computacional serão apresentados e discutidos.

Se a aplicação da estrutura proposta for em comunidade rural ou indígena, em alguma localidade da comunidade deve existir uma conexão com a Internet. Isso pode representar um problema, já que em algumas localidades muito afastadas a Internet pode não estar disponível. Nesses casos, uma alternativa seria o uso da rede 3G para ligar o sistema ao *cluster* IoT. Essa alternativa é atraente, pois geralmente a cobertura celular é mais presente em algumas regiões rurais. Mesmo na ausência da rede celular, o que pode ser muito comum em comunidades indígenas, uma estrutura de Internet via rádio pode ser implantada para prover acesso à Internet. Em situações extremas, onde mesmo o uso de Internet via rádio acabe não sendo possível, uma opção é usar Internet via satélite, o que pode onerar sobremaneira o sistema, mas como é de abrangência global, apresenta-se como alternativa.

Esse acesso à Internet representa a via de comunicação entre o nó *sink* e o centro médico que possui os servidores, ou mesmo conexão com algum *datacenter* onde o sistema estará armazenado. Neste local deve existir um roteador, que servirá de *gateway* para a rede.

Interligando os leitores de RFID com o *gateway*, existe um dispositivo de rede denominado nó *sink*. Esse nó recebe todo o tráfego dos leitores RFID, os converte para protocolos que possam ser utilizados pela Internet e os entrega para o *gateway*. No modelo de rede proposto, sua função é simplesmente essa. Caso seja possível, tal funcionalidade pode ser embutida diretamente no *gateway*, desde que ambos, roteador e *sink* não sofram com desempenho. Pode existir apenas um nó *sink*, ou vários, dependendo da abrangência do *cluster*. Pode haver também um nó *sink backup*, que assume caso o principal apresente problemas. Mas nem todos podem ser eleitos o nó de *backup*, já que este nó deve ter uma

conexão com a Internet, por meio do *gateway*. De forma geral, assume-se que exista apenas um nó *sink* por *cluster* IoT. O dimensionamento do *throughput* deste nó com o *gateway* deve ser bem elaborado e bem calculado para que não haja perda de pacotes por falta de banda.

O *cluster* IoT compreende toda a infraestrutura de RFID, bem como a rede de sensores. Na realidade, a rede de sensores apenas entrega os dados para o *cluster* IoT, que serve de ponte entre a WBAN e o centro de saúde.

Cada vila rural ou tribo indígena pode constituir apenas um *cluster* IoT interligado com o *gateway*. Em casos em que as vilas sejam muito próximas, mais de uma vila podem fazer parte de um mesmo *cluster*. Todas as vilas devem estar interligadas com o *gateway* para que os dados possam chegar ao centro médico. Em centros urbanos, o *cluster* IoT pode ser formado por uma cidade toda, caso esta seja de porte médio ou pequeno, ou pode ser segmentado por bairros ou vilas se for um centro urbano maior.

Os leitores RFID têm como função captar as informações das *tags* RFID posicionadas nos pacientes. Informações de outras *tags* RFID fixadas em objetos inteligentes também devem ser captadas pelos leitores que cubram o ambiente. Algumas residências da vila rural devem possuir leitores, cada um responsável por um ou mais pacientes. Se residências muito próximas possuírem pacientes, apenas um leitor pode ser posicionado entre as casas, desde que consiga cobri-las. Se a aplicação da estrutura for comunidades urbanas, um leitor poderá cobrir várias residências com pacientes. Como as *tags* RFID são de longo alcance, essa concepção poderá ser efetivada. Caso o paciente esteja acamado, o leitor pode ser posicionado próximo ao leito, o que possibilita uma *tag* RFID ativa de menor alcance, já que o paciente não deve mover-se em longas distâncias.

Além de sua função elementar, os leitores RFID devem ser dotados com a capacidade de se comunicarem entre si, de modo a ampliar o alcance de cobertura. Isso permite que um pacote de dados possa ser encaminhado entre os leitores até atingir o nó *sink*, formando uma rede *ad hoc multihop*. Apesar do destino dos dados ser o nó *sink*, este não serve como concentrador da rede, gerenciando os demais nós. Sua função é apenas servir de caminho para a interligação com o *gateway*, evidenciando a rede *ad hoc*.

Os leitores devem ser coordenados por um algoritmo de encaminhamento que permita a escolha de um nó leitor líder ou mestre. Este deve coordenar os demais

indicando qual melhor caminho percorrer para atingir o nó *sink*. Detalhes sobre o encaminhamento de pacotes deverá ser alvo de investigação em etapas futuras, ficando como proposta para trabalhos futuros.

Com a funcionalidade de comunicarem-se, vários leitores irão formar um conjunto de transceptores assíncronos operando como um sistema de comunicação conjunta distribuída. Formando um *array* onde comunicam-se de forma cooperativa, esse aglomerado de leitores configura-se em uma OLA (*Opportunistic Large Array*).

Muito aplicável às *Ad Hoc* sem fios e redes de sensores sem fios, o mecanismo de comunicação cooperativa tem cada nó da rede atuando como uma fonte de dados, bem como um retransmissor de dados de outros nós da rede, retransmitindo dados para vários nós vizinhos em seu alcance. *Opportunistic Large Arrays* (OLA) nada mais é que um conjunto de nós de rede que utilizam o mecanismo de dispersão ativo em resposta ao sinal da fonte chamado líder. Os nós intermediários retransmitem de forma oportunista as mensagens do líder para um nó *sink*. OLAs são consideravelmente flexíveis e escaláveis por natureza (Rohokale 2011).

Pode-se ter uma visão mais clara desse arranjo de leitores na Fig. 15. Os leitores devem ser posicionados de forma que possam ler as *tags* RFID, bem como possuam comunicação direta ou indireta com o nó *sink*.

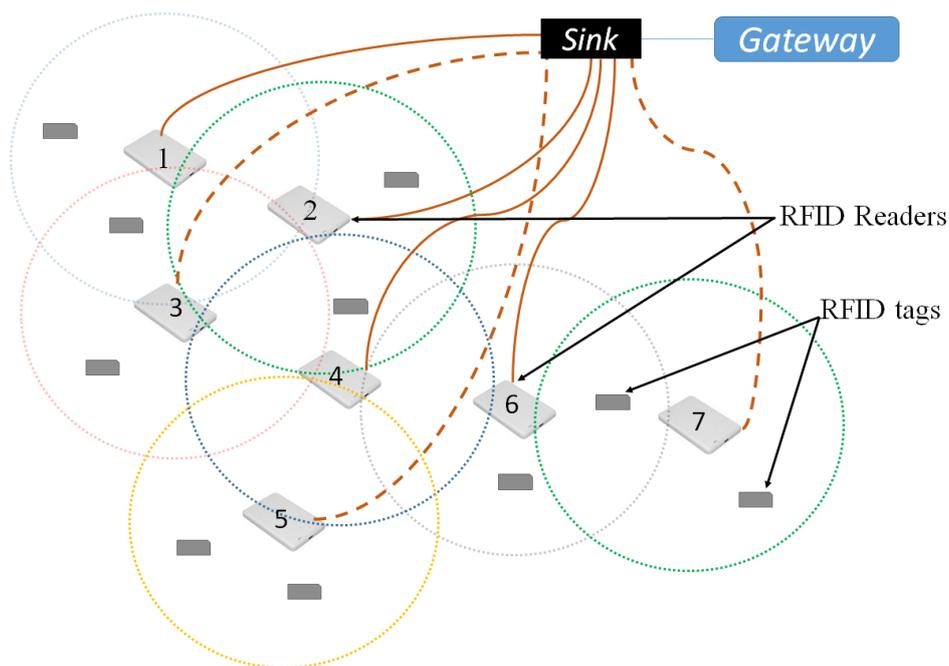


Figura 15. Estrutura de comunicação cooperativa entre os leitores RFID.

Como pode ser visto na Fig. 15, todos os leitores de RFID tem acesso potencialmente direto para o nó *sink*. Porém, alguns leitores não têm cobertura suficiente para chegar ao nó *sink*, porque eles estão longe desse nó, como mostrado em linhas pontilhadas. No entanto, os leitores podem ser movidos de um lugar para outro para melhores coberturas de RFID e neste novo rearranjo, pode ter acesso direto ao nó *sink*. Este rearranjo garante flexibilidade para a configuração da rede, e isso é possível graças ao conceito da formação em OLA, mesmo com o reposicionamento frequente dos leitores.

Cada leitor RFID deve verificar inicialmente, se há comunicação direta com o nó *sink*. Se existir, encaminha o pacote diretamente para o nó *sink*, mas deve informar o leitor mais próximo que tem uma comunicação direta com o *sink*.

O paciente deve ter uma *tag* RFID de longo alcance. Se o movimento do paciente for para além do alcance do leitor por algum tempo, por exemplo, para ir para o trabalho no campo em áreas rurais, ou se locomover até algum lugar urbano sem a cobertura do *cluster* IoT, os dados da rede de sensores devem ser armazenados na *tag* RFID, e, quando o paciente chegar dentro do alcance do leitor de RFID, os dados são transmitidos para o centro médico. Outra possibilidade poderia ser o uso de *smartphones* equipados com leitores de RFID que pode armazenar informações enquanto o paciente está *off-line*.

Dentro do raio de alcance de cada leitor, podem existir outras *tags* passivas colocadas em objetos estáticos, como mesas, eletro domésticos, etc. Essas *tags* podem ser consultadas para extrair informações úteis sobre o cotidiano do paciente, o que pode enriquecer os diagnósticos médicos. Porém, como são de curto alcance, elas devem estar posicionadas próximas aos leitores. Deve-se ter um número limitado de *tags* RFID em um *cluster* de modo a não sobrecarregar o enlace entre o nó *sink* e o *gateway*. Esse número estimado de *tags* é também alvo de investigação neste trabalho, detalhado no capítulo 4.

A *tag* RFID têm como função identificar o paciente, bem como fornecer outras informações. Identificação do médico responsável, medicamentos e horários de administração, localização exata da propriedade rural ou bairro onde reside, entre outras, são informações que podem contribuir para o monitoramento do paciente. Essas informações também podem estar armazenadas apenas no sistema no centro de saúde, mas em caso de urgência, no ato do atendimento a equipe médica de socorro pode contar

com leitores RFID manuais de curto alcance. No momento do socorro, as informações podem ser lidas da *tag* RFID e contribuirão para o atendimento do paciente.

A *tag* RFID posicionada no paciente serve também como interface entre a rede de sensor e o *cluster* IoT. Neste caso, os dados captados pela rede de sensor devem ser retransmitidos para a *tag*, e para isso deverá haver compatibilidade de protocolos. Geralmente a WBAN possui um nó central, responsável por captar todo o tráfego de informações da rede. Esse nó deve possuir um conversor de protocolos para que haja compatibilidade entre a WBAN e o RFID.

Os sensores coletam informações vitais do corpo humano, como pressão arterial, batimento cardíaco, nível de oxigênio no sangue, eletrocardiogramas, temperatura corporal, nível de glicose do sangue, movimentação corporal, entre outras. Ou seja, uma infinidade de possibilidades é possível para monitorar os pacientes. Essas informações serão enviadas para o sistema de monitoramento médico juntamente com as identificações do paciente citado anteriormente.

3.4 Conclusão

Neste capítulo foi exposto o modelo de estrutura de rede que é proposto por este trabalho de dissertação. A proposta baseia-se em dois trabalhos publicados na literatura, fundindo suas ideias principais.

A estrutura prevê o uso de uma rede de sensores corporais que geram dados do paciente, que são captados por uma *tag* RFID ativa posicionada no paciente. Essa *tag* RFID é lida por leitores de RFID os leitores que estejam próximos uns dos outros formam um *array* de leitores que repassam as informações de forma colaborativa, denominado *cluster* IoT. Arranjados dessa forma, os leitores podem trocar informações entre si, transmitindo seus dados e retransmitindo sinais de outros leitores vizinhos até atingir a borda do *cluster*, que é um nó *sink*. Este nó é interligado a um *gateway* que possui acesso à Internet e leva os dados até um centro médico onde pode ser analisado e armazenado. Essa estrutura possibilita ainda que *feedbacks* sejam gerados e repassados para médicos, equipe socorrista, acompanhantes ou o próprio paciente.

Com a estrutura de rede proposta, é possível monitorar os sinais vitais e o cotidiano dos pacientes residentes em áreas rurais ou urbanas. Além do monitoramento,

uma base de dados pode ser formada com os dados do paciente. Isso ajuda a equipe médica em diagnósticos futuros, bem como em tratamentos adequados. Essa base de dados pode ajudar também em políticas públicas para melhorar a qualidade de vida e a saúde de determinadas áreas.

Espera-se, também, contribuir para aprimorar a tecnologia na saúde pública e privada, melhorando a qualidade do atendimento de pacientes. Outra melhoria é para a qualidade de vida desses pacientes, que deverão experimentar situações mais seguras, com *feedbacks* mais rápidos e precisos da equipe médica.

Capítulo 4. Dimensionamentos da capacidade de enlace do nó *sink* e do número de *tags* RFID

4.1 Introdução

O dimensionamento da capacidade do enlace entre o nó *sink* e o *gateway* será detalhado neste capítulo, assim como a quantidade de *tags* RFID que o sistema comportará será analisada. As estimativas tanto da capacidade de enlace quanto do número de dispositivos RFID são importantes, uma vez que a estrutura proposta demanda por processamento quase em tempo real, e assim, a rede tem que trabalhar sem longos tempos de espera e sobrecarga.

Duas formas de dimensionamento de enlaces foram utilizadas. A primeira foi através de expressões teóricas com base nos modelos analíticos de filas M/M/1 e M/D/1. A segunda foi através de um simulador computacional para analisar situações que teoricamente são difíceis de tratar como no caso de pacotes de comprimentos fixos e tamanho de *buffer* limitado.

Este capítulo está dividido em quatro partes. Na primeira parte é apresentado o modelo de rede da estrutura proposta para a análise. Na segunda parte, o dimensionamento teórico é apresentado utilizando modelos analíticos de filas. Na terceira parte, usando outros parâmetros de rede, tais como a influência de *buffer* finito, as capacidades são estimadas por simulação computacional. Por fim, na quarta parte, uma estimativa de número de *tags* RFID que o sistema comportará é obtida através dos resultados simulados.

4.2 Modelo de rede para a análise

Para modelar a rede proposta para fins de dimensionamento, considera-se a WBAN como geradora de pacotes e os leitores de RFID como uma rede para entregar os pacotes para o nó *sink*, como mostrado na Fig. 16. O modelo do nó *sink* é apenas um *buffer* para armazenamento de pacotes e um enlace de capacidade C bits/seg.

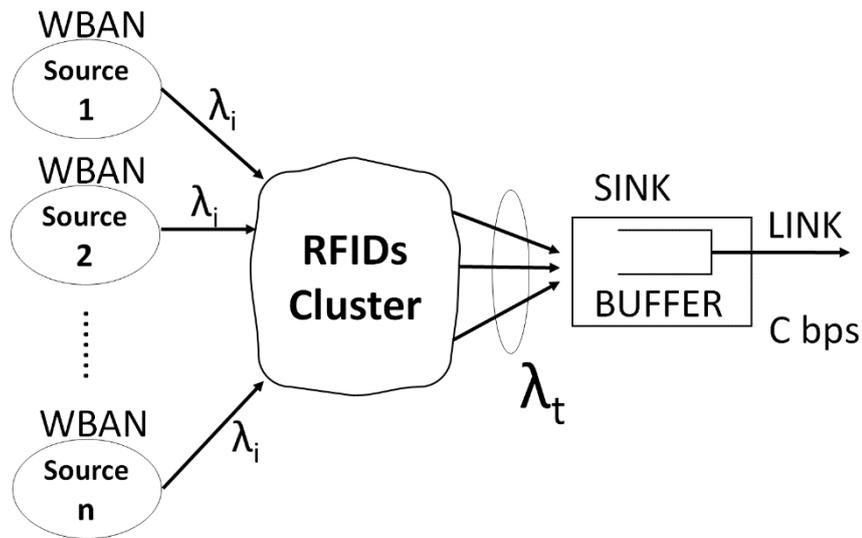


Figura 16. Modelo de estrutura de rede para a estimativa da capacidade do enlace do nó *sink*.

Para a estimativa da capacidade de enlace, a taxa total de pacotes que chega ao *buffer* é $\lambda_t = \sum_i^N \lambda_i$, onde λ_i é a taxa de saída de cada WBAN. Como não há ainda modelos de distribuição de saídas de pacotes de uma WBAN, e nem ações que os pacotes sofrerão em um *cluster* de RFIDs, será considerado que os pacotes chegam ao nó *sink* obedecendo a uma distribuição de *Poisson*. Outro motivo que levou assumir esse modelo de chegadas foi o fato de que a WBAN deve gerar um tráfego muito baixo e intermitente por paciente, gerando poucos pacotes de dados e esses, de tamanhos médio muito pequenos. Logo, dois tipos de distribuição do tamanho do pacote serão utilizados, um com distribuição exponencial negativa e outro com comprimento fixo, caracterizando as filas dos tipos M/M/1 e M/D/1 (Motoyama 2012), (Mata 2002) (Oliveira 1998).

4.3 Dimensionamento teórico do enlace do nó *sink*

O critério de projeto adotado para o dimensionamento de enlace é considerar que os tempos médios de espera de pacote no *buffer* e de transmissão de pacote sejam pequenos. A soma desses tempos será denominada, nesta dissertação, de tempo de espera no sistema, ou $E\{T_s\}$. Três valores são considerados para $E\{T_s\}$: 0,1 segundos, 0,2 segundos e 0,3 segundos. Esses valores representam com boa aproximação os atrasos toleráveis em tratamento de dados em tempo real. Por exemplo, o atraso tolerável para uma conversação telefônica que não ocasiona desconforto aos usuários é em torno de 0,1

segundos em uma direção. Supõe-se que para o tratamento de dados médicos, o atraso possa ficar em torno desse valor ou possam suportar valores maiores como 0,2 ou 0,3.

4.3.1 Dimensionamento teórico para a fila M/M/1

Para este modelo, o tempo de espera no sistema, isto é, o tempo gasto pelo pacote no *buffer*, mais o tempo de transmissão do pacote, é dada pela Eq. 1 (Motoyama 2012).

$$E\{T_s\} = \frac{1}{\mu - \lambda_t} \quad (1)$$

onde $E\{T_s\}$ é o tempo de espera no sistema, λ_t é a taxa de chegada de pacotes e μ é a taxa de saída de pacote do *buffer*. A taxa de saída μ pode ser escrita em função da capacidade do enlace C como:

$$\mu = \frac{C}{E\{X\}} \quad (2)$$

onde $E\{X\}$ é o comprimento médio do pacote em *bits*. Substituindo a Eq. 2 na Eq. 1, obtém-se a Eq. 3.

$$E\{T_s\} = \frac{1}{\frac{C}{E\{X\}} - \lambda_t} \quad (3)$$

Com o critério adotado, a capacidade C pode ser calculada em função de $E\{T_s\}$, $E\{X\}$ e da taxa de entrada λ_t , conforme o desenvolvimento abaixo:

$$\begin{aligned} E\{T_s\} &= \frac{1}{\frac{C}{E\{X\}} - \lambda_t} \\ E\{T_s\} \cdot \left(\frac{C}{E\{X\}} - \lambda_t \right) &= 1 \\ \frac{C}{E\{X\}} &= 1 + E\{T_s\} \cdot \lambda_t \\ C &= \frac{(1 + E\{T_s\} \lambda_t) E\{X\}}{E\{T_s\}} \end{aligned} \quad (4)$$

A Eq. 4 serve de base para o dimensionamento teórico exposto nesta seção para o modelo de fila M/M/1.

A Fig. 17 mostra exemplos numéricos para a estimativa da capacidade de enlace para três valores de $E\{T_s\}$ em função da taxa de entrada de pacotes quando a Eq. 4 é resolvida numericamente para vários valores de λ_t . O valor médio do comprimento de pacote $E\{X\}$ adotado é 1000 *bits* conforme proposto por Egbogah e Fapojuwo (Egbogah & Fapojuwo 2013). Como pode ser visto na figura, para menores tempos de espera do sistema, uma maior capacidade de enlace é necessária. Por exemplo, para $\lambda_t = 10$ as capacidades de enlace necessárias são 20 Kb/s, 15 Kb/s, e 13,3 Kb/s, para o tempo de 0,1 segundos, 0,2 segundos e 0,3 segundos de espera, respectivamente.

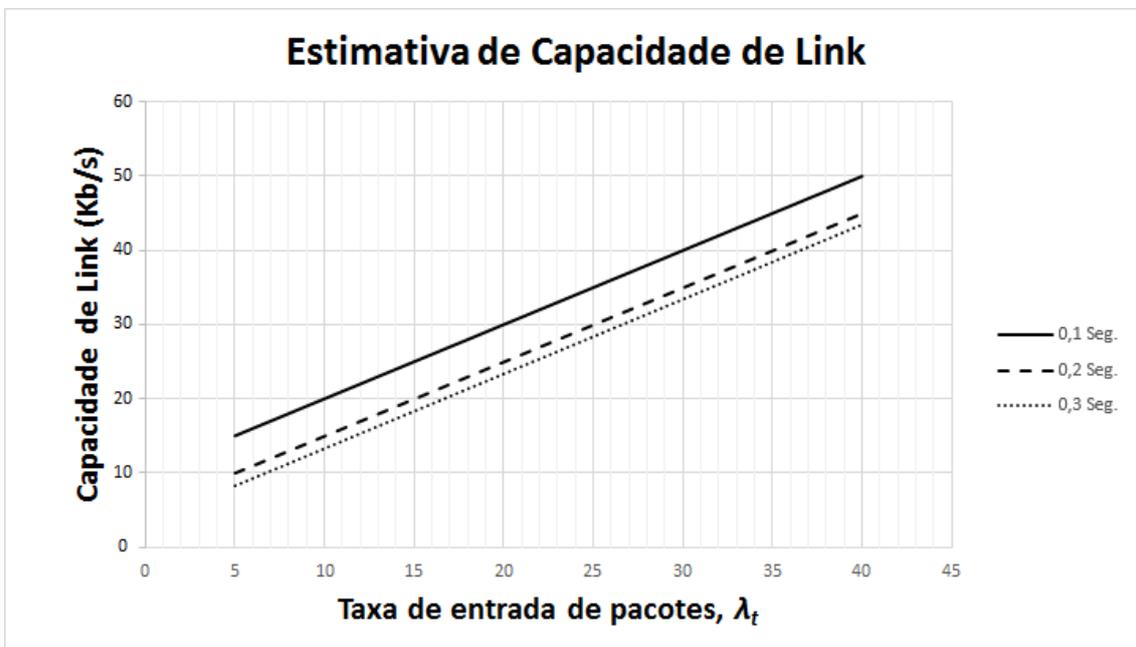


Figura 17. Capacidade de enlace em função da taxa de pacote de entrada para vários valores de tempo de espera no sistema para o modelo M/M/1.

O número de *tags* RFID também pode ser estimado, considerando-se que a capacidade é dada. Como essas *tags* serão responsáveis por gerar o tráfego da rede e existem várias *tags* em um *cluster*, é importante dimensionar a quantidade que a rede pode suportar. A partir da Eq. 1 e utilizando o desenvolvimento abaixo, obtém-se a expressão para a taxa total λ_t de chegada de pacotes.

$$E\{T_s\} = \frac{1}{\mu - \lambda_t}$$

$$E\{T_s\} = \frac{1}{\frac{C}{E\{X\}} - \lambda_t}$$

$$\begin{aligned}
E\{T_s\} \left(\frac{C}{E\{X\}} - \lambda_t \right) &= 1 \\
\left(E\{T_s\} \frac{C}{E\{X\}} \right) - (E\{T_s\} \lambda_t) &= 1 \\
\left(E\{T_s\} \frac{C}{E\{X\}} \right) - 1 &= (E\{T_s\} \lambda_t) \\
\lambda_t &= \frac{E\{T_s\} \frac{C}{E\{X\}} - 1}{E\{T_s\}} \tag{5}
\end{aligned}$$

Considerando o tempo de espera no sistema, $E\{T_s\} = 0,1$ segundos e as capacidades de canais de 50 Kb/s, 100 Kb/s, e 200 Kb/s, as taxas λ_t , usando a Eq. 5, serão 40 pacotes/s, 90 pacotes/s e 190 pacotes/s, respectivamente. Considerando-se uma estimativa de um pacote/s para cada *tag* RFID, os números de RFIDs que podem ser acomodados no sistema são 40, 90 e 190. A Tab. 2 mostra o número de *tags* RFID que podem ser acomodados para outros valores de $E\{T_s\}$ com as mesmas capacidades.

Tabela 2. Números de *tags* RFID em função da capacidade de enlace considerando uma taxa de um pacote/s por RFID para o modelo M/M/1

$E\{T_s\}$ (segundos)	Capacidade (Kb/s)		
	50	100	200
0,1	40	90	190
0,2	45	95	195
0,3	46	96	196

4.3.2 Dimensionamento teórico para a fila M/D/1

O modelo analítico de fila M/D/1 possui as mesmas características do modelo M/M/1, porém o comprimento dos pacotes é fixo. Para este modelo o tempo de espera no sistema é dado por (Motoyama 2012):

$$E\{T_s\} = \frac{1}{\mu - \lambda_t} \left(1 - \frac{\rho}{2} \right) \tag{6}$$

onde ρ representa a intensidade de tráfego do sistema, e é definida como:

$$\begin{aligned}
\rho &= \frac{\lambda_t}{\mu} \\
\rho &= \frac{\lambda_t}{\frac{C}{E\{X\}}} = \frac{\lambda_t \cdot E\{X\}}{C} \tag{7}
\end{aligned}$$

Substituindo a Eq. 7 na Eq. 6, $E\{T_s\}$ pode ser reescrito como:

$$E\{T_s\} = \frac{1}{\frac{C}{E\{X\}} - \lambda_t} \left(1 - \frac{\lambda_t \cdot E\{X\}}{2C} \right) \quad (8)$$

A expressão da capacidade C , dado que $E\{T_s\}$ seja conhecido, pode ser obtida pelo desenvolvimento abaixo:

$$\begin{aligned} \left(\frac{C}{E\{X\}} - \lambda_t \right) E\{T_s\} &= 1 - \frac{\lambda_t \cdot E\{X\}}{2} \\ \left(\frac{C}{E\{X\}} \cdot E\{T_s\} \right) - (\lambda_t \cdot E\{T_s\}) &= \frac{C - \frac{\lambda_t \cdot E\{X\}}{2}}{C} \\ \left(\frac{C^2}{E\{X\}} \cdot E\{T_s\} \right) - C(\lambda_t \cdot E\{T_s\}) &= C - \frac{\lambda_t \cdot E\{X\}}{2} \\ \left(\frac{C^2}{E\{X\}} \cdot E\{T_s\} \right) - C(\lambda_t \cdot E\{T_s\} + 1) + \frac{\lambda_t \cdot E\{X\}}{2} &= 0 \\ \frac{C^2}{E\{X\}} - C \left(\frac{\lambda_t \cdot E\{T_s\} + 1}{E\{T_s\}} \right) + \frac{\lambda_t \cdot E\{X\}}{2 E\{T_s\}} &= 0 \\ C^2 - C \cdot E\{X\} \left(\frac{\lambda_t \cdot E\{T_s\} + 1}{E\{T_s\}} \right) + \frac{\lambda_t \cdot E\{X\}^2}{2 E\{T_s\}} &= 0 \end{aligned}$$

Definindo,

$$b = -E\{X\} \left(\frac{\lambda_t \cdot E\{T_s\} + 1}{E\{T_s\}} \right)$$

e

$$d = \frac{\lambda_t \cdot E\{X\}^2}{2 E\{T_s\}}$$

a capacidade C é calculada pela fórmula:

$$C = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4d}}{2} \quad (9)$$

A Eq. 9 serve de base para o dimensionamento teórico exposto nesta seção para o modelo de fila M/D/1.

A Fig. 18 mostra exemplos numéricos para a estimativa da capacidade de enlace para três valores de $E\{T_s\}$ em função da taxa de entrada de pacotes quando a Eq. 9 é resolvida numericamente para vários valores de λ_t . Assim como no modelo M/M/1, como pode ser visto na figura, para menores tempos de espera do sistema, uma maior capacidade de enlace é necessária. Por exemplo, para $\lambda_t = 10$ as capacidades de enlace necessárias são 17 Kb/s, 13 Kb/s, e 11,9 Kb/s, para o tempo de 0,1 segundos, 0,2 segundos e 0,3 segundos de espera respectivamente, capacidades ligeiramente inferiores que no caso exponencial.

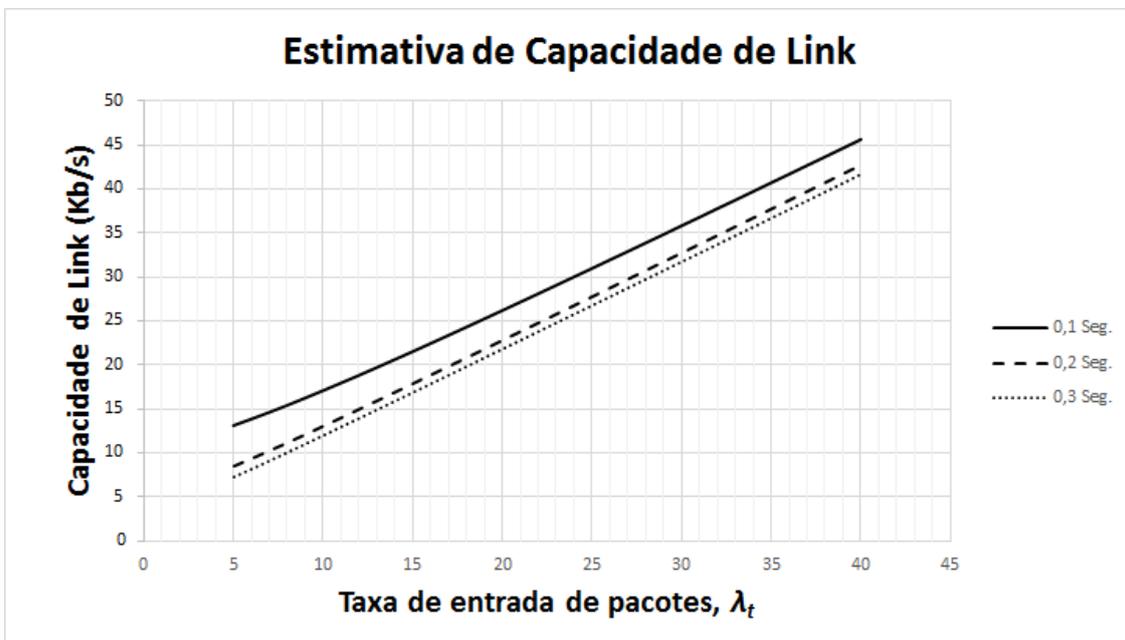


Figura 18. Capacidade de enlace em função da taxa de pacote de entrada para vários valores de tempo de espera no sistema para o modelo M/D/1.

A estimativa do número de *tags* RFID para o caso determinístico pode ser obtida, também, considerando-se que a capacidade C seja conhecida, ou dada, da mesma forma que nos casos exponenciais. Para este caso, a taxa total λ_t pode ser desenvolvida a partir da Eq. 8, como mostrado a seguir:

$$E\{T_s\} = \frac{1}{\frac{C}{E\{X\}} - \lambda_t} \left(1 - \frac{\lambda_t \cdot E\{X\}}{2C} \right)$$

$$\frac{C}{E\{X\}} E\{T_s\} - \lambda_t \cdot E\{T_s\} + \frac{\lambda_t \cdot E\{X\}}{2C} = 1$$

$$\lambda_t \left(\frac{E\{X\}}{2C} - E\{T_s\} \right) = 1 - \frac{C}{E\{X\}} E\{T_s\}$$

$$\lambda_t = \frac{1 - \frac{C}{E\{X\}} E\{T_s\}}{\frac{E\{X\}}{2C} - E\{T_s\}} \quad (10)$$

Considerando o tempo de espera no sistema, $E\{T_s\} = 0,1$ segundos e as capacidades de canais de 50 Kb/s, 100 Kb/s, e 200 Kb/s como no caso exponencial, a taxa de entrada total do pacote, λ_t , usando a Eq. 10, será de 44 pacotes/s, 94 pacotes/s e 194 pacotes/s, respectivamente. Considerando-se uma estimativa de 1 pacote/s para cada *tag* de RFID, os números de RFIDs que podem ser acomodados no sistema são 44, 94 e 194, números ligeiramente superiores que o caso exponencial. A Tab. 3 mostra o número de *tags* RFID que podem ser acomodados para outros valores de $E\{T_s\}$ com as mesmas capacidades.

Tabela 3. Números de *tags* RFID em função da capacidade de enlace considerando uma taxa de 1 pacote/s por RFID para o modelo M/D/1

$E\{T_s\}$ (segundos)	Capacidade (Kb/s)		
	50	100	200
0,1	44	94	194
0,2	47	97	197
0,3	48	98	198

4.4 Dimensionamento por simulação computacional do enlace do nó *sink*

Para analisar situações de filas em que as soluções teóricas são difíceis de resolver como no caso de fila M/M/1 com *buffer* finito, ou no caso de uma fila M/D/1 com *buffer* finito que não possui expressão explícita, desenvolveu-se um simulador em *software* para estudar esses casos.

O *software*, desenvolvido em linguagem de programação Java, foi especialmente concebido para o dimensionamento de enlaces, visando obter as capacidades de acordo com três valores específicos do tempo de espera no sistema, 0,1 segundos, 0,2 segundos e 0,3 segundos. Uma visão geral do *software* desenvolvido, com as capturas de exemplos rodados, é apresentada no Apêndice A.

4.4.1 Algoritmo do simulador

O algoritmo do simulador tem como principal objetivo estimar a capacidade de enlace do modelo de rede exposto na Fig. 16. Esta capacidade deve ser tal, que os pacotes no sistema devem esperar um curto espaço de tempo, de modo a não sofrer com um tempo de espera no sistema excessivo. Assim, como resultado da simulação, obtém-se o tempo médio de espera de cada pacote, dada uma determinada capacidade do enlace de saída do sistema.

O algoritmo desenvolvido tem como princípio a chegada aleatória de pacotes no sistema e uma disciplina de escalonamento FIFO. Se o sistema está vazio, o que representa que não há pacotes no servidor, e conseqüentemente no *buffer*, ele é prontamente atendido. Novos pacotes que chegarem e encontrarem o servidor ocupado, serão armazenados no *buffer* e serão atendidos na ordem de chegada. Essa situação pode ser visualizada pela Fig. 19.

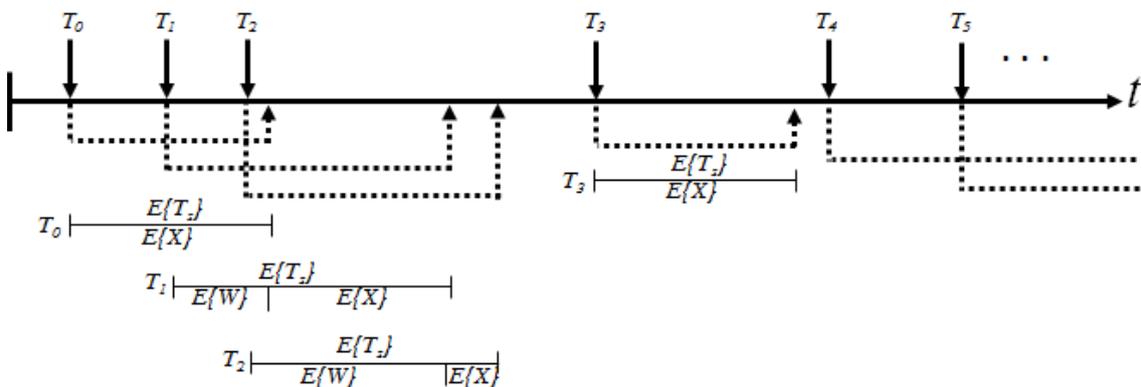


Figura 19. Comportamento da fila no algoritmo do simulador.

A mesma ideia básica exemplificada na Fig. 19 pode ser aplicada para modelos com *buffers* limitados ou ilimitados, bem como com comprimento exponencial negativo de pacotes ou fixo. Pela Fig. 19, o comportamento é de uma fila M/M/1, já que os comprimentos dos pacotes são de tamanho variável. Porém, como o comprimento do pacote não interfere no modelo, o mesmo algoritmo foi utilizado para fila com tamanho de pacotes fixo. Cada instante T_x representa a chegada de um pacote no sistema. As linhas pontilhadas abaixo da linha horizontal representam o tempo gasto no sistema $E\{T_s\}$ por cada pacote. Esse tempo é o resultado da soma dos tempos $E\{W\}$ e $E\{X\}$, que são respectivamente o tempo gasto no *buffer*, quando for o caso, e o comprimento do pacote em tempo.

Para a conversão do comprimento do pacote em *bits* para seu comprimento em tempo, a seguinte equação é usada:

$$E\{X\} = \frac{1}{\mu C} \quad (12)$$

onde $E\{X\}$ é o comprimento do pacote em tempo e C é a capacidade do enlace de saída em *bits/s*.

Pode-se verificar na Fig. que os tempos T_1 e T_2 fazem uso do *buffer*, pois encontram o sistema trabalhando no pacote que chegou em T_0 e assim $E\{W\} \neq 0$. É possível notar também que, tanto para T_0 quanto T_3 , o parâmetro $E\{W\}$ não existe, portanto $E\{W\} = 0$, já que sistema está vazio no instante da chegada desses pacotes. Com isso, T_0 e T_3 ao entrar no sistema são prontamente atendidos, não utilizando o *buffer*.

Quando existe limite na capacidade do *buffer*, pressupõe-se que alguns pacotes de dados serão perdidos, caso encontre o sistema lotado. Isso é mostrado na Fig. 20.

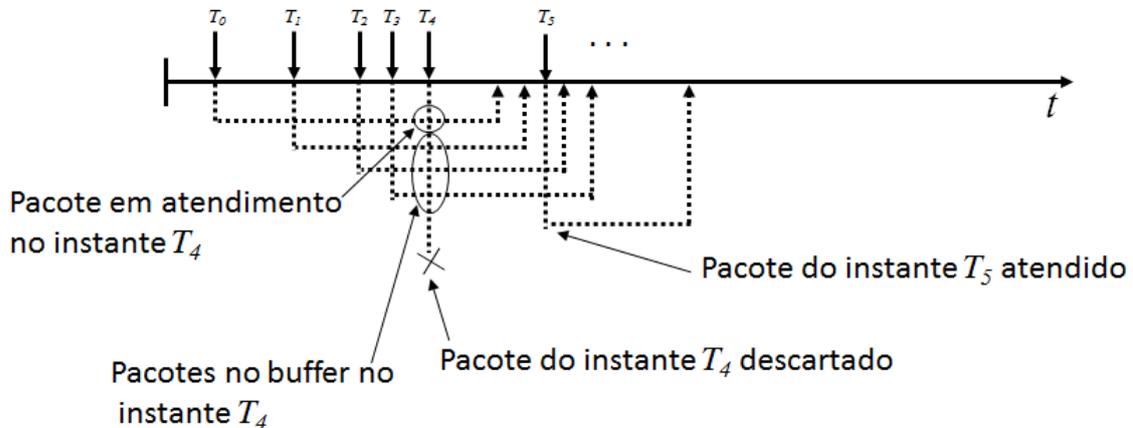


Figura 20. Comportamento da fila com *buffer* limitado no algoritmo do simulador.

Considera-se na Fig. 20 um modelo com um *buffer* limitado a 3 posições, ou seja, apenas três pacotes poderão esperar na fila, e o restante, se o *buffer* estiver cheio, serão descartados. Assim, na Fig. 20, o pacote no instante de chegada T_0 é prontamente atendido, pois encontra o sistema vazio. Os pacotes que chegam nos instantes T_1 , T_2 e T_3 encontram o sistema ocupado, processando o pacote do instante T_0 , portanto irão esperar no *buffer* por atendimento. O pacote do instante T_4 chega no sistema antes de terminar o processamento do pacote T_0 . Como o sistema possui um servidor, e três posições no *buffer*, no instante T_4 existem quatro pacotes no sistema, ou seja, o sistema está

completamente lotado e assim esse pacote não poderá ser aceito pelo sistema, portanto é descartado. Quando o pacote do instante T_5 chega ao sistema, os pacotes dos instantes de chegada T_0 e T_1 já foram processados e deixaram o sistema, o pacote T_2 está sendo atendido e o pacote T_3 está esperando no *buffer*. Assim, nesta situação, o pacote do instante T_5 caberá no *buffer*, e poderá ser atendido.

As mesmas situações descritas anteriormente, tanto para *buffer* finito quanto para *buffer* infinito, bem como para pacotes com tamanho fixo e com tamanho exponencial negativo foram previstas. Para o desenvolvimento do simulador, esses foram os parâmetros utilizados, e serviram como embasamento para o desenvolvimento da simulação para a estimativa da capacidade do enlace.

Para realizar a simulação, uma estrutura de repetição deve ser processada até o número total de pacotes lançado pelo usuário. Dentro desse laço, valores aleatórios são gerados entre 0 e 1 que representam as chegadas no sistema. Outros valores aleatórios gerados são utilizados para os casos de modelo de fila M/M/1 e M/M/1/n para encontrar o valor de C , já que estes são variáveis para estes casos. Para os casos de modelos de filas M/D/1 e M/D/1/n, esse valor é fixo, obtidos à partir de $1/\mu C$. O tempo total da simulação é calculado pela somatória de todas as chegadas no sistema, assim como o comprimento total de pacotes, onde soma-se todos os comprimentos dos pacotes. Dentro do laço existe um teste condicional para verificar se o *buffer* está vazio, e se estiver atribuído valor de uso do *buffer* como 0, senão o valor deverá ser o valor da próxima saída do sistema menos o comprimento do pacote. A próxima saída é obtida à partir da soma do comprimento do pacote, mais o tempo total do sistema mais o uso do *buffer* pelo pacote. Para o caso de *buffers* limitados, dentro da estrutura condicional ainda existe um cálculo para verificar os pacotes que estão no sistema e determinar se o pacote poderá ser atendido ou será descartado.

Como se deseja obter o valor C para cada valor de $E\{T_s\}$ e este segundo parâmetro não é conhecido ainda, o algoritmo utiliza o valor de λ_t inicial e considera uma taxa de saída μ o dobro de λ_t . Este parâmetro é estimado aleatoriamente já que não se sabe o valor certo de μ e este será ajustado de acordo com o tempo de espera obtido. A simulação é realizada variando a taxa de entrada λ_t para satisfazer o especificado tempo de espera $E\{T_s\}$. Se o valor simulado de $E\{T_s\}$ não se encontra no intervalo de 99% e 100% do

$E\{T_s\}$ pretendido, a taxa de saída μ é redefinida incrementando se é menor do que 99% ou diminuindo se for superior a 100% e nova simulação é realizada. Quando o valor de $E\{T_s\}$ simulado está no intervalo especificado (99% a 100% do desejado), a taxa de saída é obtida como solução e, lembrando que a taxa μ é diretamente proporcional à capacidade, obedecendo a Eq. 2, as capacidades podem ser calculadas.

A quantidade de pacotes que entram no sistema é flexível ao usuário do simulador, porém, dentro de certos limites. Para que os resultados não sejam muito distorcidos, o limite mínimo de pacotes entrando no sistema aceito pelo simulador é de quinhentos, assim como, devido aos limites dos vetores do algoritmo, o número máximo de pacotes aceito é de cinco milhões. Quanto maior for a quantidade de pacotes melhor é a amostragem obtida, porém, maior tempo de processamento é necessário.

Nos resultados obtidos e detalhados nas subseções seguintes, considerou-se que a quantidade de pacotes entrando no sistema para cada simulação foi de um milhão de pacotes, já que a partir desse valor os resultados têm poucas variações.

4.4.2 Estimativas para a capacidade de enlace do nó *sink*

1° caso: *Buffer* ilimitado

A Fig. 21 mostra as capacidades estimadas por simulação considerando um *buffer* infinito para os três valores de $E\{T_s\}$ citados, em função da taxa de entrada do pacote. Como pode ser visto na figura e confrontando os valores exposto para o modelo teórico analisado na subseção 4.3.1, chega-se a mesma conclusão, onde a necessidade de menor tempo de espera no sistema, uma maior capacidade de enlace é necessária. Por exemplo, para $\lambda_r = 10$ as capacidades de enlaces necessárias são 20 Kb/s, 15 Kb/s e 13,33 Kb/s, para os tempos de espera de 0,1 segundos 0,2 segundos 0,3 segundos, respectivamente, ou seja, os mesmos valores obtidos teoricamente.

Estimativa de Capacidade de Enlace

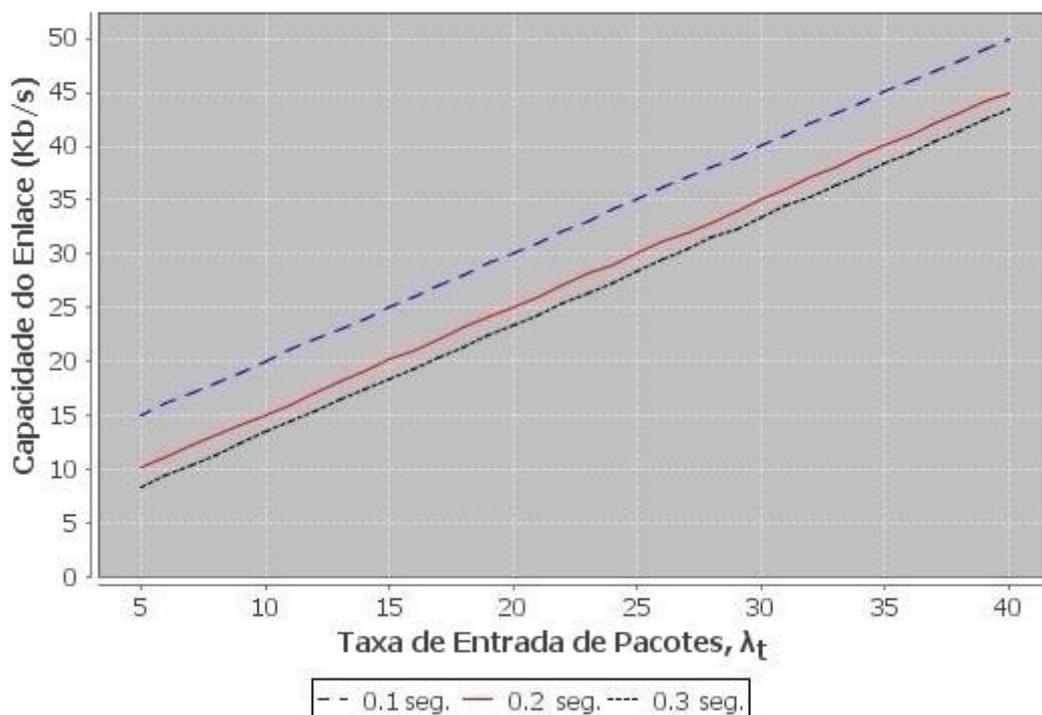


Figura 21. Capacidade do enlace em função da taxa de entrada de pacotes obtidos através de simulação

2º caso: *Buffer* limitado

Em situações práticas, o pressuposto de *buffer* ilimitado não é realista, ou seja, o *buffer* tem sempre um certo limite de posições de armazenamento de pacotes. Para estudar a influência da perda de pacotes na estimativa de capacidade, as simulações foram realizadas utilizando *buffer* limitado com 3, 5 e 10 posições. Além desses parâmetros, considerou-se uma taxa de perda de pacote de até 2%, que é um valor muito baixo e que representa menores retransmissões.

A Fig. 22(a) mostra os resultados de simulação com um *buffer* de 3 posições. Como pode ser visto na figura, para uma taxa de entrada de pacotes de $\lambda_t = 10$, as capacidades necessárias para os tempos médios de espera de 0,1 segundos, 0,2 segundos e 0,3 segundos tem que ser 18 Kb/s, 11 Kb/s e 7,5 Kb/s, respectivamente. As capacidades necessárias do enlace do nó *sink* são mais baixas do que no caso com *buffer* infinito. No entanto, como mostrado na Fig. 22(b), as probabilidades de perda são 5%, 17% e 32%, para esses tempos de espera. Isto significa que, embora as capacidades requeridas sejam mais baixas, não é possível trabalhar nestas situações porque a perda de pacote é muito alta, a menos que a taxa de entrada do pacote seja reduzida, para obter uma perda de

pacote razoável, em torno de 2%. Neste caso, a taxa de entrada deve ser inferior a cinco pacotes/seg. Na Fig. 22(a) pode-se ver também que, quando a taxa de entrada do pacote é elevada, as capacidades necessárias chegam à saturação, o que significa que as três posições do *buffer* estão sempre cheias e o excedente de pacotes que chegam são perdidos.

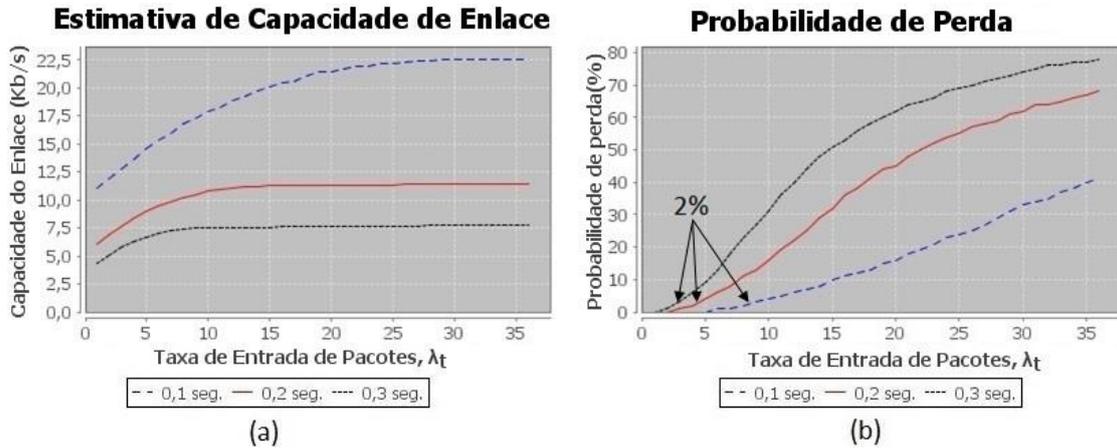


Figura 22. Resultado da simulação com *buffer* de 3 posições: (a) capacidade do enlace e (b) probabilidade de perda em função da taxa de entrada de pacotes

As Figs. 23(a) e (b) mostram os resultados para as estimativas de capacidades do enlace e probabilidades de perda respectivamente, quando se aumenta o tamanho do *buffer* para 5 posições. Para este caso, o mesmo comportamento do caso com *buffer* de 3 posições pode ser observado, como mostrado pela Fig. 23. Para $\lambda_t=10$, as capacidades necessárias também são menores do que caso de *buffer* infinito, mas as probabilidades de perda ainda são altas para os tempos de espera de 0,2 segundos e 0,3 segundos. Para o tempo de espera de 0,1 segundos, a perda é de cerca de 1%, de modo que neste caso a estimativa da capacidade do enlace pode ser utilizada.

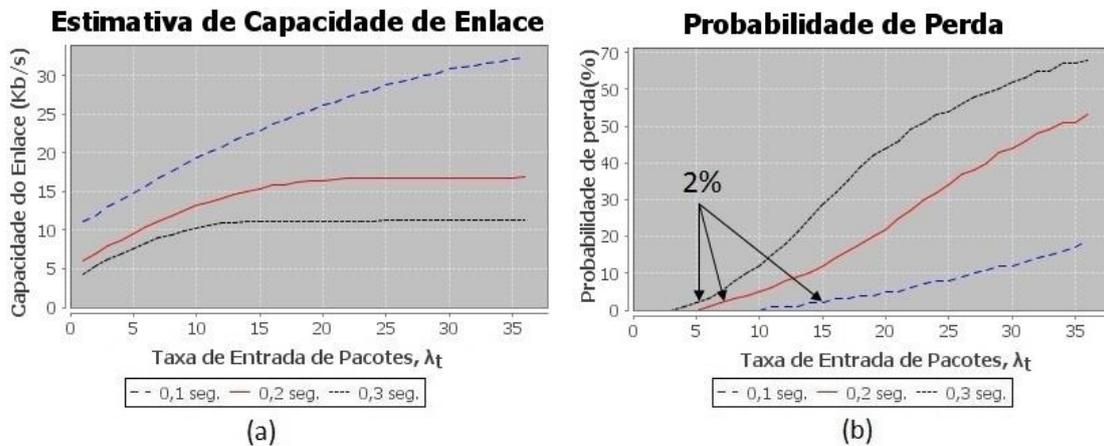


Figura 23. Resultado da simulação com *buffer* de 5 posições: (a) capacidade do enlace e (b) probabilidade de perda em função da taxa de entrada de pacotes.

As Figs. 24(a) e (b) mostram os resultados para as estimativas de capacidades do enlace e probabilidades de perda respectivamente, quando se aumenta o tamanho do *buffer* para 10 posições. Como pode ser visto na Fig. 24(a) as capacidades necessárias são quase as mesmas do caso com *buffer* infinito. Por exemplo, para $\lambda_t = 10$, as capacidades necessárias são de 20 Kb/s, 15 Kb/s, e 13 Kb/s para os tempos de espera de 0,1 segundos, 0,2 segundos e 0,3 segundos respectivamente. No entanto, como se pode ver na Fig. 24(b), não há perda de pacotes para os tempos de espera de 0,1 segundos e 0,2 segundos, mas para 0,3 segundos a probabilidade de perda é de cerca de 2%. Assim, para o caso de $\lambda_t = 10$ com *buffer* de 10 posições, as estimativas de capacidades de enlace são aceitas e poderiam ser utilizados nos três casos.

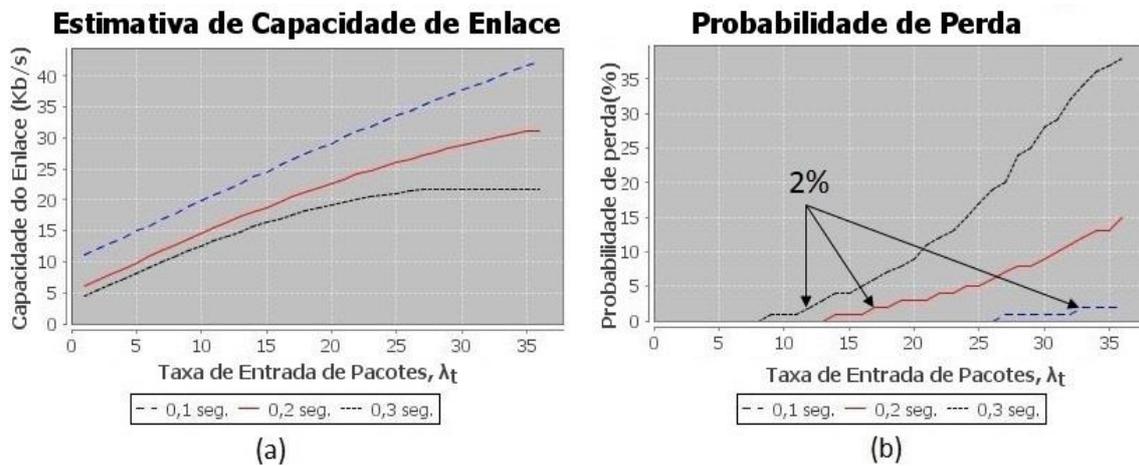


Figura 24. Resultado da simulação com *buffer* de 10 posições: (a) capacidade do enlace e (b) probabilidade de perda em função da taxa de entrada de pacotes.

4.4.3 Estimativa utilizando pacotes com comprimentos fixos

Uma WBAN necessita de um esquema eficiente de poupar a utilização de energia por questões de limitações dos sensores. Os pacotes de dados de tamanho fixo são recomendados, pois o processamento e armazenamento de pacotes são mais fáceis do que os comprimentos variáveis, como no caso de comprimento exponencial. Assim, nesta subsecção será estudada a influência do comprimento fixo de pacotes sobre a estimativa de capacidade de enlace. Para a simulação, o mesmo tamanho de pacote de 1000 *bits* usado no caso exponencial será adotado. Os casos de *buffers* ilimitado e limitado também são considerados.

1 caso: *Buffer* ilimitado

A Fig. 25 mostra os resultados de simulação, considerando que o tempo de espera no *buffer* deve ser pequena para evitar qualquer saturação. Assim, os tempos de espera são considerados os mesmos das subsecções anteriores, ou seja, 0,1 segundos, 0,2 segundos e 0,3 segundos. A conclusão geral para este caso é que as capacidades necessárias para os três casos são menores do que os casos exponenciais. Por exemplo, para $\lambda_t = 10$ as capacidades do enlace necessárias são de 17,2 Kb/s, 13,15 Kb/s e 11,9 Kb/s para o tempo de espera de 0,1 segundos, 0,2 segundos, e 0,3 segundos respectivamente.

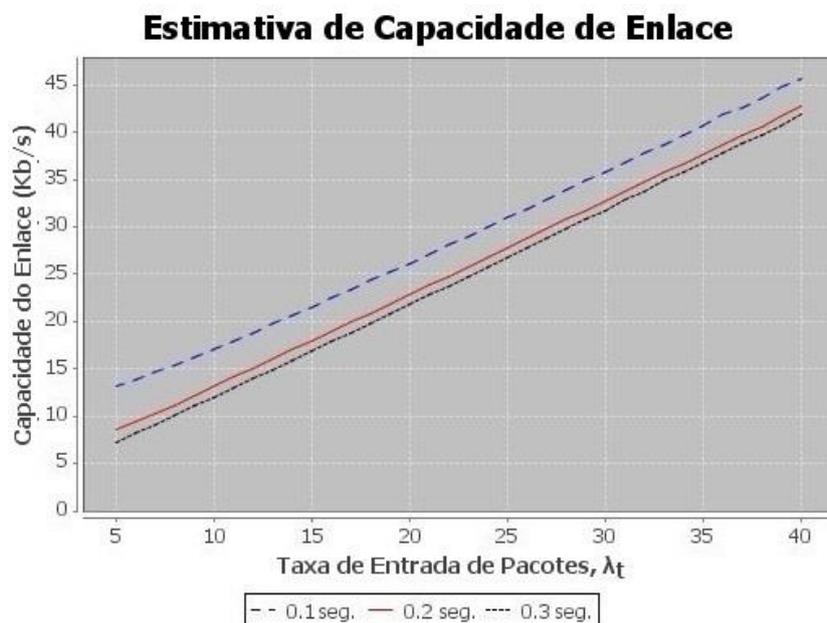


Figura 25. Capacidade do enlace em função da taxa de entrada de pacotes obtidos através de simulação com tamanho de pacote fixo e *buffer* ilimitado.

2º caso: *Buffer* limitado

Assim como nos casos para comprimento exponencial, neste caso, o *buffer* também será limitado em 3, 5 e 10 posições.

Na Fig. 26, os resultados para o caso de *buffer* de 3 posições são exibidos. Como pode ser observado na Fig. 26 (a), as capacidades de enlace são menores em comparação com os casos para comprimento exponencial, Por exemplo, considerando $\lambda_t = 10$ pacotes/s, as capacidades necessárias são 16 Kb/s, 10,5 Kb/s e 7,5 Kb/s para os tempos de espera de 0,1 segundos 0,2 segundos 0,3 segundos, respectivamente. O mesmo fenômeno de sobrecarga da taxa de entrada de pacotes no sistema que ocorre no caso da distribuição exponencial pode ser observado quando o sistema entra em saturação. Isso

significa que todas as três posições do *buffer* estão sempre ocupadas por pacotes. Os pontos de saturação para as taxas de entrada de pacotes são aproximadamente de $\lambda_t = 30$, $\lambda_t = 14$ e $\lambda_t = 9$ para os tempos de espera de 0,1 segundos, 0,2 segundos e 0,3 segundos, respectivamente.

A Fig. 26 (b) mostra que as probabilidades de perda de pacotes podem ficar muito altas com os aumentos das taxas de entrada. Na figura, são mostrados os pontos onde as probabilidades ficam em 2% de perda. Para que a rede opere com boa qualidade sem muitas retransmissões a perda deve ficar em torno desse valor ou menor.

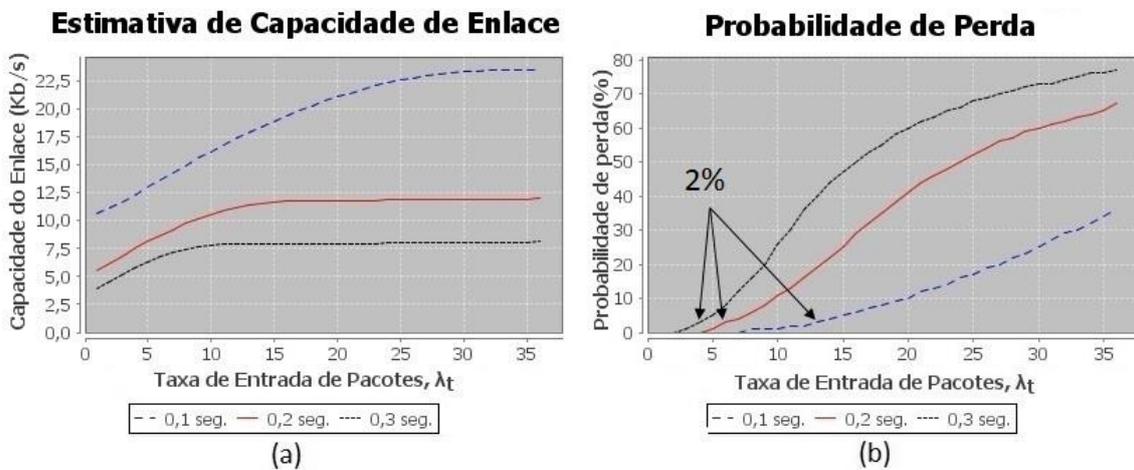


Figura 26. Resultado da simulação com *buffer* de 3 posições e comprimento de pacote de tamanho fixo: (a) capacidade do enlace e (b) probabilidade de perda em função da taxa de entrada de pacotes.

As Figs. 27(a) e 27(b) mostram os resultados para as estimativas de capacidades do enlace e probabilidades de perda respectivamente, para um sistema com *buffer* de 5 posições. Para uma taxa de entrada de pacotes de $\lambda_t = 10$, as capacidades são de 16,8 Kb/s, 12,2 Kb/s e 10,2 Kb/s para os tempos de espera de 0,1 segundos, 0,2 segundos e 0,3 segundos, respectivamente, como pode ser visto pela Fig. 27 (a). A probabilidade de perda para 0,3 segundos é de 7%, considerada inaceitável e impraticável. Para o tempo de espera de 0,2 segundos, a perda é de cerca de 2% e para 0,1 segundos é 0%, de modo que nestes dois últimos casos a estimativa da capacidade do enlace poderia ser aceita.

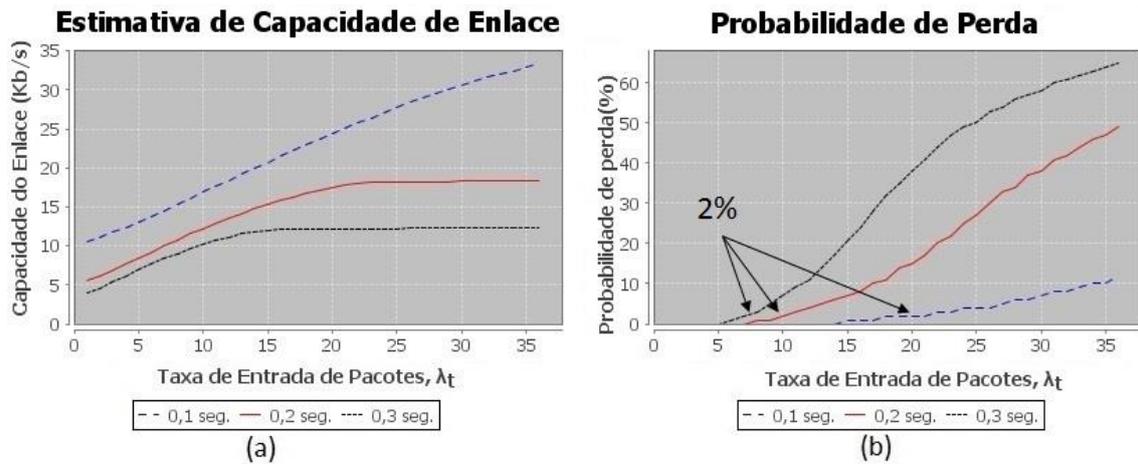


Figura 27. Resultado da simulação com *buffer* de 5 posições e comprimento de pacote de tamanho fixo: (a) capacidade do enlace e (b) probabilidade de perda em função da taxa de entrada de pacotes.

Por fim, para o caso de *buffer* com 10 posições, os mesmos comportamentos das curvas da Fig. 24 são observados, como pode ser visto na Fig. 28. As mesmas conclusões podem também ser obtidas, mas considerando-se que as capacidades e probabilidades de perda são ligeiramente menores do que os casos exponenciais.

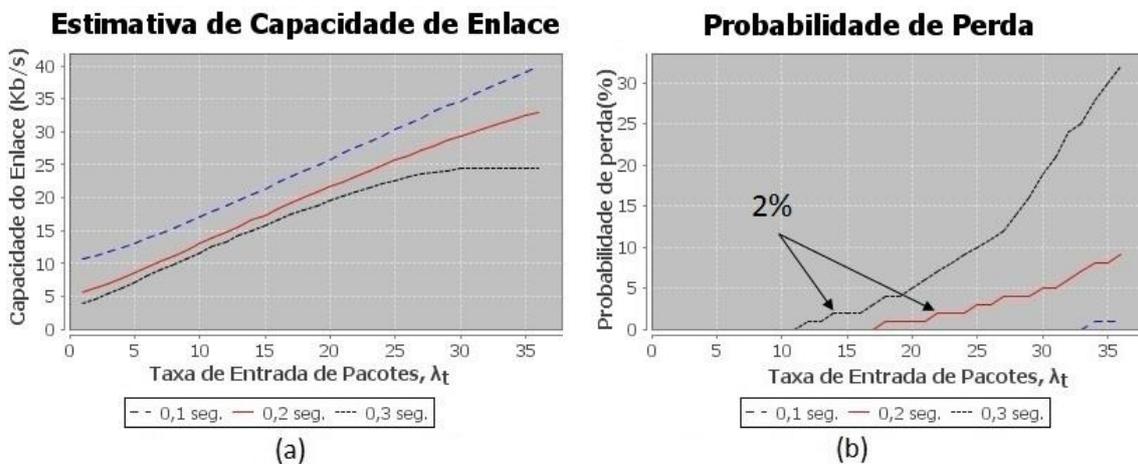


Figura 28. Resultado da simulação com *buffer* de 10 posições e comprimento de pacote de tamanho fixo: (a) capacidade do enlace e (b) probabilidade de perda em função da taxa de entrada de pacotes.

4.5 Estimativa do número de *tags* RFID para os parâmetros propostos

Considerando que a capacidade do enlace do nó *sink* seja conhecida, o número adequado de *tags* RFID que o sistema comportará pode ser calculado.

A capacidade é calculada usando o procedimento adotado nas subseções anteriores, ou seja, levando em consideração pacotes de dados com tamanho exponencial negativo e fixo.

4.5.1 Estimativa do número de tags RFID com comprimento exponencial de pacotes

Como exemplo numérico, considere os valores simulados mostrados na Fig. 21 e suponha que a capacidade dada seja 40 Kb/s para as médias dos tempos de espera de 0,1 segundos, 0,2 segundos e 0,3 segundos. Para esses valores, as taxas λ_t que satisfaçam o critério de tempos de espera especificados são 30, 35 e 37 pct/seg., respectivamente. Assumindo que cada tag RFID possa gerar uma taxa média de saída de pacotes de $\lambda = 1$ pct/seg., o número de tags de RFID que pode ser acomodada no sistema é de 30 para 0,1 segundos, 35 para 0,2 segundos e 37 para 0,3 segundos. A Tab. 4 sumariza outros valores considerado que cada tag RFID sempre utilizará uma taxa média de saída de pacotes de $\lambda = 1$ pct/s.

Tabela 4. Números de tags RFID em função da capacidade de enlace considerando uma taxa de 1 pacote/s por RFID, comprimentos exponenciais e buffers infinitos

$E\{T_s\}$ (segundos)	Capacidade do enlace (Kb/s)		
	15	25	35
0,1	5	15	25
0,2	10	20	30
0,3	12	22	32

Para o caso de *buffer* finito, a estimativa de número de RFIDs, além da capacidade especificada, deve ser levado em conta a especificação da probabilidade de perda. Por exemplo, dada a capacidade de 15 Kb/s e considerando ainda que a probabilidade de perda deve estar abaixo de 2%, pela Fig. 22(a) que é o caso de tamanho exponencial de pacotes e de *buffer* com 3 posições, somente o caso de tempo de espera 0,1 segundos satisfaz as duas condições. Pela Fig. 22(a) valor de λ_t para esse caso é aproximadamente 5 pct/seg. e pela Fig. 22(b), pode ser observado que a probabilidade de perda para esse valor é menor que 2%. Portanto, considerando uma taxa por tag de 1 pct/s, o número de tags que pode ser acomodado é 5. Nos dois outros casos, pode-se observar pela Fig. 22(a) que não há necessidade de capacidade de 15 Kb/s para satisfazer os tempos de espera de 0,2 e 0,3 segundos; capacidades menores satisfariam essas condições. Entretanto, supondo que essa capacidade seja dada, e que a taxa total a ser utilizada seja de 5 pct/s encontrada

para 0,1 segundos, pela Fig. 22(b), observa-se que as probabilidades de perda nos dois casos ficarão acima de 2%, não satisfazendo o critério estabelecido.

Para o caso com *buffer* de 5 posições e considerando a mesma capacidade, o número de *tags* é de 5 para tempo de espera de 0,1 segundos, 14 para o tempo de 0,2 segundos, conforme pode ser inferido das Figs. 23(a) e 23(b). Para o tempo de 0,3 segundos, se utilizarmos as taxas λ_t encontradas para 0,1 e 0,2 segundos, o critério de probabilidade de perda menor que 2% não será satisfeita. No caso de *buffer* de 10 posições e a mesma capacidade, o número de *tags* é de 5 para 0,1 segundo, 11 para o tempo de 0,2 segundos. Para o tempo de 0,3 segundos, a taxa λ_t encontrada é aproximadamente 14 pcts/s, mas para esse valor, a probabilidade de perda não satisfaz o critério estabelecido conforme pode ser observado pela Fig. 24(b).

4.5.2 Estimativa do número de *tags* RFID com comprimento de pacotes fixo

Usando o raciocínio exposto anteriormente na subseção 4.5.1, considere os valores simulados mostrados na Fig. 25 e suponha que a capacidade dada também seja de 40 Kb/s para as médias dos tempos de espera de 0,1 segundos, 0,2 segundos e 0,3 segundos. Para esses valores, as taxas λ_t que satisfaçam o critério de tempos de espera especificados são 33, 38 e 39 pcts/seg. Assumindo que cada etiqueta RFID possa gerar uma taxa máxima de saída de pacotes de $\lambda = 1$ pacote/segundo, o número de *tags* RFID que pode ser acomodada no sistema são 35 para 0,1 segundos, 38 para 0,2 segundos e 39 para 0,3 segundos. A Tab. 5 sumariza outros valores considerado que cada *tag* RFID sempre utilizará uma taxa média de saída de pacotes de $\lambda = 1$ pacote/segundo.

Tabela 5. Números de *tags* RFID em função da capacidade de enlace considerando uma taxa de 1 pacote/s por RFID, comprimentos fixos e buffers infinitos

$E\{T_s\}$ (segundos)	Capacidade do enlace (Kb/s)		
	15	25	35
0,1	8	19	30
0,2	12	23	33
0,3	14	24	34

Para o caso de *buffer* finito e comprimento fixo de pacotes, a estimativa de número de RFIDs, por exemplo, dada a capacidade de 15 Kb/s e considerando ainda que a probabilidade de perda deve estar abaixo de 2%, pela Fig. 26(a) também apenas o caso de tempo de espera 0,1 segundos satisfaz as duas condições, assim como no caso de comprimentos exponenciais. Pela Fig. 26(a) valor de λ_t para esse caso é aproximadamente

8 pcts/seg. e pela Fig. 26(b), pode ser observado que a probabilidade de perda para esse valor é menor que 2%. Portanto, considerando uma taxa por *tag* de 1 pct/s, o número de *tags* que pode ser acomodado é 8. Nos dois outros casos, pode-se observar pela Fig. 26(a) que não há necessidade de capacidade de 15 Kb/s para satisfazer os tempos de espera de 0,2 e 0,3 segundos; capacidades menores satisfariam essas condições, assim como no caso exponencial.

Para o caso com *buffer* de 5 posições e considerando a mesma capacidade, o número de *tags* é de 8 para tempo de espera de 0,1 segundos, 15 para o tempo de 0,2 segundos, conforme pode ser observado nas Figs. 27(a) e 27(b). Para o tempo de 0,3 segundos, se utilizarmos as taxas λ_t encontradas para 0,1 e 0,2 segundos, o critério de probabilidade de perda menor que 2% não será satisfeita. No caso de *buffer* de 10 posições e a mesma capacidade, o número de *tags* é de 7 para 0,1 segundo, 12 para o tempo de 0,2 segundos e 14 para o tempo de 0,3 segundos conforme pode ser observado pelas Figs. 28(a) e 28 (b).

4.6 Conclusão

Foram apresentados dois modelos complementares de dimensionamentos de capacidade de enlace e de número de *tags* RFIDs para a estrutura de rede proposta. No caso do modelo teórico, somente o caso de *buffer* infinito foi considerado para os dimensionamentos de capacidade e de número de *tags* RFIDs. No modelo de simulação computacional, além do *buffer* infinito, foi possível tratar de *buffer* finito 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 inicial do modelo computacional.

O critério utilizado para os dimensionamentos de capacidade e de número de *tags* RFIDs para o caso de *buffer* infinito foi satisfazer um tempo médio de espera especificado pequeno para que não haja atrasos longos de espera de pacotes na fila e nem congestionamento. Para o caso de *buffer* finito, além do critério acima, foi especificada uma pequena probabilidade de perda de pacotes de no máximo 2% para que não haja necessidades de muitas retransmissões.

A conclusão geral que pode ser extraída é que pacotes com comprimento exponencial demandam maiores capacidades de enlace quando comparados com pacotes de comprimento fixo para os tempos de atraso no sistema considerados, tanto para casos com *buffers* limitados quanto ilimitado. Isso se dá pois pacotes de tamanho exponencial podem, em alguns momentos, exceder o tamanho médio de pacotes exigindo maior capacidade do *link*, ao contrário de pacotes de tamanho fixo, que exigem capacidade de *link* única por não variarem seu tamanho em *bits*. Para o caso de *buffer* limitado satisfazendo a porcentagem especificada de perda de pacotes de 2%, as capacidades são muito inferiores daquelas dos casos com *buffer* ilimitado. Outra conclusão é que para um *buffer* limitado em 10 posições e para tempo de espera de 0,1 segundos, sob o ponto de vista de dimensionamento, o sistema se comporta, praticamente, como se fosse de *buffer* infinito, tendo poucas perdas de pacotes para um grande intervalo de taxas de entrada. Esta conclusão é importante, pois, permite uma limitação do tamanho de *buffer*, sem necessidade de providenciar *buffer* grande.

Capítulo 5. Conclusões e trabalhos futuros

O objetivo principal dessa dissertação foi propor uma forma de monitoramento remoto dos pacientes em comunidades rurais e urbanas. A proposta consiste em uma configuração de rede usando a tecnologia de Internet das Coisas (*Internet of Things* ou IoT) que é adequada para atendimento médico de pacientes em suas próprias casas. O centro da proposta é a combinação da rede WBAN que monitora os sinais vitais de um paciente com RFID. Leitores de RFID estrategicamente colocados perto dos pacientes, coletam dados da WBAN, e através de uma configuração de *cluster* desses leitores, 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 dessa rede proposta foram detalhados, e algumas considerações de projeto para o bom funcionamento da rede foram apontadas.

A capacidade do enlace do nó *sink* e o do número de *tags* RFID foram estimados visando um bom funcionamento da rede, já que esta será empregada na área da saúde, e se tiver mau funcionamento pode impor riscos para os pacientes.

Foram utilizados dois modelos de dimensionamentos de capacidade de enlace e de número de RFIDs para a estrutura de rede proposta. No modelo teórico, somente o caso de *buffer* infinito foi considerado para os dimensionamentos de capacidade e de número de RFIDs. No modelo de simulação computacional, além do *buffer* infinito, foi possível tratar de *buffer* finito 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 inicial do modelo computacional.

O critério utilizado para os dimensionamentos de capacidade e de número de RFIDs para o caso de *buffer* infinito foi satisfazer um tempo médio de espera especificado pequeno para que não haja atrasos longos de espera de pacotes na fila e nem congestionamento. Para o caso de *buffer* finito, além do critério acima, foi especificada uma pequena probabilidade de perda de pacotes de no máximo 2% para que não haja necessidades de muitas retransmissões.

Os resultados obtidos mostram que, em geral, a distribuição de tamanhos de pacotes fixos demanda menor capacidade de enlace em comparação com tamanho de pacotes com distribuição exponencial negativa, tanto para *buffer* limitado quanto para *buffer* ilimitado. Para os casos com tamanho do *buffer* limitado, as capacidades necessárias foram ainda menores, considerando que perdas de dados podem ocorrer. Assim, um *buffer* com tamanho apropriado e capacidades de enlace do nó *sink* corretas devem ser usadas de modo que a probabilidade de perda dos pacotes fique em níveis muito baixos, por exemplo, menor do que 2%.

Utilizando os mesmos resultados obtidos para a estimativa da capacidade, foi estimado o número de *tags* de RFID que a rede pode acomodar para os parâmetros propostos por esse trabalho. Como conclusão geral, chegou-se a uma quantidade máxima de 38 *tags* RFID para uma capacidade de enlace de 41,65 Kb/s e *buffer* de 10 posições, o que pode ser um número pequeno se levarmos em consideração muitos objetos inteligentes imersos no *cluster*.

5.1 Trabalhos futuros

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

A primeira ideia consiste em fazer um estudo detalhado sobre o melhor tipo de roteamento no grupo de leitores de RFID para entregar os pacotes para o nó *sink*. Isso é relevante pois, como esses leitores trabalharão de forma cooperativa, os melhores caminhos de dados devem ser escolhidos para entregar os dados para o nó *sink*. Estudo de protocolos de roteamento em vários níveis podem ser realizados, em especial os da camada MAC e os da camada de Rede.

Protocolos de encaminhamento cooperativos é alvo muitas pesquisas por parte dos pesquisadores, mostrando ser assunto muito interessante, e relevante para a proposta de rede aqui exposta. Além desses estudos teóricos, resultados podem ser obtidos através de simulação computacional para esse encaminhamento cooperativo, configurando uma oportunidade para novas dissertações serem elaboradas.

A segunda ideia consiste em detalhar o *software* de gestão do centro de saúde. Como esse *software* é voltado para um público que não é especialista em informática,

usabilidade, interface e desempenho podem ser moldados e investigados. É conveniente ressaltar que esse *software*, por ser empregado na saúde, deve trabalhar de forma mais estável possível para evitar expor os usuários do sistema em risco.

Vários módulos podem ser detalhados, como o módulo de uso por parte dos médicos, o módulo da equipe socorrista, o do paciente, o de coleta *in loco*, entre outros. A forma de armazenamento do banco de dados, bem como a geração de relatórios também pode ser alvo de investigações futuras.

A terceira e última ideia consiste em implementar a rede proposta, para investigações detalhadas. Com a rede implementada, resultados reais podem ser analisados, bem como melhorias podem ser sugeridas. Os usos de outras tecnologias podem ser incorporados na estrutura de rede, como o uso de *smartphones*, *tablets*, *Near Field Communication* entre outras possibilidades podem ser investigadas.

Referências Bibliográficas

- Ashton, Kevin. 2009. That Internet of Things Thing: In the real world, things matter more than ideas. [Online], RFID Journal. Disponível: <http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986> [Acessado em 05 agosto 2013].
- Yang, D., Liu, F., Liang, Y. 2010. A Survey of the Internet of Things. *International Conference on E-Business Intelligence (ICEBI-2010)*, Advances in Intelligent Systems Research. Atlantis Press, pp 358 – 366.
- Fleisch, E. 2010. What is the Internet of Things? An Economic Perspective. *Auto-ID Labs White Paper WP-BIZAPP-053*.
- ITU International Telecommunication Union: The Internet of Things. Executive Summary, 2005. [Online] Disponível: <http://www.itu.int/osg/spu/publications/internetofthings/> [Acessado em 09 julho 2013].
- Atzori, L., Iera, A. and Morabito, G. 2010. The Internet of Things: A Survey. *Computer Networks*, Vol. 54, No. 15, pp. 2787-2805.
- Wu, M., Lu, T., Ling, F., Sun, J., Du, H. 2010. Research on the architecture of Internet of things. *Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE)*. 3rd International Conference, pp V5-484 - V5-487
- Mazhelis, O., Luoma, E., Warma, H. 2011. Defining an Internet-of-Things Ecosystem. *Springer-Verlag*, Heidelberg, Berlin.
- Auto-Id Labs. [Online] Disponível: <http://www.autoidlabs.org/>. [Acessado em 29 julho 2013].
- Xue, X., Li, G., Liu, L., Liu, M. 2012. Perspectives on Internet of Things and Its Applications. *2nd International Conference on Computer Application and System Modeling*. Atlantis Press, Paris, France.
- Vermesan, O., et al. 2011. Internet of Things Strategic Research Roadmap. *European Research Cluster*. [Online] Disponível: <http://www.internet-of-things-research.eu/> [Acessado em 09 julho 2013].

- Bauer, M., et al. 2011. Introduction to the Architectural Reference Model for the Internet of things. First Reference Model White Paper. *IOT-i The Internet of Things Initiative*. [Online] Disponível: <http://ww.iot-a.eu/> [Acessado em 14 julho 2013].
- Coetzee, L., Eksteen J. 2011. The Internet of Things – Promise for the Future? An Introduction. *in Proc. of IST-Africa 2011 Conference*.
- Zhao, W., Wang, C., Yorie, N. 2011. Medical application on internet of things. *Communication Technology and Application (ICCTA 2011)*, IET International Conference, pp 660 – 665.
- Jara, A., Belchi, F., Alcolea, A., Santa, J., Zamora-Izquierdo, M., and Gómez-Skarmeta, A. 2010. A Pharmaceutical Intelligent Information System to detect allergies and Adverse Drugs Reactions based on internet of things. *Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops)*, 8th IEEE International Conference, pp. 809 – 812.
- Google Images. [Online] Disponível: <https://www.google.com.br/imghp?hl=pt-BR&tab=wi>. [Acessado em 29 julho 2013].
- EPCGglobal. [Online] Disponível: <http://www.gs1.org/epcglobal>. [Acessado em 16 junho 2013].
- Tan, L., Wang, N. 2010. Future Internet: The Internet of Things. *Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE)*. 3rd International Conference, pp V5-376 - V5-380
- Fan, T., Chen, Y. 2010. A scheme of data management in the Internet of Things. *Network Infrastructure and Digital Content*. 2nd IEEE International Conference, pp 110 – 114
- Puustjarvi, J., Puustjarvi, L. 2011. Automating Remote Monitoring and Information Therapy: An Opportunity to Practice Telemedicine in Developing Countries. *IST-Africa Conference Proceedings*. IIMC International Information Management Corporation, pp 1 – 9.
- Portal da Saúde. [Online] Disponível: <http://portalsaude.saude.gov.br/portalsaude/index.cfm?portal=pagina.visualizarArea&codArea=417>. [Acessado em 09 setembro 2013].

- Kwak, K., Ullah, S., Ullah, N. 2010. An Overview of IEEE 802.15.6 Standard. *Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies (ISABEL)* 3rd International Symposium, pp 1 - 6.
- Briseno, M., Cota, C., Garcia, E., Lopez, J. 2012. A proposal for using the internet of things concept to increase children's health awareness. *Electrical Communications and Computers (CONIELECOMP)*. 22nd International Conference, pp 168 – 172.
- Rohokale, V., Prasad, N., Prasad, R. 2011. A cooperative Internet of Things (IoT) for rural healthcare monitoring and control. *Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronic Systems Technology (Wireless VITAE)*. 2nd International Conference, pp 1 - 6.
- Chia, S., Zalzal, A., Zalzal, L. and Karimi A. 2013. Intelligent Technologies for Self-Sustaining, RFID-Based, Rural E-Health Systems. *IEEE Technology and Society Magazine*, pp 36-43.
- Chia, S., Zalzal, A., Zalzal, L., Karimi, A. 2011. RFID and Mobile Communications for Rural e-Health. A community healthcare system infrastructure using RFID for individual identity. *IEEE Global Humanitarian Technology Conference*. Computer Society, pp 371 – 376.
- Motoyama, S. Disciplina: Modelagem e Análise de Redes de Comunicação, Programa de Mestrado em Ciências da Computação FACCAMP 2012. Notas de Aula. [Online] Disponível: <http://www.cc.faccamp.br//docentes/motoyama/modelagem.htm>. [Acessado em Junho 2014].
- Oliveira, J. C. Dimensionamento de enlaces em redes de telecomunicações ATM. Dissertação de Mestrado. FEEC – UNICAMP – Campinas – SP, 1998.
- Mata, R. S. Dimensionamento de Enlaces em Redes com Integração de Serviços. Dissertação de Mestrado. FEEC – UNICAMP – Campinas – SP, 2002.
- Egbogah, Emeka E. and Fapojuwo, Abraham O. Achieving Energy Efficient Transmission in Wireless Body Area Networks for the Physiological Monitoring of Military Soldiers. *2013 IEEE Military Communications Conference - MILCON, 2013*, Computer Society, San Diego. pp 1371-1376.

Motoyama, S. Hierarchical Polling-based MAC scheme for Wireless Body Sensor Network. *International Conference on Wireless Networks - ICWN-13, 2013*, Las Vegas. pp. 103-109.

Robertazzi, T. G., “Computer Networks and Systems: Queuing Theory and Performance Evaluation”, Cap. 2, Springer-Verlag, 1994.

Baiocchi A., Bléfari-Melazzi N. Steady-state analysis of the MMPP/G/1/K queue. *IEEE Transactions on Communicatrions*, 41(4), pp 531 – 534, 1993.

Gross, D., Shortle J. F., Thompson J. M., Harris C.M. Fundamentals of Queueing Theory, 4th Edition. *Jhon Wiley & Sons, Inc.*, Toronto, Canada, 2008.

Apêndice A. Detalhes do *software* Desenvolvido

Neste apêndice será apresentado de forma sintética o programa desenvolvido para a obtenção de dados simulados para essa dissertação.

O programa foi desenvolvido em linguagem de programação Java, utilizando a interface de programação Netbeans IDE 8.0.

A Fig. 31 mostra a tela inicial do sistema, que possui os menus para os tipos de simulações de acordo com o modelo teórico.

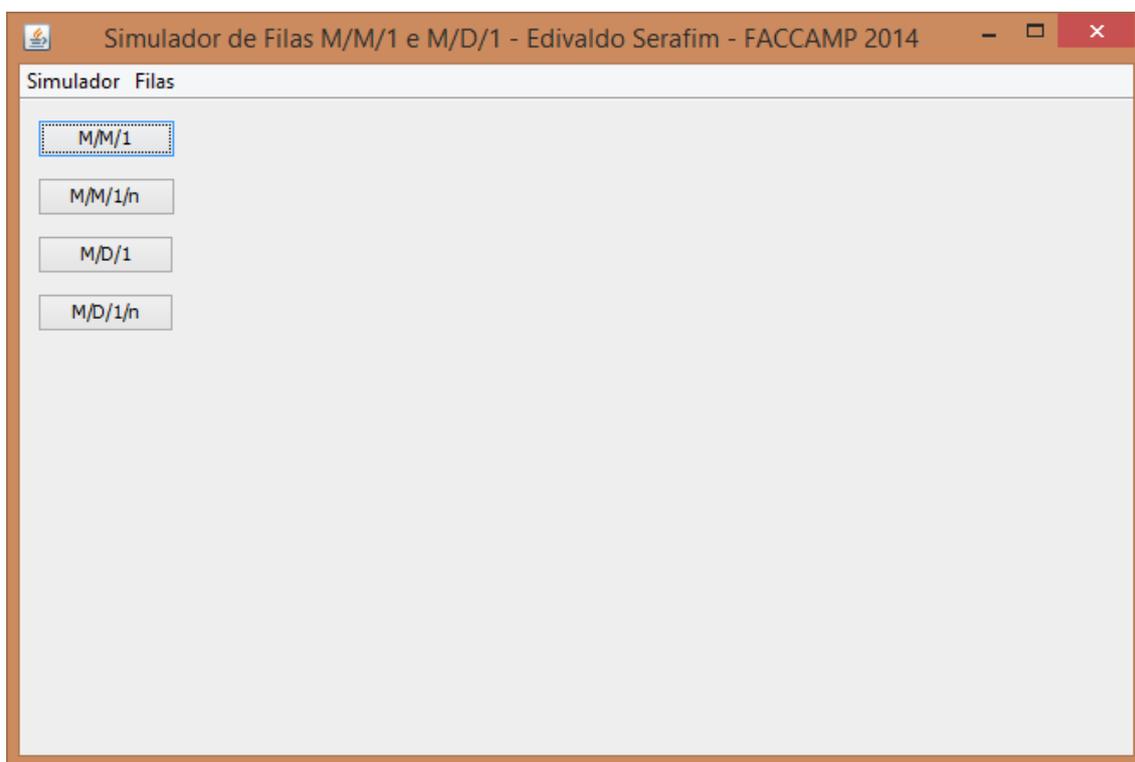


Figura 29. Tela principal do simulados desenvolvido em Java.

Como pode ser observado pela figura, existem 4 botões, que possuem as mesmas funções do menu “filas”, e dão acesso às telas para os simuladores. Essas simulações estão divididas em M/M/1, M/M/1/n, M/D/1 e M/D/1/n e cada um possui uma tela em específico.

A Fig. 32 mostra a tela para simulação com modelo M/M/1 em andamento. Como pode ser observado, o usuário pode alterar tanto o valor de λ_t quanto a quantidade de

pacotes que o simulador irá rodar para cada valor de λ_t antes de iniciar a simulação. A simulação inicia quando o usuário clica no botão “0,1 Seg”, e será obtido valores de capacidade de enlace para cada valor de λ_t , valor este que incrementa-se até 35 vezes o valor inicial definido pelo usuário na caixa de texto “Valor de λ_t ”. Na área de texto “Ensaio para descobrir a capacidade inicial” os valores das simulações iniciais são apresentados. Esse detalhe é melhor explicado na seção 4.4.1, onde o algoritmo do simulador é detalhado.

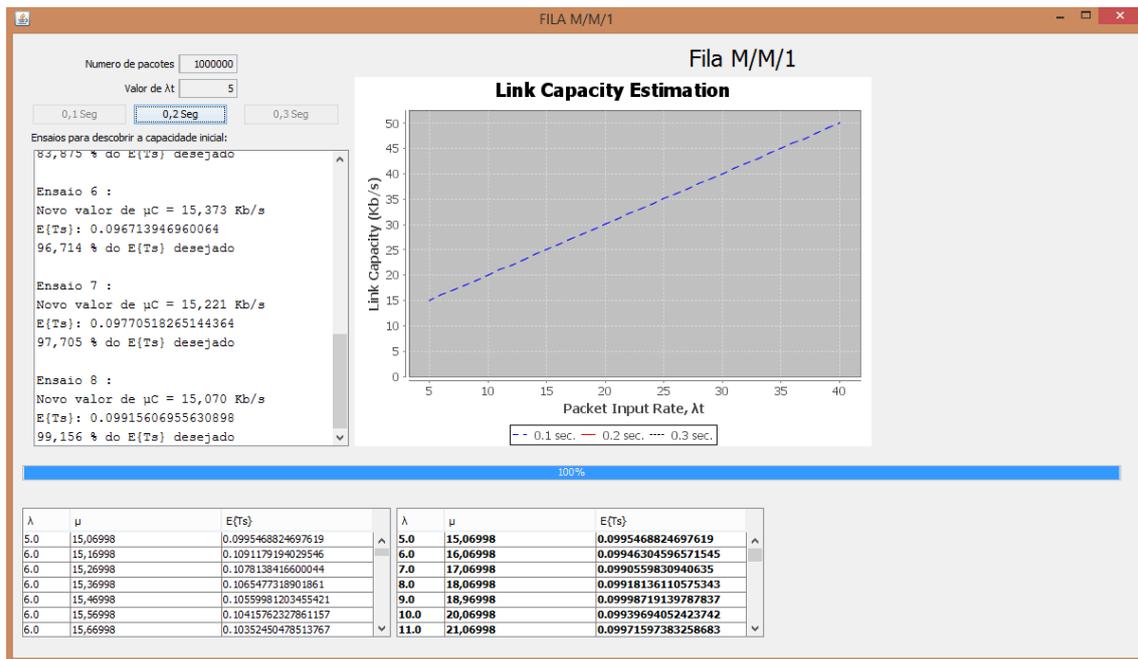


Figura 30. Exemplo do simulador em andamento para fila com modelo M/M/1.

No lado direito superior de cada janela é exibido o gráfico para cada valor de tempo de espera no sistema. Abaixo existem duas tabelas, a da esquerda contendo os ensaios para achar os valores da capacidade para cada valor de λ_t obtida a partir da capacidade da λ_t anterior e a da direita contendo os valores exatos das capacidades que compõe os valores do gráfico.

Ao final da simulação para cada valor de $E\{T_s\}$ o simulador espera outro clique em outro botão, de modo a facilitar a análise de dados até então obtidos para cada valor de $E\{T_s\}$. Assim, o usuário deve clicar no botão “0,2 Seg” e “0,3 Seg” para finalizar as simulações para o modelo.

As Figs. 33, 34 e 35 apresentam as telas do simulador para os modelos M/M/1/n M/D/1 e M/D/1/n

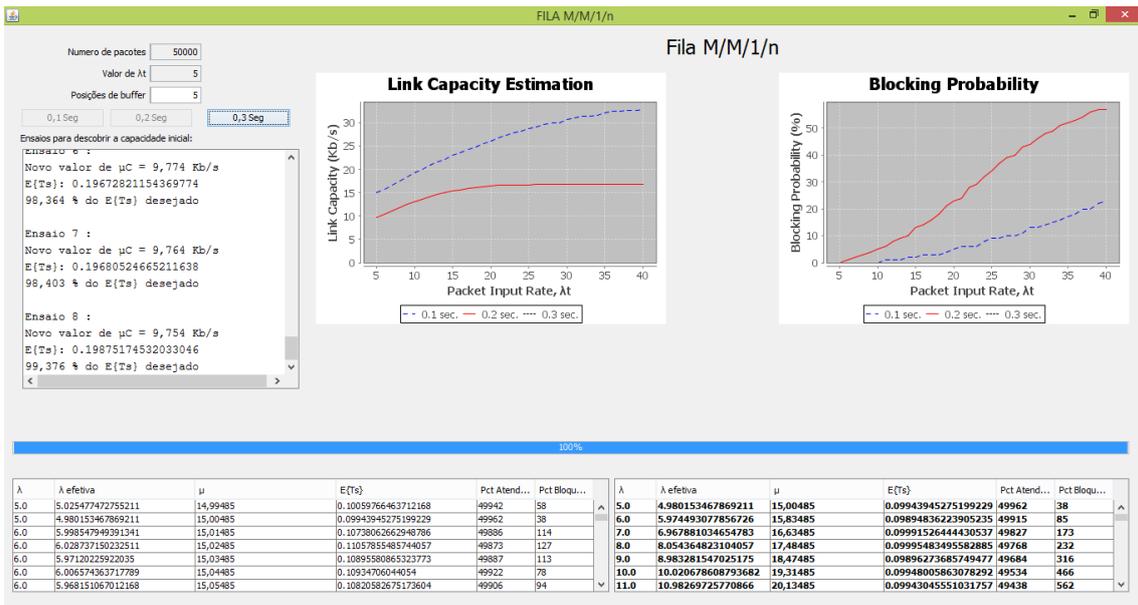


Figura 31. Tela do simulador para fila M/M/1/n.

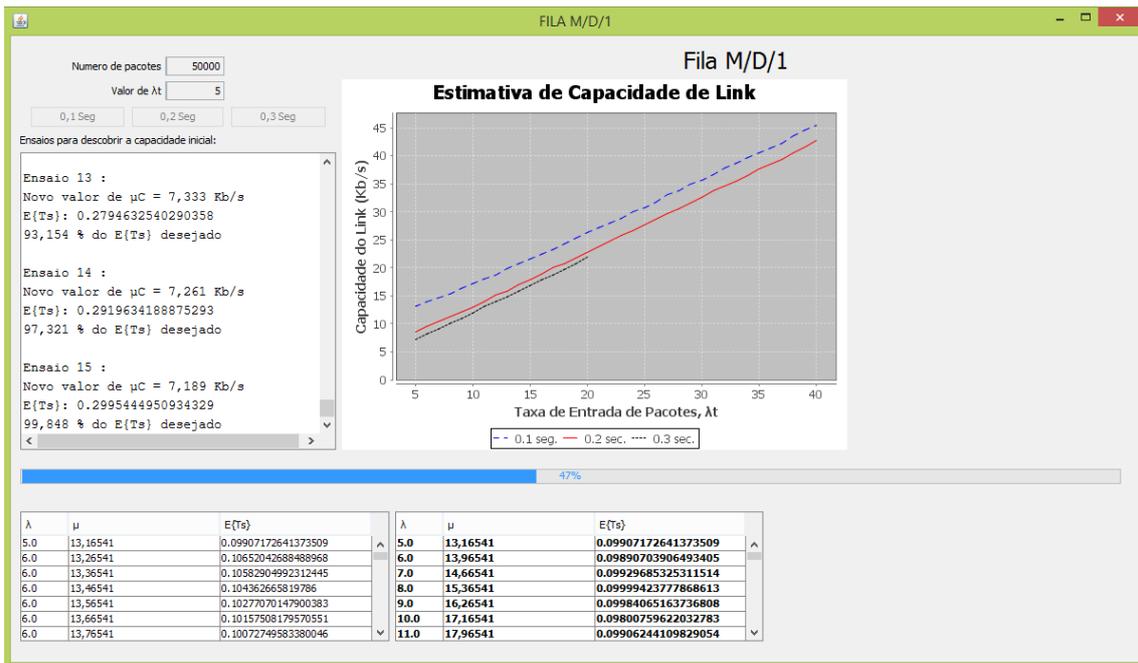


Figura 34. Tela do simulador para fila M/D/1.

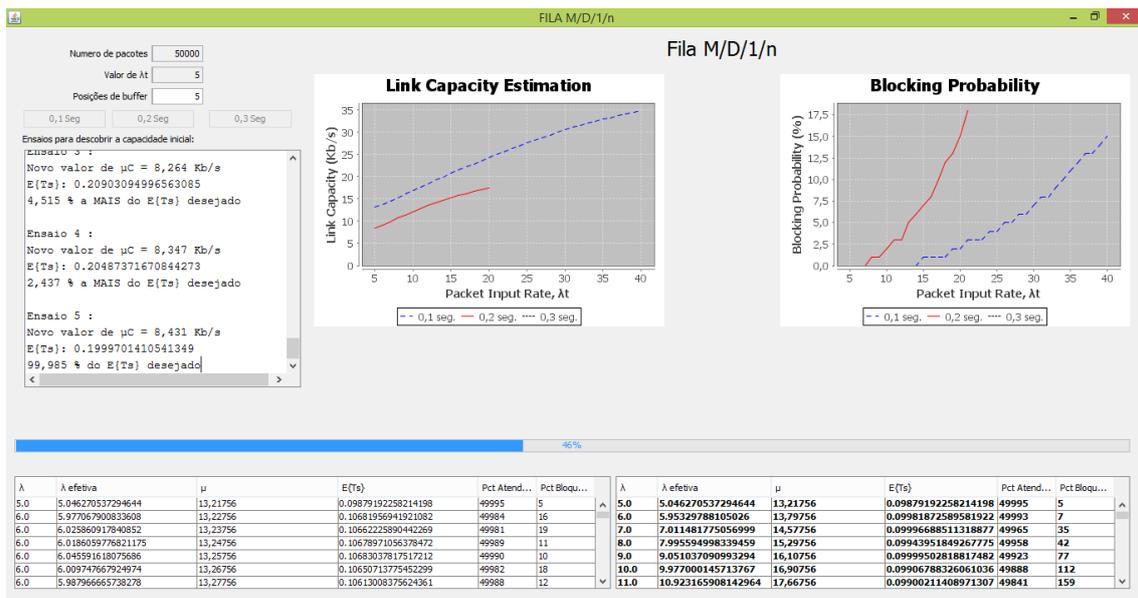


Figura 35. Tela do simulador para fila M/D/1/n

É possível notar pelas Fig. 33 e 35 que para os casos em que existam *buffers* finitos, outro gráfico é apresentado logo a direita do gráfico de capacidades. Esse gráfico expõe as probabilidades de perda para cada valor de C em função de λ_t . Essas figuras mostram também que as tabelas para esses modelos são mais detalhadas, apresentando o valor de λ efetiva, bem como os valores de pacotes que foram perdidos ou processador pelo sistema.

O sistema está disponível para *download* pelo endereço:

<http://www.netgreat.com.br/simulador/simulador.zip>

O projeto com os códigos fonte também pode ser encontrado no endereço:

http://www.netgreat.com.br/simulador/simulador_fontes.zip

Anexo I. Publicações da dissertação

1. Artigo aceito pela ICWN'14

ICWN – *The 2014 International Conference on Wireless Networks* – é uma conferência internacional e possui nota B2 na avaliação WebQualis 2012 da Capes.

1.1 Comprovante de aceitação do artigo

O texto a seguir refere-se ao e-mail recebido pelo prof. Motoyama referente à aceitação do artigo submetido para a conferência. Neste e-mail, constam o título do congresso, título do artigo, os autores, bem como as notas recebidas pelo artigo.

From: **Computer Networks** <sc@world-comp.org>
Date: 2014-05-11 16:06 GMT-03:00
Subject: ICWN'14 - Conference on Wireless Networks (July 21-24, 2014, USA) - decision on your paper (ICW2826)
To: shumotoyama@gmail.com

Dear Shusaburo Motoyama:

I am pleased to inform you that the following paper which you submitted to:

o ICWN'14:

The 2014 International Conference on Wireless Networks

<http://www.worldacademyofscience.org/worldcomp14/ws/conferences/icwn14>

July 21-24, 2014, Las Vegas, Nevada, USA

has been accepted as a Regular Research Paper (RRP) - i.e., accepted for both, publication in the proceedings (7-page IEEE style pages) and oral presentation (20-minute formal presentation.)

Paper ID #: ICW2826

Title: A Network Structure for Medical Assistance in Rural and Urban Areas Using IoT Technology

Author(s): Edivaldo Serafim, Shusaburo Motoyama

Note: The "paper ID #" shown above is composed of three letters (conference prefix) followed by four numeral/digits. You will need to have this "Paper ID #" at the time of registration and final paper submission (for publication).

(The evaluation of this paper is arranged by Track Chair # 234)

General comments to authors of accepted papers:

1. Each paper was peer-reviewed by two experts in the field for originality, significance, clarity, impact, and soundness. In cases of contradictory recommendations, a member of the conference program committee was charged to make the final decision (accept/reject) - often, this involved seeking help from additional referees by using a double-blinded review process. In addition, all papers whose authors included a member of the conference program committee were evaluated using the double-blinded review process.
2. Authors of accepted papers are strongly encouraged to enhance the organization and the quality of the English writeup of their papers before uploading them to the publication web site for the preparation of the printed books/proceedings.
3. Authors whose papers have been accepted SUBJECT to MANDATORY changes have ALREADY received the compiled referees' report (directly from their session co-chairs). According to the evaluation system, your paper is accepted without mandatory changes. However, the compiled evaluation POINTS provided by the referees appears below. Please use these evaluation points as cues to enhance the quality of your manuscript. (Some session co-chairs may have already emailed you any friendly suggestions too.)

COMPILED REFEREES' evaluation points (2 referees):

Originality (1 Poor - 20 Very Good): 14

Technical Quality (1 Poor - 20 Very Good): 15

Significance of Contribution (1 Poor - 20 Very Good): 16

Readability and Organization (1 Poor - 20 Very Good): 16

Relevance (1 Not relevant - 20 Very relevant): 20

Overall Recommendation (1 Reject - 20 Strong Accept): 16

Degree of Expertise of Reviewer in the topic (1 Poor - 20 Good): 16

It is determined that the authors of this paper should be given the opportunity to also submit (if they wish) an extended version of their paper to one of the Elsevier or Springer books for publication consideration. The Contact Author of this paper will receive the announcement during the month of September 2014.

For information regarding author instructions including:

- Presentation Formats / Accepted Paper Categories
- Typing Instructions

- Deadline (Registration and Camera-ready Papers due: May 28, 2014)
Although, "May 24" is stated on the web site to be the deadline, for ICWN conference, the deadline is extended to be May 28.
- Conference Registration
- Hotel Reservation
- Conference Program/Schedule

Please visit:

<http://www.worldacademyofscience.org/worldcomp14/ws/authors>

For Submission (uploading) of Final Camera-Ready Papers for Publication in the Conference Proceedings/book, please visit:

http://www.ucmss.com/cr/main/papersNew/worldcomp14_first_html

To Request Invitation Letters for US Visa Purposes, please visit:

http://www.ucmss.com/cr/main/invitations/worldcomp_index_html

Congratulations, and thank you for your contribution to the Conference.
We look forward to seeing you at the conference in July.

Kind regards,

Steering Committee, ICWN'14

ps.

-> As of the date of this notification, the Conference paper acceptance rate has been between 27% and 29% - this may change later when we receive more data from individual track chairs.

-> See the appended text for useful information about the conference.

-> If at least one author of an accepted paper registers for the conference but for some reason he/she is unable to attend the conference, then his/her paper will be published and arrangements would be made to ship the proceedings to the registered author after the conference. However, the registered author MUST inform us by no later than June 4, 2014 that he/she will not be able to attend.

-> Based on citation record and other relevant metrics, Microsoft Academic has listed ICWN annual conferences in its list of Top Conferences:

<http://academic.research.microsoft.com/RankList?entitytype=3&topDomainID=2&subDomainID=14&last=0&start=1&end=100>

ICWN's citation record appears at:

<http://academic.research.microsoft.com/Conference/48/icwn-international-conference-on-wireless-networks?query=ICWN>

1.2 Artigo aceito

A seguir, o artigo aceito pelo congresso é apresentado. O artigo tem o título "*A Network Structure for Medical Assistance in Rural and Urban Areas Using IoT*"

Technology”. O artigo apresenta a proposta de rede dessa dissertação, bem como apresenta alguns resultados do dimensionamento de enlace do nó *sink* e estimativa de quantidade de *tags* RFID, obtido pelas análises dos modelos teóricos.

A Network Structure for Medical Assistance in Rural and Urban Areas Using IoT Technology

E. Serafim, and S. Motoyama
Faculty of Campo Limpo Paulista - FACCAMP
Master Program in Computer Science
Campo Limpo Paulista, S. Paulo, Brazil

Abstract - A network structure using IoT technology for application in healthcare is proposed in this paper. The main idea is to combine the body sensor network (WBAN) that monitors the vital signs of a patient with RFIDs. RFID readers placed strategically close to the patients, collect data from the WBAN, and through a clustered configuration of these readers reach the medical centers where they are processed and presented to physicians for monitoring purposes. In this paper, the configuration of proposed network structure is presented and main issues for good operation of network are discussed. The link capacity necessary for good operation of network is estimated using queuing theory and the number of RFIDs that can be accommodated in a given link capacity is also estimated.

Keywords: internet of things, RFID, sensor networks, IoT cluster.

1 Introduction

The Internet of Things (IoT) consists of many smart objects interacting with people and other objects to achieve common goals. The IoT will allow simple objects such as air conditioners, refrigerators, cars, houses, etc. become intelligent and can be identified and accessed through the Internet. Such achievement will be possible due to technologies like RFID and sensor networks, which will provide these objects with intelligence, and thus can communicate [1].

One of the areas that can be benefited by IoT technology is healthcare. The applications of IoT in healthcare can be in areas such as tracking objects and people (staff and patients), identification and authentication of persons; automated data collection and patients monitoring [2].

The IoT technology can be beneficial to the medical care in country like Brazil, due to poor hospital infrastructure existing. The patients may stay in their homes without occupying hospital beds, but being monitored remotely and having prompt medical attention in case of emergencies. In this paper, we propose a network structure that is convenient for patient monitoring in areas of high human concentration, as well as in rural areas. This structure aims to integrate body sensor networks (WBANs) with the Internet, through the interconnection of RFID readers configured in a cluster. These readers should communicate with each other, transferring the data obtained from the sensor network through RFID tags,

until they reach a sink node and through the Internet a medical center where they are processed.

The paper is structured as follows. In section 2 the concept of IoT is presented. The related works are described in section 3 and in section 4 the proposed network structure for medical care in urban and rural areas is presented. In section 5 the link capacity and number of RFIDs necessary for good operation of proposed network are estimated. Finally, in section 6, the main conclusions and future work are presented.

2 Internet of Things

In a broad sense, IoT is the interconnection of the everyday objects of the real life environment with the Internet which is a virtual environment, becoming the objects smart. This is possible thanks to the use of sensors and addressable RFID tags, attached to the objects, which communicate through a network, and then to the Internet [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7]. This concept can be seen in Figure 1.

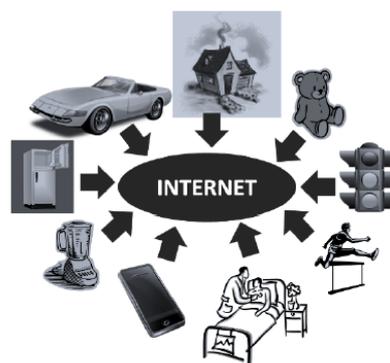


Figure 1. An overview of IoT concept.

Besides the use of RFID, the IoT should include technologies such as artificial intelligence, nanotechnology and embedded systems, which enable an interconnection machine-to-machine [1] [2] [6]. This will lead to a new form of ubiquitous communication, in which objects can communicate with people and other objects independently.

Although the IoT paradigm is very attractive, many questions remain open, which deserves special attention from researchers [1] [2]. The impact on security requires more attention and standards, especially for applications in health.

Because the Internet is an unsafe environment currently, patient privacy may be violated. Despite being the subject of efforts of various organizations such as the Auto-ID Center, EPCGlobal and Unique / Universal / Ubi-quitous architecture Identifier (UID) in Japan, the lack of standardization is also a big issue today [1] [2] [3] [4] [8] [9] [10].

3 Related work

A platform for Remote Monitoring and Management of Health Information (Remote Monitoring and Management of Healthcare Information Platform - RMMP-HI) was proposed in [11] to monitor the health and preventing disease, improving quality of life, thus relieving the public health system. The project is to deploy sensors in patient body, through a WBAN network, and connect this network to the Internet through a cell phone or a router. Such information reaches the doctor who can track the health of patients.

In [13] a cooperative approach to IoT to monitor and control the parameters of health in rural area was proposed. In this approach, the vital signs such as blood pressure (BP), hemoglobin (HB) blood sugar, abnormal cell growth in any part of the body, etc. are monitored. The proposal is a mechanism for cooperative communication, which is more appropriate for Ad Hoc wireless sensor networks than cellular networks. Each node acts as a user (source), as well as transmitter, transmitting to multiple nodes forming an Opportunistic Large Array (OLA), being significantly flexible and scalable.

The use of RFID for identifying patients to improve health management in rural areas in India is proposed in [14]. The idea is to use an electronic medical record in consortium with RFID tags. The main objective is to enable easy and reliable identification of patients.

4 Proposed network structure

To improve the quality of patients lives, in this article a network structure for patients monitoring through the integration of RFID and WBANS is proposed. The proposed structure uses the monitoring concept presented in [11] associated with the cooperative Internet of Things presented in [13].

The proposed structure is presented in Fig. 2. The patients with WBAN receive an active RFID tag with high range. Active RFID tags should have its range from 5 to 200 meters, so that a near RFID reader can read the data. The tags carry information about the patient, and also serve as the interface between the WBAN and IoT cluster.

RFID readers should be close to the patient, such as in your home or near neighborhood. However, these readers may also be placed in other locations, seeking the wider possible coverage of IoT cluster. In urban centers, squares, parks, rural communities, among others, may be local to placing these RFID readers.

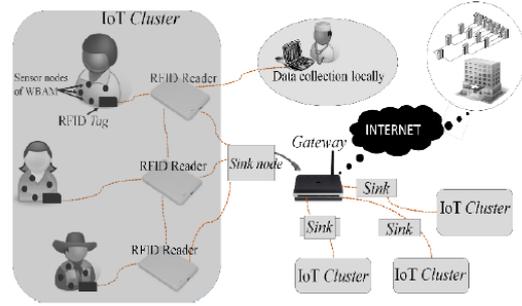


Figure 2. Proposed network model for patient monitoring in rural and urban communities using IoT cluster.

At the edge of the cluster, a sink node is used to collect and send the data to a gateway, which must be connected to the Internet through a conventional link. Through the Internet, the data are sent to a medical center or a larger hospital, which will collect the data, process them and store them.

The health professionals can also collect data locally directly from RFID readers. This procedure will allow the access to the patient data when the doctor is visiting the community. In this case the medical staff shall have a mobile computer that has a USB RFID reader attached, as well as a version of the system software installed.

At the medical center, a software interprets the information in real time, generating reports and alerts to the medical staff. In case where there is patient life-threatening, the alerts should be issued so that the rescue can be provided in a timely manner. Thus, to complement the proposed structure, the network should provide feedback to the doctor, any person responsible for the patient or the user himself. This feedback strategy is detailed in Fig. 3.

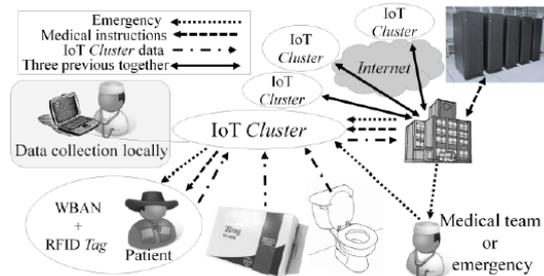


Figure 3. Feedback structure of the proposed network.

Furthermore, other "smart things" can be inserted, which justifies the use of IoT as the proposed center. With other everyday objects comprising this network, it is possible a better analysis of the patient's daily life and routine activities. Examples of this analysis may include measurements of bathroom use in people with kidney problems, control of medicine administration, moving between the rooms of the environment in which the patient lives, among many other possibilities. In Fig. 3, for example, there are a drug and a

toilet with RFID tags. The use of one and the other can be measured, and its data can serve as a basis for further analysis in the medical center.

4.1 Components of the network structure

The network structure proposed in this section consists of many elements, which are detailed below.

At the health center, the end of the proposed structure should have a technological apparatus capable of receiving data generated by smart objects, process them and store them. Thus, in this center one or more servers must be provided and software that enables the real-time monitoring of the patients is required. As the data are received, the system must analyze them to determine whether data are classified as normal or need medical emergency.

These servers can be located in the medical center, a clinic, or even in some rented datacenter. Regardless of location, the system should always be running and available for access by health staff.

Since much information about the patients is stored in the server, often confidential, special care must be taken, ensuring the privacy and integrity of the system user. Thus, encryption and security mechanisms must ensure that data are protected and are only accessed by authorized personnel. This security protection should be applied to system software, sensors, readers, tags, etc.

The medical center system must be interconnected with the IoT cluster, preferably full-time. Such interconnection could be through the Internet using a conventional link. If a cluster grows large in size, the link may become overloaded at certain times of heavy use. If there are a lot of smart objects at the network, the throughput can also be a critical factor affecting the stability of the system. Thus, a careful link dimensioning must be made for interconnection between the IoT cluster and the health center. In section 5 a study is presented for this link estimation.

In rural communities, where the Internet is not available, an alternative would be to use the 3G network to connect the system to the IoT cluster. This alternative is attractive because usually the cell phone coverage is more present in these regions. Even in the absence of the cell phone structure, the radio can be installed to provide Internet access. In extreme situation, where even the use of radio is not possible, one option is the use of satellite which can greatly raise the cost of the system, but since has global cover, is an alternative solution.

The sink node should be a device capable of receiving traffic generated by IoT cluster, and convert it to protocols commonly used in the Internet. If possible, this functionality can be embedded directly into the gateway. The IoT cluster comprises the entire RFID infrastructure and the sensor network. Indeed, the sensor network only delivers the data to the cluster IoT, which serves as a bridge between WBAN and the health center.

In rural areas, each village may have only one cluster interconnected with the IoT gateway. In urban areas, several

clusters can be provided, reaching many houses in a certain neighborhood. If the patient moves through the city, in public places may exist RFID readers to ensure greater coverage, such as plazas, subway stations and airports.

RFID readers have the function to capture the information of RFID tags placed in patients. Information from other RFID tags attached on smart objects should also be captured by readers covering the environment. If the patient is on the bed and cannot move, the reader can be positioned next to the bed.

Another function of RFID reader is the ability to communicate with others in order to expand the scope of coverage. This allows a data packet to be routed among the readers to reach the sink node. Thus, the readers can be configured as an ad hoc multi-hop network.

Readers should be coordinated by a routing algorithm that allows the choice of a leader or master reader node. The function of master node is the coordination of others nodes indicating the best way to reach the sink node.

The readers will form a set of transceivers operating as an asynchronous distributed joint communication system, constituting an array where work collaboratively, and are configured on an OLA (Opportunistic Large Arrays) of cluster of readers [13]. This arrangement of readers is shown in Fig. 4.

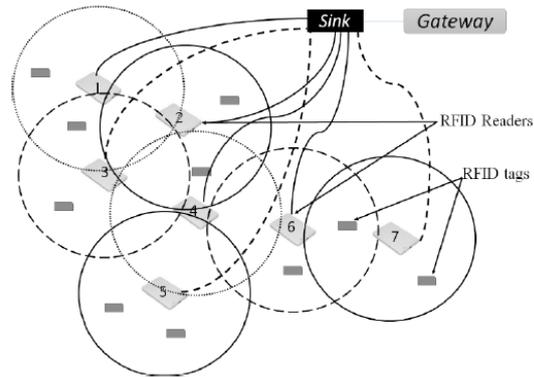


Figure 4. Configuration of cooperative communication among RFID readers.

As can be seen in Fig. 4, all RFID readers have potentially direct access to the sink node. Some readers do not have enough coverage to reach the sink node, because they are far from sink node, as shown in dotted lines. However, the readers can be moved from one place to another for better RFIDs readings and in this new rearrangement may have direct access to the sink node. This rearrangement ensures flexibility to the network configuration, even with frequent repositioning of readers.

Each RFID reader should check, initially, if there is a direct communication with the sink node. If it exists, forward the packet directly to the sink node, but must inform the closest reader that has direct communication.

The patient must have a long-range RFID tag. If the patient move out of range of the reader for some time, for example, to go to work in the field in rural areas, or move to some urban place without coverage of IoT cluster, the data from the sensor network must be stored in the tag, and when the patient reaches within range of the RFID reader, the data are transmitted to the medical center. Another possibility could be the use of Smartphones equipped with RFID readers that could store information while the patient is off-line.

5 Link dimensioning

The estimation of link capacity of the sink node is important factor for the good operation of the proposed network structure. In this section the link capacity estimation is carried out using simple queuing model. To model the proposed network, the WBAN can be considered as the packet generator and RFIDs readers constitute a network to deliver the packets to the sink node, as shown in Fig. 5.

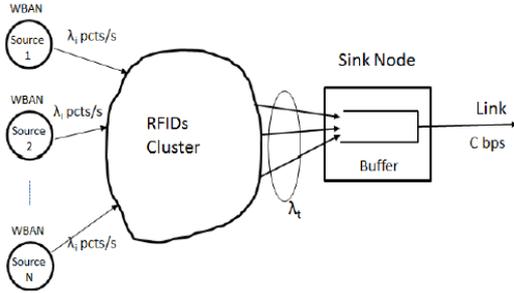


Figure 5. Network structure model for the estimation of link capacity of sink node.

For the estimation of link capacity of sink node, RFIDs cluster is just a delay network to deliver all the packets generated by WBANs. Thus, for the link capacity estimation, the analytical model can be just a buffer with a link and with a total packet rate $\lambda_t = \sum_{i=1}^N \lambda_i$ arriving to the sink node. Assuming that packets arrive to the sink node obeying Poisson distribution, as used in [15] and the packet length has negative exponential distribution, a simple M/M/1 queuing can be used to model the sink node.

5.1 Channel capacity estimation

For an M/M/1 queuing model, the waiting time in the system, that is, the queuing time in the buffer plus the packet transmission time, is given by

$$E\{T_s\} = \frac{1}{\mu - \lambda_t} \quad (1)$$

where $E\{T_s\}$ is the waiting time in the system, λ_t is the packet arrival rate and μ is the packet rate at the output of buffer.

The output rate μ can be written in function of the link capacity C as

$$\mu = \frac{C}{E\{X\}}, \quad (2)$$

where $E\{x\}$ is the average packet length in bits.

Rewriting $E\{T_s\}$ in function of C and $E\{x\}$ and separating C , the following expression can be written

$$C = \frac{(1 + E\{T_s\}\lambda_t)E\{X\}}{E\{T_s\}}. \quad (3)$$

5.1.1 Numerical examples

For the illustration of above equation, some numerical examples will be given. As the design criterion it is assumed that the waiting time in the system, $E\{T_s\}$, is small, so that, a packet spends short time at sink node. So, three values are considered, $E\{T_s\} = .1$ sec, $.5$ sec and 1 sec. Assuming $E\{X\} = 1000$ bits, and varying the input packet rate λ_t the link capacity, C , can be estimated.

Figure 6 shows the estimation of capacity for three values of $E\{T_s\}$ in function of input packet rate. As can be seen in the figure, for smaller waiting time in the system, a greater link capacity is required. For example, for $\lambda_t = 10$ the necessary link capacities are 20 kb/s, 12 kb/sec, and 11 kb/sec, for waiting time of $.1$ sec, $.5$ sec and 1 sec, respectively.

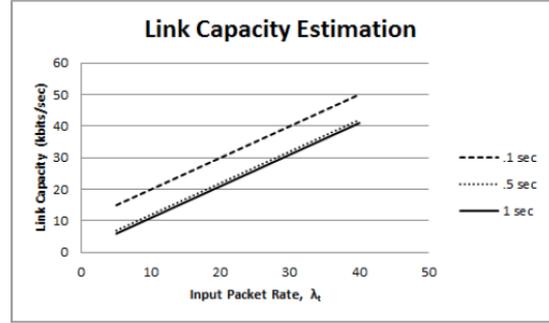


Figure 6. Link Capacity in function of input packet rate for various values of waiting time in the system.

5.2 Number of RFID tags estimation

The number of RFID tags can also be estimated, considering that the capacity is given. Using the Eqs. 1 and 2, λ_t can be written as

$$\lambda_t = \frac{E\{T_s\} \frac{C}{E\{X\}} - 1}{E\{T_s\}} \quad (4)$$

5.2.1 Numerical examples

Considering the waiting time in the system, $E\{T_s\} = .1$ sec, and the channel capacities of 50 kb/s, 100 kb/s and 200 kb/s, the total input packet rate, λ_t , using Eq. 4, will be 40 pkt/s, 90 pkt/s and 190 pkt/s, respectively. Considering an estimation of 1 pkt/s for each RFID tag, the numbers of RFIDs that can be accommodated are 40, 90 and 190. Table 1 shows the number of RFID tags that can be accommodated for other values of $E\{T_s\}$.

Table 1. Numbers of RFIDs tags in function of link capacity considering 1 pkt/s rate per RFID

$E\{T_s\}$ (sec)	Capacity		
	50 kb/s	100 kb/s	200 kbp/s
.1	40	90	190
.5	48	98	198
1	49	99	199

6 Conclusions

In this paper, a network configuration using IoT technology for application in healthcare is proposed. The proposed configuration is appropriate for medical care of patients in their own homes. The main concept was to combine the WBAN network that monitors the vital signs of a patient with RFIDs. RFID readers placed strategically close to the patients, collect data from the WBAN, and through a clustered configuration of these readers, the data is transferred to a sink node, and then transmitted to a gateway. The gateway has an Internet connection, and thus the data of patients can reach medical facilities where they can be processed and presented to physicians for monitoring purposes.

In this article, the main points of the network are detailed, and some design considerations for good operation of network are pointed out.

The link capacity of sink node and number of RFID tags are estimated using simple queuing model for good operation of the network.

In future work, the best kind of routing in the cluster of RFID readers to deliver the packets to the sink node will be studied.

7 References

- [1] Yang, D., Liu, F., Liang, Y. (2010). "A Survey of the Internet of Things". International Conference on E-Business Intelligence (ICEBI-2010): *Advances in Intelligent Systems Research*, pages 358 – 366. Atlantis Press.
- [2] Atzori, L., Iera, A. and Morabito, G. (2010). "The Internet of Things: A Survey". *Computer Networks*, pages 2787-2805 Vol. 54, No. 15.
- [3] ITU International Telecommunication Union (2005): "The Internet of Things. Executive Summary",

<http://www.itu.int/osg/spu/publications/internetofthings/>, July.

- [4] Fleisch, E. (2010). "What is the Internet of Things? An Economic Perspective". *Auto-ID Labs White Paper WP-BIZAPP-053*.
- [5] Wu, M., Lu, T., Ling, F., Sun, J., Du, H. (2010). "Research on the architecture of Internet of things". *Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE)*, 3rd International Conference, pages V5-484 - V5-487.
- [6] Mazhelis, O., Luoma, E., Warma, H. (2011). "Defining an Internet-of-Things Ecosystem" *Springer-Verlag*, Heidelberg, Berlin.
- [7] Auto-Id Labs. (2013) Available: <http://www.autoidlabs.org/>.
- [8] Xue, X., Li, G., Liu, L., Liu, M. (2012). "Perspectives on Internet of Things and Its Applications". *2nd International Conference on Computer Application and System Modeling*. Atlantis Press, Paris, France.
- [9] Vermesan, O., et al. (2011). "Internet of Things Strategic Research Roadmap". *European Research Cluster*. <http://www.internet-of-things-research.eu/>
- [10] Bauer, M., et al. 2011. Introduction to the Architectural Reference Model for the Internet of things. First Reference Model White Paper. *IOT-i The Internet of Things Initiative*. [Online] Available: <http://www.iot-a.eu/> [Accessed 14 July 2013].
- [11] Zhao, W., Wang, C., Yorie, N. (2011). "Medical application on internet of things". *Communication Technology and Application (ICCTA 2011)*, IET International Conference, pages 660 – 665.
- [12] Briseno, M., Cota, C., Garcia, E., Lopez, J. (2012). "A proposal for using the internet of things concept to increase children's health awareness". *Electrical Communications and Computers (CONIELECOMP)*, 22nd International Conference, pages 168 – 172.
- [13] Rohokale, V.M. Prasad, N.R. Prasad, R "A Cooperative Internet of Things (IoT) for Rural Healthcare Monitoring and Control", *Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronic Systems Technology (Wireless VITAE)*, 2011 2nd International Conference, pages 1-6.
- [14] Chia, S., Zalzal, A., Zalzal, L., Karimi, A. 2011. RFID and Mobile Communications for Rural e-Health. A community healthcare system infrastructure using RFID for individual identity. *IEEE Global Humanitarian Technology Conference*. Computer Society, pp 371 – 376.
- [15] S. 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.

2. Artigo submetido na WD'14

A Conferência *Wireless Days* é uma conferência internacional e possui nota B4 na avaliação WebQualis 2012 da Capes.

2.1 Comprovante de submissão do artigo

O texto a seguir refere-se ao e-mail recebido referente à submissão do artigo para a conferência. Neste e-mail, constam o título do artigo e o título do congresso.

De: EDAS Conference Manager [mailto:help@edas-help.com] Enviada em: domingo, 6 de julho de 2014 11:03
Para: Edivaldo Serafim
Cc: Shusaburo Motoyama
Assunto: [WD'14] #1570001449 has been uploaded

Dear Mr. Edivaldo Serafim:

Thank you for uploading your paper 1570001449 ('Link Capacity and Number of RFIDs Estimation of a Network Using IoT Technology for Medical Application') to 2014 Wireless Days conference (WD'14). The paper is of type application/pdf and has a length of 805163 bytes.

You can modify your paper at

<http://edas.info/showPaper.php?m=1570001449>

and see all your submissions at

<http://edas.info/>

using the EDAS identifier eserafim@ifsp.edu.br

Regards,

Luís Henrique Costa and Miguel Elias Campista, General Chairs Artur Ziviani, Cigdem Sengul, and José-Marcos Nogueira, Technical Program Co-Chairs

A Fig. 36, mostra a plataforma EDAS com a submissão referida.

#57 (1570001449): *Link Capacity and Number of RFIDs Estimation of a Network Using IoT Technology for Medical Application*

2014 Wireless Days conference - Ad Hoc and Sensor Networks

Property	Change Add	Value																											
Conference and track		2014 Wireless Days conference - Ad Hoc and Sensor Networks																											
Authors		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Name</th> <th>ID</th> <th>Flag</th> <th>Affiliation (edit)</th> <th>Email</th> <th>Country</th> <th>Email</th> <th>Move authors</th> <th>Delete</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Edivaldo Serafim</td> <td>1092359</td> <td></td> <td>Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de São Paulo</td> <td>eserafim@ifsp.edu.br</td> <td>Brazil</td> <td></td> <td>▼</td> <td>🗑️</td> </tr> <tr> <td>Shusaburo Motoyama</td> <td>121339</td> <td></td> <td>Faculty of Campo Limpo Paulista - Faccamp & Universidade Estadual De Campinas - Unicamp</td> <td>motoyama@cc.faccamp.br</td> <td>Brazil</td> <td></td> <td>▲</td> <td>🗑️</td> </tr> </tbody> </table>	Name	ID	Flag	Affiliation (edit)	Email	Country	Email	Move authors	Delete	Edivaldo Serafim	1092359		Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de São Paulo	eserafim@ifsp.edu.br	Brazil		▼	🗑️	Shusaburo Motoyama	121339		Faculty of Campo Limpo Paulista - Faccamp & Universidade Estadual De Campinas - Unicamp	motoyama@cc.faccamp.br	Brazil		▲	🗑️
Name	ID	Flag	Affiliation (edit)	Email	Country	Email	Move authors	Delete																					
Edivaldo Serafim	1092359		Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de São Paulo	eserafim@ifsp.edu.br	Brazil		▼	🗑️																					
Shusaburo Motoyama	121339		Faculty of Campo Limpo Paulista - Faccamp & Universidade Estadual De Campinas - Unicamp	motoyama@cc.faccamp.br	Brazil		▲	🗑️																					
Title		<i>Link Capacity and Number of RFIDs Estimation of a Network Using IoT Technology for Medical Application</i>																											
Abstract		The link capacity and number of RFIDs estimation of a network combining WBAN and IoT technology for health care application is carried out in this paper. By using design criterion that specifies a small packet waiting time in the system and considering two different distributions of packet length (negative exponential and fixed) and a buffer with unlimited and limited positions for storing packets, the link capacities of a sink node for different cases are estimated by simulation. Using the same graphs obtained for capacity estimation, the number of RFIDs tags that the network can accommodate is also estimated.																											
Keywords		Internet Of Things; RFID; Wireless Body Area network; WBAN; IoT Cluster																											
Topics		WSN for Health/Ecology/Emergency																											
Status		active																											
Non-preferred reviewers																													

Figura 32. Tela com navegador exibindo a plataforma EDAS exibindo o artigo submetido

2.2 Artigo submetido

A seguir, o artigo submetido ao congresso é apresentado. O artigo é intitulado "*Link Capacity and Number of RFIDs Estimation of a Network Using IoT Technology for Medical Application*". Neste artigo, que é a continuação do artigo submetido para a ICWN, expõe alguns resultados do dimensionamento de enlace do nó *sink* e estimativa de quantidade de *tags* RFID que o sistema comportará, obtido pelas simulações computacionais.

Link Capacity and Number of RFIDs Estimation of a Network Using IoT Technology for Medical Application

Edivaldo Serafim and Shusaburo Motoyama
Faculty of Campo Limpo Paulista – FACCAMP
Master Program in Computer Science
Campo Limpo Paulista, S.P, Brazil
eserafim@ifsp.edu.br; shumotoyama@gmail.com

Abstract—The link capacity and number of RFIDs estimation of a network combining WBAN and IoT technology for health care application is carried out in this paper. By using design criterion that specifies a small packet waiting time in the system and considering two different distributions of packet length (negative exponential and fixed) and a buffer with unlimited and limited positions for storing packets, the link capacities of a sink node for different cases are estimated by simulation. Using the same graphs obtained for capacity estimation, the number of RFIDs tags that the network can accommodate is also estimated.

Keywords—Internet Of Things, RFID, Wireless Body Area network, WBAN, IoT Cluster

I. INTRODUCTION

The main concept of the Internet of Things (IoT) is the interaction of many smart objects with people and other objects to achieve common goals. The IoT will allow the everyday objects become intelligent and can be identified and accessed through the Internet. Such achievement will be possible due to technologies like RFID and sensor networks, which will provide these objects with intelligence, and thus can communicate [1].

One of the areas that can be benefited by IoT technology is healthcare. The applications of IoT in healthcare can be in areas such as tracking objects and people (staff and patients), identification and authentication of persons; automated data collection and patients monitoring [2].

The IoT technology can be beneficial to the medical care in country like Brazil, due to poor hospital infrastructure existing. The patients may stay in their homes without occupying hospital beds, but being monitored remotely and having prompt medical attention in case of emergencies. In [3] a network structure combining wireless body sensor networks (WBANs) with IoT technology was proposed. The proposed network integrates the WBAN network that monitors the vital signs of a patient with RFIDs. RFID readers placed strategically close to the patients, collect data from the WBAN, and through a clustered configuration of these readers, the data is transferred to a sink node, and then transmitted to a gateway. The gateway has an Internet connection, and thus the data of patients can reach medical facilities where they can be processed and presented to physicians for monitoring purposes. In [3] the link capacity of sink node was also estimated using simple M/M/1 queuing model.

In this paper the link capacity of sink node and number of RFIDs necessary for good operation of network are estimated by simulation. In this study different approaches are considered such as fixed packet length and limited positions in the buffer.

The paper is organized as follows. In section 2 related works are described. The proposed network structure for medical care in urban and rural areas presented in [3] is summarized in section 3. In section 4 the link capacity and number of RFIDs necessities for good operation of proposed network are estimated. Finally, in section 5, the main conclusions and future work are presented.

II. RELATED WORK

A health-monitoring platform for preventing disease was presented in [4]. The project is to deploy sensors in patient body, through a WBAN network, and connect this network to the Internet through a cell phone or a router. The patient information reaches the doctor who can track the health of patient.

In [5] a cooperative approach to monitor and control the parameters of health in rural area using IoT was proposed. The proposal is a mechanism for cooperative communication, which is more appropriate for Ad Hoc wireless sensor networks than cellular networks. Each node acts as a user (source), as well as transmitter, transmitting to multiple nodes forming an Opportunistic Large Array (OLA), being significantly flexible and scalable.

In [3] a network structure combining WBAN and RFIDs was proposed. The proposed structure uses the monitoring concept presented in [4] associated with the cooperative Internet of Things presented in [5].

III. NETWORK STRUCTURE FOR THE ANALYSIS

A network structure for patient monitoring through the integration of WBANs and RFIDs proposed in [3] is shown in Fig. 1. The patient with WBAN receives an active RFID tag with high range. Active RFID tags should have its range from 5 to 200 meters, so that a near RFID reader can read the data. The tags carry information about the patient, and also serve as the interface between the WBAN and an RFID reader. RFID readers have the function to capture the information of RFID tags placed in patients. Another function of RFID reader is the ability to communicate with others in order to expand the scope of coverage. This allows a data packet to be routed among the readers to reach the sink node. Thus, the readers can be configured as an ad hoc multi-hop network.

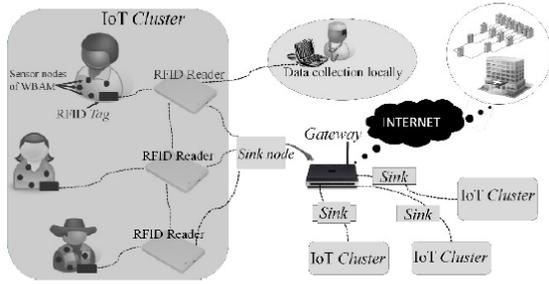


Fig. 1. Network structure for monitoring patients in rural and urban communities using IoT cluster [3].

Readers should be coordinated by a routing algorithm that allows the choice of a leader or master reader node. The function of master node is the coordination of others nodes indicating the best way to reach the sink node.

The readers will form a set of transceivers operating as an asynchronous distributed joint communication system, constituting an array where work collaboratively, and are configured on an OLA (Opportunistic Large Arrays) of cluster of readers [5]. This arrangement of readers is shown in Fig. 2.

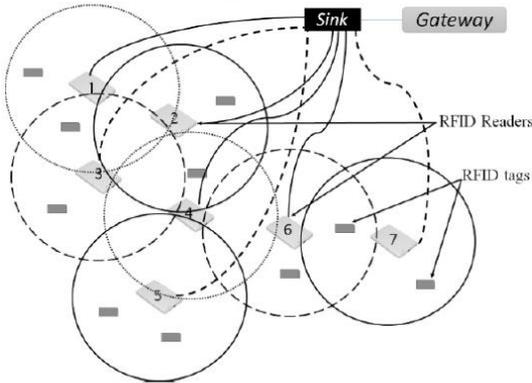


Fig. 2. Cooperative communication between RFID readers [3].

The set of RFID readers and patients with WBANs and RFID tags is called IoT cluster. Many IoT clusters can be provided to attend different communities as is shown in Fig.1.

At the edge of the IoT cluster, a sink node is used to collect and send the information to a gateway. The gateway must be connected to the Internet through a conventional link. Through the Internet, the data should be transferred to a medical center or a hospital, which will collect the data, process them and store them. The sink node must be a device capable of receiving traffic generated by IoT cluster, and convert it to commonly protocols used in the Internet.

At the medical center, a software program interprets the data in real time, generating reports and alerts to the medical staff.

In cases where there are life-threatening of patients the alerts should be issued so that the rescue can be provided in a timely manner. Thus, the network should provide feedback to the doctor, any person responsible for the patient or the user himself.

IV. SINK NODE LINK CAPACITY AND NUMBER OF RFIDS ESTIMATION

The estimation of both the link capacity of the sink node and the number of RFIDs the network can accommodate is very important because the network is used for medical application and is required almost real time processing so that it must work without long packet waiting times and deadlocks.

In [3] the link capacity estimation was carried out using a theoretical queuing model. A mathematical expression for the necessary capacity using a simple M/M/1 queue was obtained. In this section, using the other network parameters such as the influence of limited buffer, as well packets of fixed sizes, the capacities are estimated by computer simulation.

To model the proposed network, the WBAN can be considered as the packet generator and RFIDs readers constitute a network to deliver the packets to the sink node, as shown in Fig. 3.

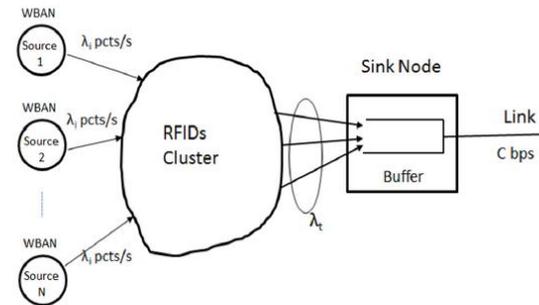


Fig. 3. Network model for the analysis [3]

For the estimation of link capacity of sink node, RFIDs cluster is just a delay network to deliver all the packets generated by WBANs. Thus, for the link capacity estimation, the simulation model can be just a buffer with a link and with a total packet rate of $\lambda_t = \sum_i^N \lambda_i$ arriving to the sink node.

The following assumptions are adopted: packets arrive at the sink node following a Poisson distribution, as used in [6] and two types of packet sizes are used: negative exponential distribution and fixed length. In the following discussion, the results obtained by computer simulation are presented.

A. Estimation using packets with exponential lengths

As a design criterion, it is considered that the average waiting time of packets in the system, $E\{T_s\}$ must be small, so that a packet spends a short time in the sink node. Thus, three values are considered, $E\{T_s\} = 0.1$ sec, 0.2 sec and 0.3 sec. It is also assumed that the packet length, $E\{X\}$, is 1000 bits long in average.

A simulator using the Java programming language was developed for the link capacity estimation.

The algorithm to estimate the capacity is based on the fact that queue output rate μ is a function of capacity C , that is

$$\mu = \frac{C}{E\{X\}} \quad (1)$$

Assuming, initially a value for λ_i and considering an output rate μ double of λ_i , the simulation is carried out varying the input rate λ_i to satisfy the specified waiting time $E\{T_s\}$. If the simulated value of $E\{T\}$ is not in the 99% and 100% range, the output rate μ is redefined incrementing if is lower than 99% or decrementing if is greater than 100% and new simulation is carried out. When the simulated value is in the specified interval (99% to 100%) the obtained output rate is the solution and hence the capacity can be calculated. Each simulation is carried out using a million of packets inputting the system.

This same algorithm is used for two types of simulation considering infinite and finite buffer. For infinite buffer, all packets will be accepted by the system and processed with no discarding. With finite buffer, some packets are not processed due to lack of buffer space, and are discarded.

1) Unlimited Buffer

Fig. 4 shows the estimated capacities by simulation considering infinite buffer for the three values of $E\{T_s\}$ in function of the packet input rate. As can be seen in the figure, the need for shorter waiting time in the system, a larger link capacity is required. For instance, for $\lambda_i = 10$ the required link capacities are 20 Kb/s, 15 Kb/s and 13.33 Kb/s, for the waiting times of 0.1 seconds 0.2 seconds 0.3 seconds respectively.

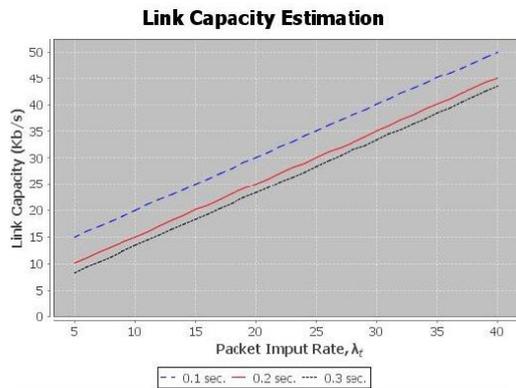


Fig. 4. Link capacity as a function of packet input rate obtained through simulation.

2) Limited Buffer Case

In practical situations, the assumption of infinite buffer is not realistic, that is, the buffer has always limited positions for packet storing. To study the influence of packet loss in capacity estimation, simulations were carried out using limited buffer with 3, 5 and 10 positions.

a) *Buffer with 3 positions:* Fig. 5 shows the results of simulation with three locations buffer. As can be seen in figure for a packet input rate of $\lambda_i = 10$, the necessary capacities for average waiting times to be 0.1 sec, 0.2 sec and 0.3 sec are 18 kb/s, 11 kb/s and 7.5 kb/s, respectively. The necessary capacities are lower than in case of infinite buffer. However, as shown in Fig. 6, the loss probabilities are 5%, 17% and 32%, for waiting times of 0.1 sec, 0.2 sec and 0.3 sec, respectively. This means that although the required capacities are lower, it is not possible to work in these situations because the packet loss is too high, unless the packet input rate be lowered, to obtain a reasonable packet loss. In this case of only 3 packet positions in the buffer, the input rate must be less than 5 pcts/sec. In Fig. 5, it can also see that, when the packet input rate is high, the necessary capacities go to the saturation, meaning that the 3 packet positions are always full and the exceeding arriving packets are lost.

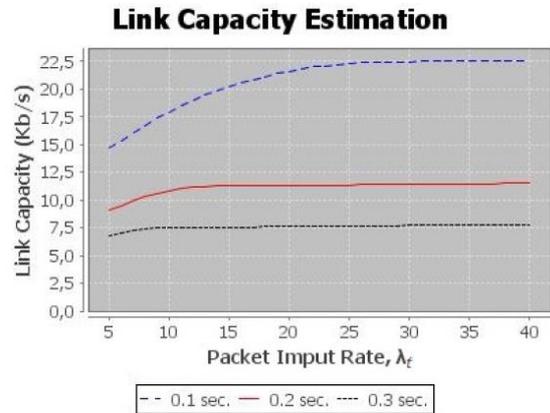


Fig. 5. Link capacity as a function of packet input rate obtained through simulation for buffer with 3 positions.

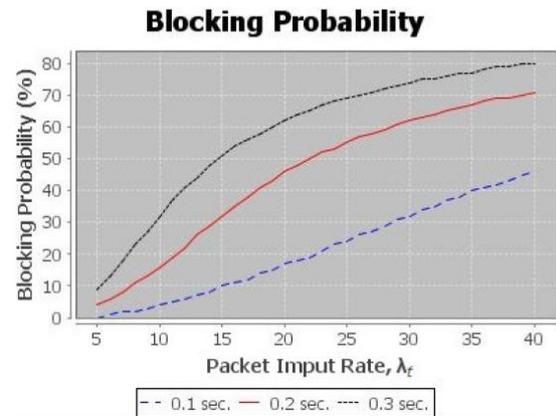


Fig. 6. Blocking probability as a function of packet input rate obtained through simulation for 3 positions buffer.

b) *Buffer with 5 positions:* Figs. 7 and 8 show the results for estimated link capacities and blocking probabilities,

respectively when increasing the buffer size to 5 positions. The same behavior of 3 positions buffer can be observed for this case as can be seen by figures. For $\lambda_t = 10$, the necessary capacities are still lower than infinite buffer case, but the blocking probabilities are still high and prohibitive for waiting times of 0,2 sec and 0,3 sec. For waiting time 0,1, the loss is about 1 % so that in this case the estimated capacity could be used.

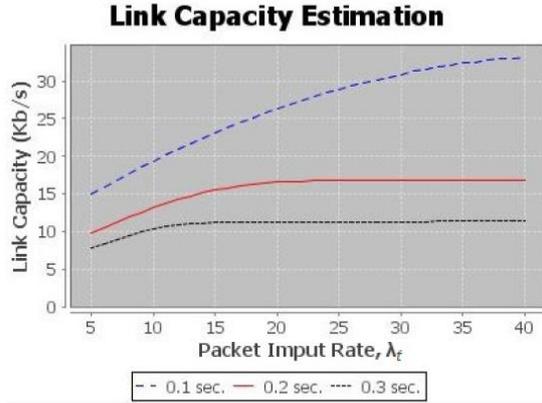


Fig. 7. Link capacity as a function of packet input rate obtained through simulation for buffer with 5 positions.

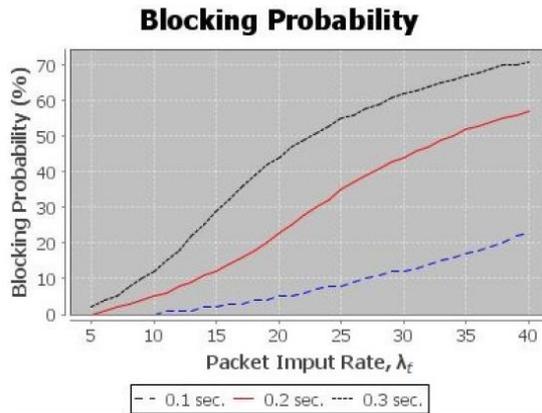


Fig. 8. Blocking probability as a function of packet input rate obtained through simulation for 5 positions buffer.

c) *Buffer with 10 positions:* Figs. 9 and 10 show the results for estimated link capacities and blocking probabilities, respectively when increasing the buffer size to 10 positions. As can be seen by Fig. 9 the necessary capacities are almost same of infinite buffer case. For instance, for $\lambda_t = 10$, the necessary capacities are 20 kb/s, 15 kb/s and 13 kb/s for waiting times of 0.1 sec, 0.2 sec and 0.3 sec, respectively. However, as can see in Fig. 10, there is no packet loss for waiting times of 0.1 sec and 0.2 sec, but for 0.3 sec the blocking probability is about

2%. Thus, for this case of $\lambda_t = 10$, the estimated capacities can be used in three cases.

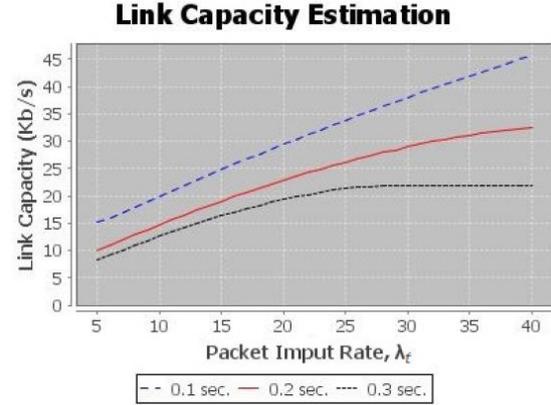


Fig. 9. Link capacity as a function of packet input rate obtained through simulation for buffer with 10 positions.

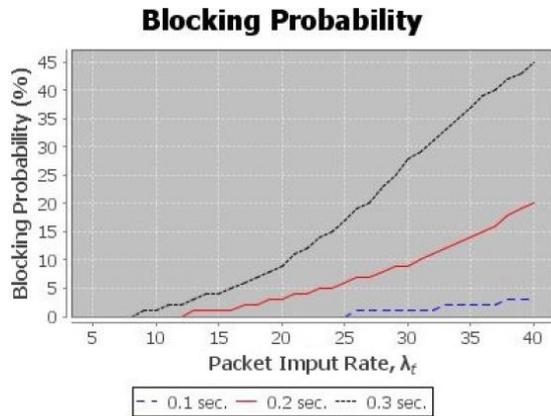


Fig. 10. Blocking probability as a function of packet input rate obtained through simulation for 10 positions buffer.

B. Estimation using fixed packet lengths

In a WBAN which needs an efficient scheme of energy saving the utilization of fixed packet is highly recommended because the packet processing and storing are easier than variable lengths as the exponential case. Thus, in this subsection the influence of fixed packet lengths on the estimation of link capacity will be studied. For simulation the same packet size of 1000 bits used in exponential case will be adopted. The unlimited and limited buffers cases are also considered.

1) Infinite Buffer case

Fig. 11 shows the results of simulation considering that the waiting time in the buffer must be small to avoid any deadlock. Thus, the waiting times considered are the same of subsection A, that is, 0.1 sec, 0.2 sec and 0.3 sec. The general conclusion for this case is that the necessary capacities for three cases

considered are smaller than exponential cases. For instance, for $\lambda_i = 10$ the necessary link capacities are 17.2 kb/s, 13.15 kb/s and 11.9 kb/s for the waiting time of 0.1 sec, 0.2 sec, and 0.3 sec respectively.

Link Capacity Estimation

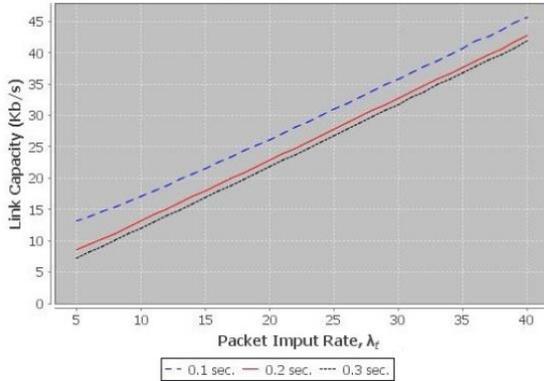


Fig. 11. Link capacity as a function of packet input rate obtained through simulation with fixed packet length and unlimited buffer.

2) Limited Buffer case

In this case the buffer is limited in 3 and 10 positions.

a) *Buffer with 3 positions:* Figures 12 and 13 show the results for this case. The capacities are smaller when compared to the Fig. 5. For instance, considering $\lambda_i = 10$ pcts/sec, the necessary capacities are 16 kb/sec, 10.5 kb/sec and 7.5 kb/sec for the waiting times of 0.1 seconds 0.2 seconds 0.3 seconds respectively. The same phenomenon of exponential distribution can be observed in this case for an overload of packet input rate, when the system goes into saturation, meaning that the all three positions are always occupied by packets. The saturation points are approximately at packet input rates of $\lambda_i = 30$, $\lambda_i = 14$ and $\lambda_i = 9$ for the waiting times of 0.1 seconds 0.2 seconds 0.3 seconds respectively.

Link Capacity Estimation

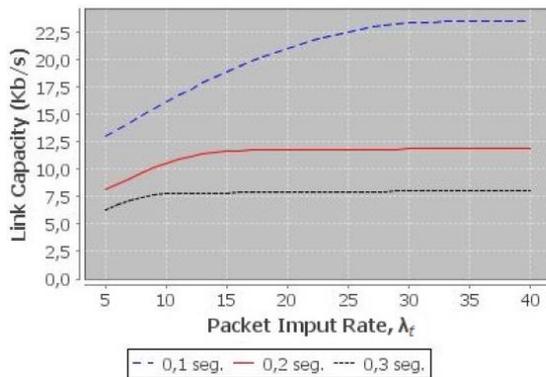


Fig. 12. Link capacity as a function of packet input rate obtained through simulation with fixed packet length and 3 positions buffer.

Blocking Probability

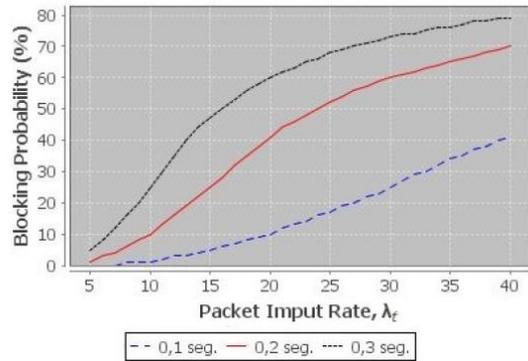


Fig. 13. Blocking probability as a function of packet input rate obtained through simulation for fixed packet length and 3 positions buffer.

Link Capacity Estimation

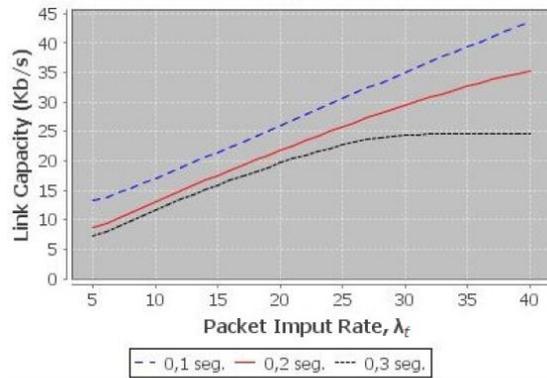


Fig. 14. Link capacity as a function of packet input rate obtained through simulation with fixed packet length and 10 positions buffer.

Blocking Probability

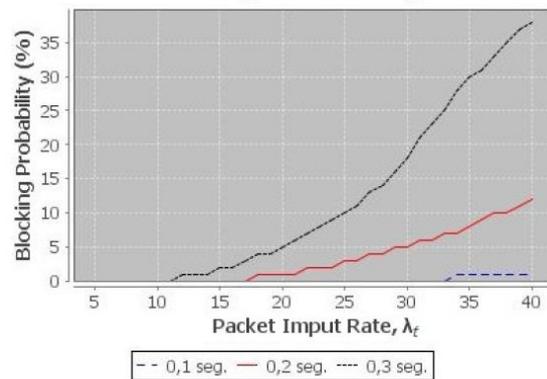


Fig. 15. Blocking probability as a function of packet input rate obtained through simulation for fixed packet length and 10 positions buffer.

b) *Buffer with 10 positions*: In this case the same curves behaviors of Figs. 9 and 10 are shown, as can be seen in Figs. 14 and 15. The same conclusions can also be obtained, but considering that the capacities and blocking probabilities are slightly smaller than exponential cases.

C. Number of RFIDs Estimation

The number of RFIDs tags can be calculated assuming that the link capacity is given. The given capacity is calculated using the procedure adopted in subsections A and B. Thus, the figures obtained in subsections A and B can be used for the number of RFIDs tags estimation. For instance, considering Fig. 4 and assuming that the given capacities to obtain the averages waiting times of 0.1 sec, 0.2 sec and 0.3 sec are 20 Kb/s, 15 Kb/s and 13.33 Kb/s, respectively, the total packet input rate for these three cases is $\lambda_t = 10$ pcts/sec. Assuming that each RFID tag generate a packet output rate of $\lambda = 1$ pcts/sec, the number of RFID tags that can be accommodated is 10.

By using above reasoning, and using the Figs. 4, 5, 7, 9, 11, 12 and 14, the number of RFIDs can be estimated for the other cases considering exponential and fixed length and unlimited and limited buffer cases.

V. CONCLUSION

The link capacity of sink node and number of RFID tags estimation for a network combining WBAN and IoT technology for application in health care was carried out by simulation. The analyzed network is proposed for medical application needing almost real time processing so that the link capacity must be carefully dimensioned to avoid long waiting time of packets and deadlocks. Thus, the used design criterion was to specify a small packet waiting time in the system. Considering two different distributions of packet length and a buffer with unlimited and limited positions for storing packets, the capacity of sink node for each case was estimated.

Simulation results show that, in general, the distribution using fixed size packet required lower capacity for both unlimited and limited buffer size compared to the packets obeying negative exponential distribution. For limited buffer size the required capacity was even lower, but since the packet loss can occur, an appropriate buffer size must be used so that the packet blocking probability stays in very low level, for example, less than 1%. Furthermore, using the same graphs obtained for capacity estimation, the number of RFIDs tags that the network can accommodate was estimated.

In future work, more realistic types of input distribution such as on/off source for WBAN will be used to estimate the necessary sink node capacity and number of RFID tags.

REFERENCES

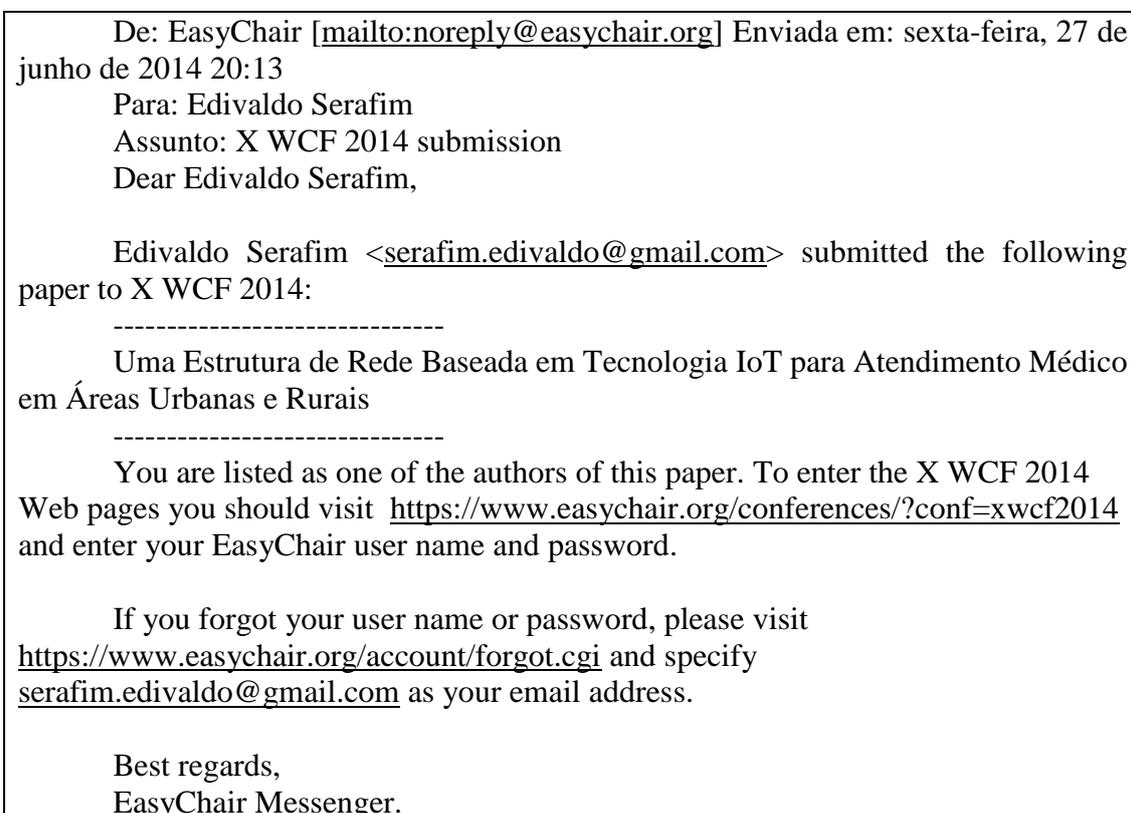
- [1] Yang, D., Liu, F., Liang, Y. (2010). "A Survey of the Internet of Things". International Conference on E-Business Intelligence (ICEBI-2010): Advances in Intelligent Systems Research, pages 358 – 366. Atlantis Press.
- [2] Atzori, L., Iera, A. and Morabito, G. (2010). "The Internet of Things: A Survey". Computer Networks, pages 2787-2805 Vol. 54, No. 1
- [3] Serafim, E., and Motoyama, S. "A Network Structure for Medical Assistance in Rural and Urban Areas Using IoT Technology" International Conference on Wireless Networks, ICWN2014, Las Vegas, to be presented.
- [4] Zhao, W., Wang, C., Yorie, N. (2011). "Medical application on internet of things". Communication Technology and Application (ICCTA 2011), IET International Conference, pages 660 – 665.
- [5] Rohokale, V.M, Prasad, N.R, Prasad, R "A Cooperative Internet of Things (IoT) for Rural Healthcare Monitoring and Control", Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronic Systems Technology (Wireless VITAE), 2011 2nd International Conference, pages 1-6.
- [6] S. 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.

3. Artigo submetido para o X Workshop de Computação da FACCAMP

O Workshop de Computação da FACCAMP (WCF) é um evento de abrangência nacional promovido pela Faculdade Campo Limpo Paulista.

3.3 Comprovante de submissão do artigo

O texto a seguir refere-se ao e-mail recebido referente à submissão do artigo para o *workshop*. Neste e-mail, constam o título do artigo e o título do *workshop*.



A Fig. 37, mostra a plataforma *EasyChair* com a submissão referida.

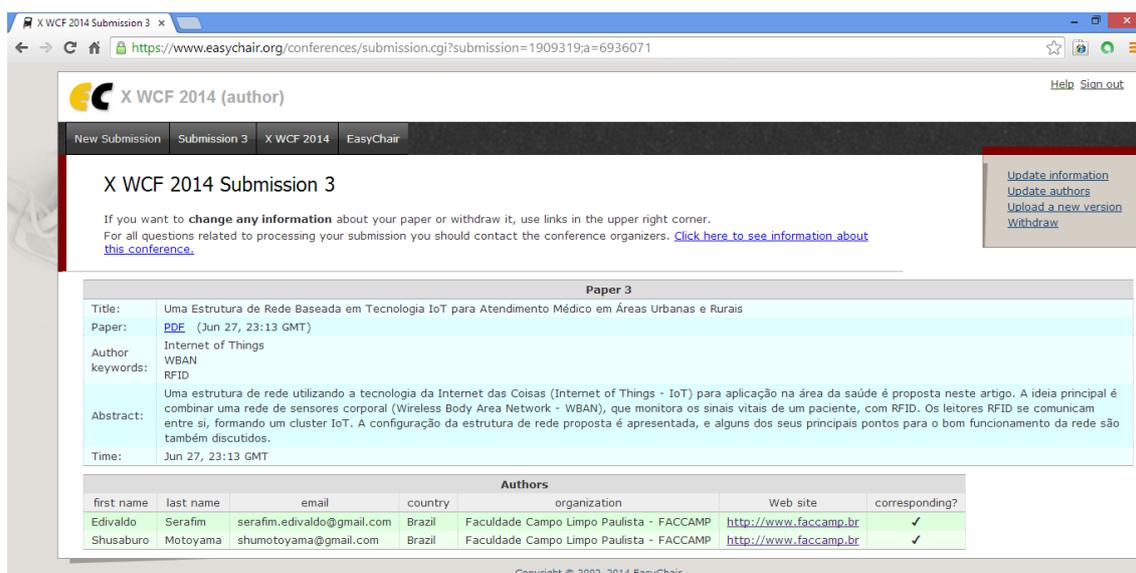


Figura 33. Tela com navegador exibindo a plataforma *EasyChair* exibindo o artigo submetido

3.3 Artigo submetido

A seguir, o artigo submetido ao *workshop* é apresentado. O artigo tem como título "Uma Estrutura de Rede Baseada em Tecnologia IoT para Atendimento Médico em Áreas Urbanas e Rurais". O artigo apresenta a proposta de rede dessa dissertação de forma extremamente sucinta, devido ao fato de ser um artigo no formato de *short paper*.

Uma Estrutura de Rede Baseada em Tecnologia IoT para Atendimento Médico em Áreas Urbanas e Rurais

Edivaldo Serafim, Shusaburo Motoyama

Programa de Mestrado em Ciência da Computação

Faculdade Campo Limpo Paulista (FACCAMP) – Campo Limpo Paulista, SP – Brazil

eserafim@ifsp.edu.br, shumotoyama@gmail.com

Abstract. *A network structure using IoT technology for application in healthcare is proposed in this paper. The main idea is to combine the body sensor network (WBAN) that monitors the vital signs of a patient with RFIDs. RFID readers communicate with each other, forming a cluster IoT. The configuration of the proposed network structure is presented, and some main points for the good functioning of the network are also discussed.*

Resumo. *Uma estrutura de rede utilizando a tecnologia da Internet das Coisas (Internet of Things - IoT) para aplicação na área da saúde é proposta neste artigo. A ideia principal é combinar uma rede de sensores corporal (Wireless Body Area Network - WBAN), que monitora os sinais vitais de um paciente, com RFID. Os leitores RFID se comunicam entre si, formando um cluster IoT. A configuração da estrutura de rede proposta é apresentada, e alguns dos seus principais pontos para o bom funcionamento da rede são também discutidos.*

1. Introdução

A Internet das Coisas (*Internet of Things* ou IoT) consiste na presença generalizada de objetos inteligentes interagindo com as pessoas e com outros objetos para atingir objetivos comuns. A IoT possibilitará que objetos simples como aparelhos de ar condicionado, geladeiras, carros, casas, etc. se tornem inteligentes, podendo ser identificados e acessados através da Internet. Isso será possível graças a tecnologias como RFID e redes de sensores, que dotarão esses objetos com inteligência, e assim, possam se comunicar [Yang, Liu, and Liang, 2010].

O impacto na vida cotidiana das pessoas que a IoT irá proporcionar será mais visível no ambiente de trabalho e no ambiente doméstico [ITU 2005] e [Mazhelis, Luoma and Warma 2011]. Porém, a IoT poderá abranger outras áreas em potencial, como transporte, segurança pública, energia, inteligência governamental, saúde entre outras, como apontam os pesquisadores. Em especial, a área da saúde merece peculiar atenção, pois poderá além de melhorar a qualidade de vida do usuário, contribuir para uma maior longevidade, possibilitando até salvar vidas, em casos de situações de emergência [Yang, Liu, and Liang 2010], [ITU 2005], [Mazhelis, Luoma and Warma 2011], [Atzori, Iera and Morabito 2010] e [Bauer et al. 2011].

Neste artigo, é proposta uma estrutura de rede baseada na tecnologia IoT para o monitoramento de pacientes em áreas rurais assim como em áreas urbanas de alta concentração humana. Esta estrutura visa interligar redes corporais de sensores (WBANs) com os leitores de RFIDs. Os Leitores se cooperam para transferir os dados até um ponto de acesso da Internet e através dessa, atingem os centros médicos, onde os dados são processados e apresentados aos médicos. Os conjuntos de leitores RFIDs que se comunicam cooperativamente para a transferência de dados são denominados *clusters* IoT.

2. Estrutura de rede proposta

Pode-se ter uma visão geral do modelo de rede proposto na Figura 1. Pacientes com WBAN recebem uma etiqueta de RFID ativa de alto alcance. Essas *tags* são responsáveis por carregar informações triviais de sistemas RFID como a identificação do paciente por exemplo. Além disso, localidade, medicamentos utilizados pelo paciente, e outras informações que possam ser úteis devem ficar armazenadas na *tag*.

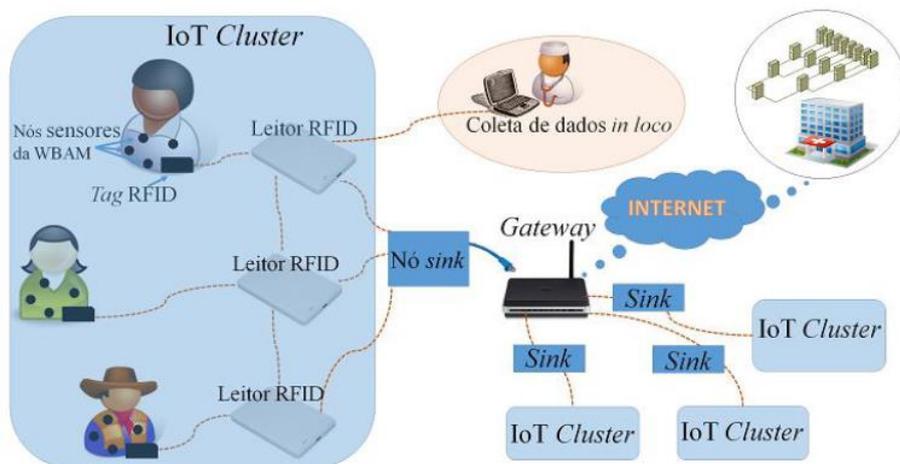


Figura 1. Modelo de rede proposto para monitoramento de pacientes.

Além das informações citadas, a *tag* também serve como interface entre a rede de sensores e a Internet. Os dados dos sinais vitais do paciente coletados pela rede de sensores são transmitidos para a *tag*, que é lido pelo leitor de RFID. O leitor de RFID repassa os dados para um nó *sink*. No *sink*, os dados são convertidos para protocolos comuns utilizados na Internet, e são entregues para o *gateway*. O *gateway* possui conexão com a Internet que entrega os dados para um centro médico especializado ou então para um hospital de grande porte. Vários leitores próximos uns dos outros podem trocar informação entre si, formando um aglomerado de leitores, o que configura um IoT *cluster*.

Comunicando-se entre si de modo a ampliar o alcance de cobertura, os pacotes de dados podem ser encaminhados entre os leitores até atingir o nó *sink*, formando uma rede *ad hoc multihop*. Apesar do destino dos dados ser o nó *sink*, este não serve como concentrador da rede, gerenciando os demais nós. Sua função é apenas servir de caminho para a interligação com o *gateway*, evidenciando a rede *ad hoc*. Os leitores devem ser coordenados por um algoritmo de encaminhamento que permita a escolha de um nó leitor líder ou mestre. Este deve coordenar os demais indicando o melhor caminho a percorrer para atingir o nó *sink*.

Com a funcionalidade de comunicarem-se, vários leitores irão formar um conjunto de transceptores assíncronos operando como um sistema de comunicação conjunta distribuída, formando um *array* onde trabalham de forma cooperativa. Esse aglomerado de leitores se configura uma OLA (*Opportunistic Large Arrays*) [Rohokale, Prasad e Prasad, 2011]. Pode-se ter uma visão mais clara desse arranjo de leitores na Figura 2.

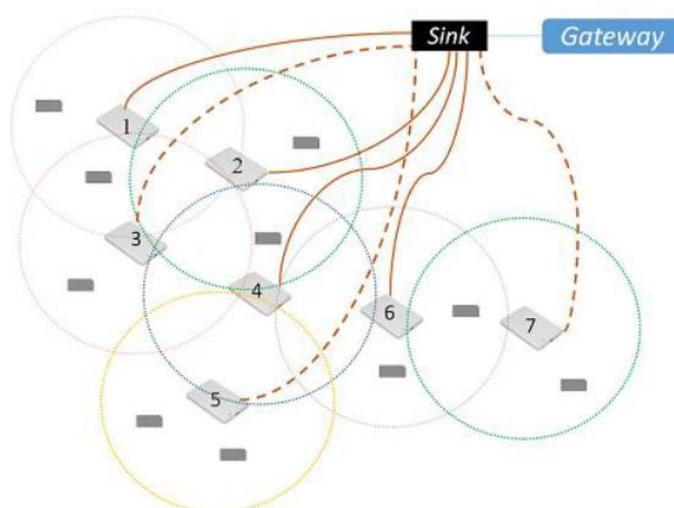


Figura 2. Estrutura de comunicação direta com o nó *sink*.

Na estrutura mostrada na Figura 2, todos os leitores RFID possuem potencialmente acesso direto ao nó *sink*. Isso permite maior garantia para que determinado leitor consiga transmitir para o nó *sink*. Essa configuração será necessária, pois, os leitores RFIDs poderão ser deslocados de um lugar para outro para melhores leituras de dados e poderão não ter acesso direto ao *sink* momentaneamente, mas poderão ter acesso ao leitor próximo, como mostradas em linhas pontilhadas as conexões dos leitores 3, 5 e 7 para o *sink*. Isso garante uma flexibilidade na configuração de rede, mesmo com um constante reposicionamento dos leitores. Desta forma, cada leitor de RFID deverá verificar, inicialmente, se existe uma comunicação direta com o *sink*. Se existir, encaminhará os pacotes de dados diretamente para o *sink*, senão deverá encaminhar de forma cooperativa para o leitor mais próximo que tenha comunicação direta.

No centro médico ou hospital, um software interpreta e armazena os dados gerados pela WBAN. Este software deve estar interligado *full-time* com o IoT *cluster*, bem como gerar *feedbacks* para médicos, equipe de primeiros socorros, um acompanhante do paciente ou o próprio paciente. Isso garante que, se algo errado estiver acontecendo com o paciente, uma equipe médica socorrista possa ser solicitada, evitando maiores riscos para o paciente. Essa estratégia de *feedback* é detalhada na Figura 3.

Com a inserção de outros dispositivos inteligentes nessa estrutura de rede, como geladeira, fogão, banheiro, remédios, etc. o comportamento do paciente pode ser monitorado, e medidas preventivas poderão ser tomadas. Além disso, essas informações poderão formar um banco de dados de modo a traçar os perfis dos pacientes, e dessa forma auxiliar em análises e diagnósticos posteriores por parte da equipe médica. Isso justifica o uso da IoT como centro da proposta.

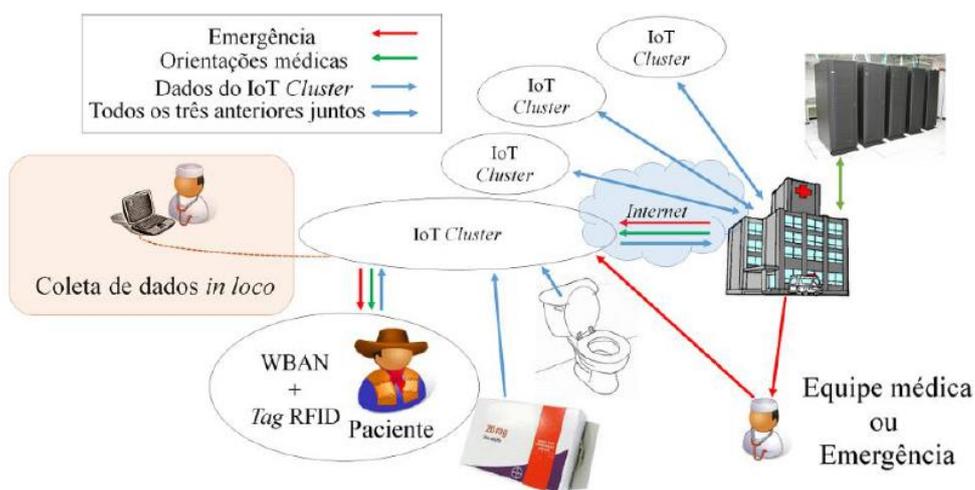


Figura 3. Estratégia de feedback do modelo de rede proposto.

3. Conclusão

Neste artigo, foi proposta uma configuração de rede utilizando a tecnologia IoT para aplicação na área de saúde. A configuração é conveniente para atendimento médico dos pacientes em seus próprios lares localizados em áreas urbanas de alta concentração humana, mas, permite, também, a sua utilização em comunidades rurais ou indígenas. A concepção principal foi combinar a rede WBAN que monitora os sinais vitais de um paciente com as RFIDs. A estrutura possibilita que médicos ou acompanhantes de pacientes possam receber *feedbacks* de modo que se algo errado estiver acontecendo com o paciente, uma equipe socorrista possa ser acionada a tempo. Tal estrutura possibilita também armazenar dados vitais do paciente, assim como as informações de objetos que o cercam, podendo assim formar uma base de dados sobre a saúde e comportamento do paciente.

4. Referências

- Yang, D., Liu, F., Liang, Y. (2010). “A Survey of the Internet of Things”. International Conference on E-Business Intelligence (ICEBI-2010): *Advances in Intelligent Systems Research*, pages 358 – 366. Atlantis Press.
- ITU International Telecommunication Union (2005): “The Internet of Things. Executive Summary”, <http://www.itu.int/osg/spu/publications/internetofthings/>, July.
- Mazhelis, O., Luoma, E., Warma, H. (2011). “Defining an Internet-of-Things Ecosystem” *Springer-Verlag*, Heidelberg, Berlin.
- Atzori, L., Iera, A. and Morabito, G. (2010). “The Internet of Things: A Survey”. *Computer Networks*, pages 2787-2805 Vol. 54, No. 15.
- Bauer, M., et al. 2011. Introduction to the Architectural Reference Model for the Internet of things. First Reference Model White Paper. *IOT-i The Internet of Things Initiative*. [Online] Available: <http://ww.iot-a.eu/> [Accessed 14 July 2013].
- Rohokale, V.M, Prasad, N.R, Prasad, R “A Coop-erative Internet of Things (IoT) for Rural Healthcare Monitoring and Control”, *Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronic Systems Technology (Wireless VITAE)*, 2011 2nd International Conference, pages 1-6.