

**Autor:** Felipe Marques Pires  
**Orientador:** Leonardo de Souza Mendes

# **Proposta de uma Arquitetura Híbrida e Hierárquica de Rede de Sensores/Atuadores para Aplicação em Cenários Metropolitanos**

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.  
Área de concentração: **Telecomunicações e Telemática.**  
Aprovação em 16/04/2010

Banca Examinadora:

**Prof. Dr. Leonardo de Souza Mendes - UNICAMP**  
**Prof. Dr. Marcelo Eduardo Pellenz - PUCPR**  
**Prof. Dr. Paulo Cardieri - UNICAMP**

Campinas, SP  
2010

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

P665p	<p>Pires, Felipe Marques</p> <p>Proposta de uma arquitetura híbrida e hierárquica de rede de sensores/atuadores para aplicação em cenários metropolitanos / Felipe Marques Pires. –Campinas, SP: [s.n.], 2010.</p> <p>Orientador: Leonardo de Souza Mendes. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação.</p> <p>1. Redes de comunicação. 2. Arquitetura de redes. 3. Sistemas de comunicação sem fio. 4. Sensores. I. Mendes, Leonardo de Souza. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. III. Título</p>
-------	---

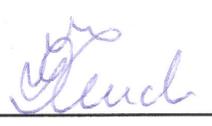
Título em Inglês:	Proposal of a hybrid and hierarchical sensor/actuator network architecture for application in metropolitan scenarios
Palavras-chave em Inglês:	Communication networks, Network architecture, Wireless communication systems, Sensors
Área de concentração:	Telecomunicações e Telemática
Titulação:	Mestre em Engenharia Elétrica
Banca Examinadora:	Paulo Cardieri, Marcelo Eduardo Pellenz
Data da defesa:	16/04/2010
Programa de Pós Graduação:	Engenharia Elétrica

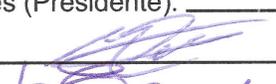
## COMISSÃO JULGADORA - TESE DE MESTRADO

**Candidato:** Felipe Marques Pires

**Data da Defesa:** 16 de abril de 2010

**Título da Tese:** "Proposta de uma Arquitetura Híbrida e Hierárquica de Rede de Sensores/Atuadores para Aplicação em Cenários Metropolitanos"

Prof. Dr. Leonardo de Souza Mendes (Presidente):  \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Marcelo Eduardo Pellenz:  \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Paulo Cardieri:  \_\_\_\_\_

# Resumo

Os avanços nas áreas de comunicação sem fio e microeletrônica têm motivado o desenvolvimento de aplicações utilizando equipamentos sem fio, especialmente dispositivos sensores e atuadores, permitindo assim, a criação de uma ponte tecnológica para conectar o mundo físico com o mundo digital. Com essa interação surge uma demanda crescente por sistemas de monitoramento e controle em ambientes industriais, residenciais e também municipais. Algumas tecnologias já se encontram no mercado, destinadas a este tipo de aplicação e dentre elas destaca-se a especificação ZigBee. Entretanto, aplicações em cenários metropolitanos exigem um paradigma de comunicação com alta capacidade e de larga escala.

Este trabalho apresenta uma arquitetura híbrida e hierárquica de rede de sensores/atuadores para aplicação em cenários metropolitanos. A arquitetura proposta faz uso do potencial da especificação ZigBee e da capacidade das Redes Metropolitanas de Acesso Aberto. Baseado em tal arquitetura, um estudo de caso foi desenvolvido na cidade de Pedreira, interior do estado de São Paulo, onde foi implementado um sistema para supervisão do fluxo de pessoas, monitoramento do ambiente e controle de dispositivos em um prédio do setor público.

**Palavras-chave:** Rede de sensores sem fio, IEEE 802.15.4, Rede Metropolitana de Acesso Aberto, Monitoramento e controle municipal, ZigBee, Rede de sensores e atuadores, Cidade digital, Arquitetura Híbrida e Hierárquica.

# Abstract

The advances in wireless communication technology and microelectronics have enable interesting new application for wireless devices, especially sensor and actuator devices, allowing to have an interaction between digital and physical worlds. With this interaction appeared an increasing demand for remote monitoring and control systems in industrial, residential and also municipal environments. Some technologies are already met in the market, destined to this type of application and amongst them the ZigBee specification is distinguished. However, these application applied in metropolitan scenarios require a large scale communication paradigm with high capacity.

This work presents a hybrid hierarchical architecture to design a sensor and actuator network to operate in metropolitan scenarios. The architecture combines ZigBee specification with Open Access Metropolitan Area Networks. Based on the proposed architecture a case study was developed in the city of Pedreira-SP, where a people-counting system and an environmental monitoring and control prototype were designed in a public building.

**Keywords:** Wireless sensor networks, IEEE 802.15.4, Open Access Metropolitan Area Network, Municipal monitoring and control, ZigBee, Sensor and actuator networks, Digital city, Hybrid Hierarchical Architecture.

# Agradecimentos

Primeiramente eu agradeço a Deus, pela vida, pela saúde, pela família que a mim tem dado, pela oportunidade de realizar este trabalho, por ter guiado meus passos até aqui, pelo auxílio nas minhas escolhas e por me ajudar nas horas difíceis.

Ao meu orientador Prof. Dr. Leonardo de Souza Mendes, pelas sugestões e ensinamentos, pela confiança e seriedade com que conduziu todo o período de orientação.

Ao meu amigo Gean Davis Breda, por acreditar em mim e neste trabalho. Pelo acompanhamento e interesse sempre demonstrado durante o meu mestrado. Agradeço também, pelas correções, comentários e expressiva contribuição que só enriqueceram este trabalho.

Muito Obrigado!

Ao amigo Rodrigo Miani, por ter me ajudado no desenvolvimento desta dissertação, elaboração de artigos e pelo companheirismo.

Aos meus amigos do LaRCom Henrique, Bruno Zarpelão, Dherik, Marlon, Tajiri, Lívia, Everton, Eder, Liniquer, André Panhan, Alexandre, Marcelo Tilli, Wilson, JP, Zanoni, Geraldinho, Futata e Richard.

Agradeço, aos meus pais, José e Vanderli, pelo amor que foi meu alicerce. Obrigado por estarem sempre do meu lado, mesmo nos momentos que estive distante, me apoiando, incentivando e nunca medindo esforços para que eu pudesse alcançar todos os meus objetivos. Agradeço a vocês, por tudo que sei, tudo que sou e tudo que faço.

Agradeço a minha esposa Lidiane, pela exemplar companheira que ela é. Seu amor, apoio, carinho e compreensão foram definitivos. Sem ela, este trabalho não seria o mesmo.

Agradeço aos meus irmãos e familiares pelo apoio e compreensão necessários para a realização deste trabalho.

A prefeitura de Pedreira, por permitir o desenvolvimento do estudo de caso nos prédios públicos, e também pela disposição de alguns equipamentos. Um obrigado em especial ao Mateus e ao Nei por toda a ajuda.

Aos professores Paulo Cardieri e Marcelo Eduardo Pellenz, membros da banca corretora. Pelas correções, sugestões dadas para o aperfeiçoamento deste trabalho.

*Aos meus pais José e Vanderli  
Aos meus irmãos Francis e Bruno  
A minha esposa Lidiiane  
E a minha filha Lana*

# Sumário

<b>Lista de Figuras</b>	<b>xiii</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>xv</b>
<b>Glossário</b>	<b>xvii</b>
<b>Trabalhos Publicados Pelo Autor</b>	<b>xix</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivos e contribuições . . . . .	3
1.2 Organização da dissertação . . . . .	4
<b>2 Rede de sensores e atuadores</b>	<b>5</b>
2.1 Definição de rede de sensores . . . . .	5
2.2 Características dos terminais da rede . . . . .	6
2.3 Características das redes de sensores . . . . .	8
2.3.1 Rede de sensores sem fio . . . . .	9
2.4 Presença de atuadores nas RSSF . . . . .	10
2.5 Aplicação de redes de sensores/atuadores sem fio . . . . .	11
2.6 Trabalhos relacionados à aplicação de RSASF . . . . .	13
<b>3 Comunicação sem fio</b>	<b>15</b>
3.1 Introdução . . . . .	15
3.2 Tecnologias de comunicação sem fio . . . . .	16
3.2.1 IEEE 802.11 - <i>WLAN</i> . . . . .	16
3.2.2 IEEE 802.16 - <i>WMAN</i> . . . . .	18
3.2.3 IEEE 802.15.1 - <i>WPAN</i> . . . . .	19
3.2.4 IEEE 802.15.4 - <i>LR-WPAN</i> . . . . .	21
3.3 Comparação entre as tecnologias sem fio . . . . .	24
<b>4 Redes metropolitanas de acesso aberto</b>	<b>27</b>
4.1 Definição . . . . .	27
4.2 Serviços e aplicações . . . . .	29
4.2.1 Sistema de gestão municipal . . . . .	29
4.2.2 Acesso à Internet . . . . .	30

4.2.3	Tele-Medicina . . . . .	31
4.2.4	VoIP corporativo . . . . .	31
4.3	Exemplos de redes metropolitanas . . . . .	31
4.4	Monitoramento e controle em cenários metropolitanos . . . . .	35
<b>5</b>	<b>Arquitetura proposta</b>	<b>37</b>
5.1	Arquitetura híbrida e hierárquica . . . . .	37
5.1.1	Descrição da arquitetura . . . . .	38
5.1.2	Contribuições e características da arquitetura . . . . .	40
5.1.3	Modo de operação da arquitetura . . . . .	41
5.2	Formas de processamento das informações . . . . .	42
5.2.1	Processamento distribuído . . . . .	42
5.2.2	Processamento centralizado . . . . .	43
5.3	Segurança na arquitetura híbrida e hierárquica . . . . .	44
5.3.1	VLAN - <i>Virtual Local Area Network</i> . . . . .	45
5.3.2	Segurança na especificação ZigBee . . . . .	46
<b>6</b>	<b>Estudo de caso desenvolvido</b>	<b>47</b>
6.1	Descrição do estudo de caso . . . . .	50
6.1.1	Nível 0 - Estação de processamento centralizada . . . . .	51
6.1.2	Nível 1 - RMAA . . . . .	52
6.1.3	Nível 2 - <i>Gateway</i> . . . . .	52
6.1.4	Nível 3 - Terminais da rede . . . . .	56
6.2	Telemetric . . . . .	59
6.3	Operação do estudo de caso . . . . .	61
6.3.1	Forma de processamento utilizada . . . . .	62
6.3.2	Interferência eletromagnética . . . . .	63
6.4	Segurança . . . . .	63
6.5	Resultados . . . . .	64
6.6	Considerações finais . . . . .	67
<b>7</b>	<b>Conclusões e trabalhos futuros</b>	<b>69</b>
7.1	Sugestões para trabalhos futuros . . . . .	70
	<b>Referências bibliográficas</b>	<b>72</b>
<b>A</b>	<b>Ferramentas desenvolvida em Java</b>	<b>79</b>
<b>B</b>	<b>Especificações dos módulos XBee</b>	<b>85</b>
<b>C</b>	<b>Script de configuração da VLAN</b>	<b>89</b>
C.1	Switch da Prefeitura . . . . .	89
C.2	Switch do Escritório da Infovia . . . . .	96

# Lista de Figuras

2.1	Arquitetura geral de um terminal sensor. . . . .	7
2.2	Estrutura de uma rede de sensores sem fio, apresentando os terminais e a estação de processamento. . . . .	10
2.3	Arquitetura geral de um terminal atuador. . . . .	11
3.1	<i>Scatternet</i> com quatro <i>piconets</i> . . . . .	20
3.2	Camadas da rede, mostrando as responsabilidades da norma IEEE 802.15.4 e ZigBee Alliance. . . . .	21
3.3	Topologia da rede ZigBee. . . . .	23
4.1	Exemplo da estrutura física de uma rede metropolitana de acesso aberto. . . . .	28
4.2	Arquitetura da rede metropolitana de Patras, Grécia. . . . .	33
5.1	Arquitetura híbrida e hierárquica proposta, com o detalhamento de seus níveis. . . .	38
5.2	Processamento distribuído das informações. . . . .	43
5.3	Processamento centralizado das informações. . . . .	44
6.1	Rede metropolitana de acesso aberto de Pedreira, ilustrando a disposição dos prédios públicos e a respectiva tecnologia de interconexão de rede. . . . .	48
6.2	Arquitetura híbrida e hierárquica proposta, mostrando as condições da implementação do estudo de caso. . . . .	50
6.3	Ferramenta desenvolvida para processamento dos dados e controle dos atuadores. . .	51
6.4	Conexão entre os pontos <b>P01</b> e <b>P90</b> através da RMAA. . . . .	52
6.5	Módulos OEM RF XBee e XBee-PRO da Digi International Inc. . . . .	53
6.6	Programação com comandos AT ou com o <i>software</i> X-CTU. . . . .	54
6.7	Placa de interface USB com e sem módulo XBee. . . . .	54
6.8	Ferramenta utilizada no desenvolvimento do <i>gateway</i> . . . . .	55
6.9	Visão sistêmica dos elementos do <i>gateway</i> . . . . .	55
6.10	Deteção difusa de um sensor fotoelétrico (BANNER, 2007). . . . .	57
6.11	Sensor fotoelétrico utilizado em Pedreira, e vista frontal mostrando o emissor e receptor de luz. . . . .	57
6.12	Sensor fotoelétrico instalado no ambiente. . . . .	58
6.13	Placa de conexão com o módulo XBee, formando um dos terminais da rede. . . . .	58
6.14	Visão sistêmica dos terminais da rede . . . . .	59

---

6.15	Telemetric utilizado para o monitoramento na rede metropolitana de acesso aberto de Pedreira. . . . .	60
6.16	Interface <i>web</i> do Telemetric para (a) supervisão e (b) configuração. . . . .	61
6.17	Distribuição dos terminais no escritório da Infovia. . . . .	62
6.18	Configuração da VLAN “REDESENSORA” em Pedreira. . . . .	64
6.19	Monitoramento do fluxo de pessoas durante um dia. . . . .	65
6.20	Média horária do fluxo de pessoas durante o mês de Dezembro de 2009. . . . .	65
6.21	Monitoramento do fluxo de pessoas em uma semana. . . . .	66
6.22	Monitoramento da tensão AC em um período de quatro horas. . . . .	66
6.23	Monitoramento do acionamento do dispositivo 1, em um período de quatro horas. . . . .	67
6.24	Monitoramento da temperatura ambiente em um período de quatro horas. . . . .	67
A.1	Fluxograma da ferramenta de processamento dos dados. . . . .	79
B.1	Diagrama de transmissão de dados com módulos OEM RF XBee (Digi, 2008). . . . .	87
B.2	Bits a serem transmitidos pela UART através do módulo OEM RF (Digi, 2008). . . . .	88

# Lista de Tabelas

2.1	Principais atributos de uma rede de sensores. . . . .	6
2.2	Evolução dos terminais sensores em três gerações. . . . .	8
3.1	Comparação entre algumas tecnologias de comunicação sem fio. . . . .	24
4.1	Exemplos de implantações de RMAA, (Miani, 2009). . . . .	32
6.1	Descrição dos pontos conectados à RMAA de Pedreira, em detalhe os pontos utilizados no estudo de caso. . . . .	49
6.2	Parâmetros configurados no módulo XBee utilizado no <i>gateway</i> . . . . .	56
6.3	Parâmetros configurados nos módulos XBee e XBee-PRO utilizados nos terminais da rede. . . . .	59
B.1	Características dos módulos OEM RF XBee e XBee-PRO (Digi, 2008). . . . .	86

# Glossário

ADSL - Asymmetric Digital Subscriber Line

CSMA-CA - Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance

DSSS - Direct Sequence Spread Spectrum

ERB - Estação Rádio Base

FHSS - Frequency Hopping Spread Spectrum

IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers

IP - Internet Protocol

LR-WPAN - Low Rate Wireless Personal Area Network

MAC - Medium Access Control

MAN - Metropolitan Area Network

MBAN - Metropolitan Broadband Access Network

OEM - Original Equipment Manufacturer

OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplexing

PHY - Physical Layer

RMAA - Rede Metropolitana de Acesso Aberto

RSSF - Rede de Sensores Sem Fio

RSASF - Rede de Sensores e Atuadores Sem Fio

SNMP - Simple Network Management Protocol

TCP - Transmission Control Protocol

UART - Universal Asynchronous Receiver/Transmitter

USB - Universal Serial Bus

VLAN - Virtual Local Area Network

VoIP - Voice over IP

WEP - Wired Equivalent Privacy

WHS - Wireless Hybrid Networks

Wi-Fi - Wireless Fidelity

WiMAX - Worldwide Interoperability for Microwave Access

WLAN - Medium Access Control

WMAN - Wireless Metropolitan Area Network

WPAN - Wireless Personal Area Network

WSAN - Wireless Sensor Actuator Network

WSN - Wireless Sensor Network

# Trabalhos Publicados Pelo Autor

1. Felipe Marques Pires, Rodrigo Sanches Miani, Leonardo de Souza Mendes. “An Architecture for Environmental Monitoring and Control in Municipal Scale”. *International Conference on Wireless Information Networks and Systems (WINSYS 2009)*, Milan, Italy, pg. 27-31, July 2009.
2. Rodrigo Sanches Miani, Felipe Marques Pires, Leonardo de Souza Mendes. “An Alternative approach for Formula Modelling in Security Metrics”. *International Conference on Security and Cryptography (SECRYPT 2009)*, Milan, Italy, pg. 381-386, July 2009.
3. Felipe Marques Pires, Gean Davis Breda, Leonardo de Souza Mendes. “Sensor and Actuator Networks in Metropolitan Scenarios”. *International Journal of Computer Science and Network Security (IJCSNS)*, Journal ISSN: 1738-7906, Vol. 9, N. 10, pg. 44-51, October 2009.

# Capítulo 1

## Introdução

O crescente desenvolvimento das redes de sensores, especialmente as redes de sensores sem fio (RSSF), têm recebido considerável atenção da comunidade científica nos últimos anos. Muitos trabalhos definem tais redes como um caso particular de redes *ad-hoc* sem fio, isso devido ao grande potencial que esta última oferece na aplicação de rede de sensores. Porém, não é uma regra, e outras tecnologias de comunicação sem fio ou até mesmo redes cabeadas podem ser empregadas para desenvolvimento de rede de sensores (Chong and Kumar, 2003).

Os avanços tecnológicos nas áreas de comunicação sem fio, sistemas micro-eleto-mecânicos (MEMS) e materiais utilizados para construção de elementos sensores têm permitido o desenvolvimento de dispositivos (terminais da rede) com tamanho reduzido, com maior capacidade de processamento e baixo custo de fabricação, possibilitando que as redes de sensores sem fio possam operar utilizando protocolos de comunicação específicos e serem formadas por milhares de terminais (Loureiro et al., 2002).

A consequência disso, é a densidade de sensores que podem ser utilizados em uma aplicação, que reflete diretamente na quantidade de amostras e medições extraídas do meio físico em questão. Quanto mais informação é coletada do ambiente, melhor será a precisão de uma análise que descreva o comportamento padrão daquele ambiente. Essas características fazem com que as redes de sensores aos poucos sejam consideradas pontes de ligação entre o mundo real e o mundo digital (Elson and Estrin, 2004). Alguns trabalhos já apresentam essa visão atual sobre as redes de sensores, como o trabalho do pesquisador Feng Zhao, do centro de pesquisa Palo Alto, nos Estados Unidos, Zhao (2006) apresenta o conceito *SensorNet 2.0*, que seria uma evolução do conceito tradicional de rede de sensores, atribuindo novas características à rede, agregando elementos e unificando tecnologias. Alguns conceitos importantes podem ser apresentados como:

- A utilização de um sistema multi-aplicado, ao invés de sistemas com propósito único, a re-utilização dos recursos empregados em outras atividades e a infraestrutura da rede comparti-

lhada com outros serviços;

- a composição heterogênea da rede de sensores, não apenas no sentido de terminais heterogêneos, mas sim, a utilização de outros recursos como *webcams*, telefones celulares, dispositivos embarcados em pessoas, como relógios e equipamentos de monitoramento de grande porte;
- a presença de elementos que controlem o ambiente (atuadores), criando um conceito de rede de sensores e atuadores sem fio (RSASF);
- a disseminação dos dados para um diversificado número de usuários.

Baseado no conceito de *SensorNet 2.0*, Feng tem trabalhado no desenvolvimento de uma ferramenta de busca, descrita como “Google do mundo real”, através da qual o usuário, uma vez conectado à Internet, realiza consultas que são traduzidas por uma base de dados padronizada, permitindo medições, monitoramento e detecções de qualquer lugar.

Com todo esse avanço tecnológico, as RSSFs se tornam cada vez mais atrativas em diversas aplicações, sendo possível encontrarmos na literatura diversos trabalhos e publicações relacionados à aplicação de rede de sensores utilizando arquiteturas diferenciadas, criando ambientes inteligentes que interagem com as pessoas e monitoramento em quase todas as áreas do conhecimento. Assim, cada cenário ou ambiente que será instrumentado por uma rede de sensores/atuadores precisa ser analisado para se conhecer quais as reais necessidades para aquela aplicação.

Ambientes de cenários metropolitanos já contam com recursos tecnológicos para a aplicação de RSASF. Um exemplo de cenário que pode usufruir dos benefícios das RSASF são as Redes Metropolitanas de Acesso Aberto (RMAA). As RMAAs surgiram através da municipalização dos setores e da descentralização física e lógica da administração pública, devido à necessidade de intercomunicação das secretarias municipais ou então de áreas públicas espalhadas pelo município. As RMAAs, podem ser definidas como o caminho por onde trafegam as informações, com alta capacidade de transmissão e agregação de diferentes tipos de informação, sobre a qual irá operar um ambiente de comunicações baseado nos protocolos TCP/IP (Mendes, 2006).

O caráter universalizante e agregador de informação das RMAAs, possibilitam a integração de tais redes com outras tecnologias para a criação de serviços de monitoramento e controle em ambientes públicos, o que contextualiza o conceito de *SensorNet 2.0* apresentado por Zhao (2006). A utilização das RMAAs reflete ainda em outras características referentes ao conceito de *SensorNet 2.0* como o fato da re-utilização de um recurso já disponível e a possibilidade de integração de diferentes dispositivos para compor uma infraestrutura única de monitoramento e controle em todo o município.

Neste trabalho, será apresentado um modelo de arquitetura para aplicação de rede de sensores e atuadores em cenários metropolitanos.

## 1.1 Objetivos e contribuições

O objetivo deste trabalho é propor uma arquitetura de rede de sensores/atuadores híbrida e hierárquica para aplicação em cenários metropolitanos, onde possam ser utilizados os recursos tecnológicos atuais das RSSF, tendo a sua escalabilidade e capacidade aplicadas para atender a demanda. A arquitetura proposta é caracterizada pela co-existência de mais de uma tecnologia de comunicação dando a ela o caráter híbrido e pela presença de equipamentos com diferentes funcionalidades e diferentes capacidades computacionais. Nosso modelo, em particular, utiliza o padrão IEEE 802.15.4 juntamente com a especificação ZigBee, a princípio operando em topologia estrela, que é conectada com uma rede metropolitana de acesso aberto através de equipamentos denominados *gateways*. A utilização das tecnologias de comunicação empregadas no modelo é um caso particular de uma rede híbrida (Yu Wang, 2005), cuja aplicação é destinada à RSASF.

A hierarquia da rede é formada por quatro níveis, sendo o nível mais baixo (nível 3) composto por terminais sensores e atuadores, os quais são distribuídos nos ambientes de acordo com a aplicação. No nível 2 estão os *gateways* que fazem a conexão entre os dois paradigmas de comunicação, no nível 1 esta a rede metropolitana de acesso aberto, que além de fazer parte do modelo é utilizada para fornecer diversos outros serviços para o município. Por fim, no nível mais alto (nível 0) estão as aplicações de gerência do sistema.

Como contribuições deste trabalho, pode-se destacar:

1. A proposta de um modelo de rede de sensores e atuadores de larga escala, com aplicação em cenários metropolitanos. Outros trabalhos já foram propostos com aplicação em ambientes similares, porém nosso modelo propõe uma rede de larga escala que permite a existência de uma densidade de sensores ou atuadores, fazendo com que as características das RSASF estejam presentes também neste cenário e garantindo uma melhor resolução dos dados em cada ambiente monitorado.
2. Possibilita o desenvolvimento de uma grande classe de serviços de monitoramento e controle dentro dos municípios, podendo oferecer recursos para facilitar a administração pública, trazer benefícios aos cidadãos por meio de serviços oferecidos a eles, além de contribuir para o crescimento tecnológico da cidade, inclusão digital e agregar mais funcionalidades no contexto de cidade digital.
3. Contextualiza o conceito de *SensorNet 2.0*, utilizando recursos diversificados para monitoramento, incorporando terminais atuadores na rede, re-utilizando recursos já disponíveis, como no caso da RMAA e permitindo que as informações coletadas sejam disseminadas para todos

os cidadãos seja por acesso interno (Intranet) ou externo (Internet), ampliando as fronteiras dos serviços.

4. Por fim, contribui para o desenvolvimento das RMAA, acrescentando ao seu caráter multi-serviço mais uma funcionalidade, além de todas as outras já disponíveis.

## 1.2 Organização da dissertação

Esta dissertação esta organizada da seguinte forma:

- O capítulo 2 apresenta os principais conceitos de rede de sensores. As características, vantagens da utilização da comunicação sem fio, trabalhos relacionados às aplicações de rede de sensores. Será apresentada também a inclusão de terminais atuadores na RSSF, cuja finalidade é proporcionar uma melhor interação entre o sistema de monitoramento e o ambiente.
- O capítulo 3 contém uma revisão da literatura a respeito de tecnologias de comunicação sem fio, utilizadas para criação de redes de sensores. Neste capítulo são apresentados também os conceitos básicos de WiMax, que é uma tecnologia sem fio para desenvolvimento de redes metropolitanas.
- O capítulo 4 apresenta os conceitos básicos de uma rede metropolitana de acesso aberto, os benefícios que podem trazer aos municípios e para seus munícipes, os serviços gerados com a sua implantação, alguns exemplos de implantações com sucesso em diversos países e as motivações deste trabalho em estudar tais redes.
- O capítulo 5 apresenta a proposta da arquitetura híbrida e hierárquica de rede de sensores/atuadores proposta para monitoramento e controle de ambientes nos municípios. Neste capítulo o sistema é detalhado apresentando os níveis que compõem a arquitetura, as formas de processamentos utilizadas para processar as informações coletadas e questões relacionadas com a segurança do sistema.
- O capítulo 6 descreve um estudo de caso realizado na cidade de Pedreira, interior do estado de São Paulo. Neste estudo, a arquitetura descrita no capítulo 5 é implementada utilizando recursos de *hardware* e *softwares* para monitorar e controlar dispositivos embarcados em um prédio do setor público da cidade. São apresentados também alguns resultados desse experimento.
- O capítulo 7 apresenta as considerações finais do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

# Capítulo 2

## Rede de sensores e atuadores

Neste capítulo, será apresentada a definição de rede de sensores, descrevendo suas particularidades, a estrutura dos seus componentes, as diferenças dessa rede para outros tipos de redes convencionais, a estrutura de um terminal sensor e as diferentes tecnologias de redes que podem ser empregadas para a comunicação entre os terminais. Além disso, será apresentada uma variante das redes de sensores, contendo a presença de terminais atuadores para uma melhor interação com o ambiente. No final do capítulo, será feita uma revisão da literatura sobre alguns trabalhos relacionados à aplicação de rede de sensores.

### 2.1 Definição de rede de sensores

As pesquisas em rede de sensores tiveram início no final da década de 70, com programas financiados pela DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*) nos Estados Unidos. Essas redes eram utilizadas em propósitos militares para vigilância em áreas de combate e monitoramento de território. Nos dias de hoje, a principal motivação para a pesquisa e desenvolvimento nessa área é dada pelo grande potencial de monitoramento e controle do mundo real, nas mais diversas áreas de atividade humana. Um dos segmentos onde mais crescem a aplicação das redes de sensores é o da automação comercial e residencial, elemento fundamental para o surgimento do que é chamado de ambientes “inteligentes” ou casas “inteligentes” (Das and Cook, 2006). Outras aplicações como automação industrial, monitoramento de auto-estradas, ruas, avenidas, sensoriamento de florestas e habitats são exemplos de utilização das redes de sensores.

Uma rede de sensores usualmente é constituída por um grande número de terminais distribuídos, podendo em determinadas aplicações existir um único terminal operando. Os terminais de uma rede de sensores têm a capacidade de medir grandezas físicas do ambiente com o qual estão interagindo, processar a informação coletada através das medições, realizar a comunicação com os demais ter-

minais da rede e em alguns casos, deslocar-se no ambiente. Tais capacidades das redes de sensores impulsionam as pesquisas em três diferentes áreas: sensoriamento, processamento de informação e comunicação (incluindo *hardware*, *software* e algoritmos). A rede de comunicação entre os terminais pode ser com fio (*wired*) ou sem fio (*wireless*) dependendo do local de implantação da rede, o tamanho do terminal pode variar de acordo com a tecnologia empregada na construção, e para qual aplicação se destina o equipamento (Chong and Kumar, 2003; Aboelaze and Aloul, 2005). A Tabela 2.1 apresenta alguns dos principais atributos de uma rede de sensores.

<b>Sensores</b>	<b>Tamanho:</b> pequenos (MEMS), grandes (radares, satélites)
	<b>Número:</b> pequeno (apenas um terminal), grande
	<b>Tipo:</b> passivos (acústico, sísmico, vídeo), ativos (radar)
	<b>Composição:</b> homogêneo (mesmo tipo de sensores), heterogêneo (sensores de diferentes tipos)
	<b>Implantação:</b> fixos (redes em fabricas, prédios), ad hoc (lançados em ambientes)
<b>Comunicação</b>	<b>Rede:</b> com fio ( <i>wired</i> ), sem fio ( <i>wireless</i> )
	<b>Largura de banda:</b> Larga, Estreita
<b>Processamento</b>	Centralizado, distribuído, híbrido

Tab. 2.1: Principais atributos de uma rede de sensores.

## 2.2 Características dos terminais da rede

Um terminal de uma rede de sensores, também chamado de nó sensor (*Mote* em países de língua Inglesa), é um dispositivo com capacidade de realizar baixo processamento, coletar informações do ambiente através de elementos sensores e se comunicar com outros terminais conectados à rede.

Os avanços ocorridos nas áreas de micro-processadores, novos materiais de sensoriamento, sistemas micro-eleto-mecânicos (MEMS - *Micro-Electro-Mechanical Systems*) e comunicação, principalmente comunicação sem fio, têm estimulado o desenvolvimento e uso de nós sensores mais versáteis denominados sensores “inteligentes” (*smart sensors*) em áreas ligadas a processos físicos, químicos, biológicos, dentre outros (Loureiro et al., 2002). Normalmente o termo sensor “inteligente” é aplicado ao *chip* que contém um ou mais sensores acoplados, com capacidade de processamento de sinais e comunicação dos dados (Michel et al., 2008). Dependendo da aplicação pode existir uma variedade de sensores, tais como acústico, sísmico, infravermelho, vídeo-câmera, calor, temperatura e pressão. A tendência é produzir esses sensores em larga escala para atender a demanda das aplica-

ções que utilizam tais sensores e substituir os desenvolvidos nas décadas passadas, pois apresentam benefícios como:

- Dimensões reduzidas;
- Alimentação por bateria;
- Baixo custo de produção;
- Interface de rede diversificada;
- Redução no consumo de energia;
- Diversidade de sensores em um único terminal.

O terminal de uma rede de sensores é o dispositivo chave da rede, caracterizado pela sua multifuncionalidade. Sensores que seguem as características dos descritos anteriormente são propícios para a formação de redes de sensores de forma eficiente. A arquitetura geral, e os módulos de um terminal usado em uma rede de sensores, são apresentados na Figura 2.1.

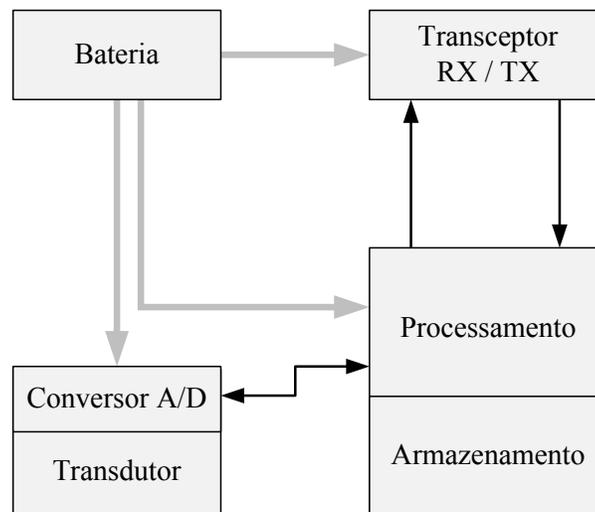


Fig. 2.1: Arquitetura geral de um terminal sensor.

Os quatro módulos principais de um terminal são:

- **Módulo de sensoriamento:** É a unidade responsável pela produção de sinais a partir de observações da grandeza a ser monitorada, tais sinais são convertidos por meio de conversores A/D existentes no módulo. O mesmo terminal pode possuir um ou mais elementos sensores nesse módulo.
- **Módulo Transceptor:** É a unidade responsável pela conexão da rede. Esta conexão pode ser por meio de comunicação óptica, infravermelho ou rádio frequência, sendo o transceptor

de rádio frequência um dos mais utilizados. Nas seções seguintes veremos as vantagens da utilização do sinal RF em rede de sensores.

- **Módulo de processamento:** É a unidade responsável pelo gerenciamento dos procedimentos realizados pelo terminal, incluindo os de processamento das observações monitoradas e as de comunicação. Existe também uma sub-unidade de armazenamento que contém um pequeno sistema operacional, os algoritmos do sensor e os protocolos de rede.
- **Módulo de potência:** Fornece energia para todos os módulos do terminal. É um dos fatores críticos, na medida em que está é limitada, tendo, portanto, impacto tanto na operação da rede, como nos circuitos e algoritmos usados nos terminais.

Grandes avanços tecnológicos têm ocorrido na área de rede de sensores e seus terminais. A Tabela 2.2 resume os avanços incorporados e previstos para os terminais com relação a alguns fatores importantes apresentados por Chong and Kumar (2003).

	<b>1980-1990</b>	<b>2000-2003</b>	<b>2010</b>
<b>Tamanho</b>	maior que uma caixa de sapato	tamanho de pacote de cartões	partícula de poeira
<b>Peso</b>	quilogramas	gramas	desprezível
<b>Arquitetura do terminal</b>	sensoriamento, processamento e comunicação separados	sensoriamento, processamento e comunicação integrados	sensoriamento, processamento e comunicação integrados
<b>Tempo de vida da fonte de potência</b>	grandes baterias: horas, dias ou mais	baterias AA: dias, semanas	baterias solares: meses, anos

Tab. 2.2: Evolução dos terminais sensores em três gerações.

## 2.3 Características das redes de sensores

Uma das principais características das redes de sensores é a conexão entre os nós da rede, ou seja, como é realizada a comunicação entre seus terminais. Como apresentado anteriormente o módulo transceptor de um terminal pode se comunicar por meio de comunicação óptica, infravermelho, rádio frequência ou par trançado. Dentre estes meios de comunicação o que mais se destaca para aplicação em rede de sensores é a rádio frequência. As redes de sensores sem fio (RSSF) são as mais pesquisadas e utilizadas por apresentarem benefícios como:

- Permitem que os sensores possam ser “lançados” em certas áreas sem a preocupação da infraestrutura;
- Permitem a implantação em prédios, sem uma infraestrutura previamente planejada;
- Custos de implantação reduzidos em relação à rede cabeada;
- Possibilitam a implantação em locais de difícil acesso.

Devido a essas vantagens apresentadas, e ao grande número de implementações, é comum em muitos trabalhos que as redes de sensores sejam contextualizadas como sendo uma rede sem fio. Porém isso não é totalmente correto, pois implementações que utilizem tecnologia de comunicação com fio são bastante comuns (Chandramohan and Christensen, 2002). Outra definição que causa confusão e merece esclarecimentos, é de que as redes de sensores sem fio são um caso particular de redes *ad hoc* sem fio. Uma das razões para essa definição é justificada pelo grande potencial que esses tipos de redes oferecem em aplicações de RSSF. Outro motivo, é pelo fato que ambas tiveram suas pesquisas iniciadas em projetos militares, e desde o princípio já se observou a potencialidade de aplicação da rede *ad hoc* para comunicação de sensores. Entretanto, outras tecnologias de comunicação sem fio podem ser perfeitamente empregadas a esse tipo de aplicação (Aboelaze and Aloul, 2005).

### 2.3.1 Rede de sensores sem fio

Como já esclarecido, uma rede de sensores sem fio que segue os princípios de uma rede *ad hoc* opera sem o auxílio de uma infraestrutura, e possui as seguintes características:

- O número de terminais em uma rede de sensores pode ser elevado, como por exemplo, dezenas de milhares. Portanto, questões relacionadas com a escalabilidade, como a manutenção dos terminais, reposição de baterias e a capacidade de comunicação da rede, devem ser levadas em consideração no projeto.
- Uma rede de sensores deve ser tolerante às falhas de alguns terminais. Portanto, os algoritmos e protocolos devem ser projetados para tratar desse tipo de problema, garantindo a operação da rede.
- O consumo de energia nas redes de sensores deve ser baixo, já que os sensores são, em muitas aplicações, inacessíveis, tornando a reposição das baterias inviável. A restrição de potência traz também impactos nas operações de comunicação e de processamento dos terminais.
- Por fim, muitas aplicações de rede de sensores requerem o conhecimento da posição dos terminais na rede e o sincronismo entre eles. Dessa forma, observa-se um grande esforço de pesquisa em técnicas de localização e de sincronismo para redes de sensores (Moreira, 2007).

Em uma RSSF os terminais da rede devem estar organizados de tal forma que as informações coletadas sejam encaminhadas para uma central onde serão processadas, conforme ilustra a Figura 2.2. Os terminais são distribuídos no ambiente e toda informação coletada por estes é encaminhada para a estação de processamento.

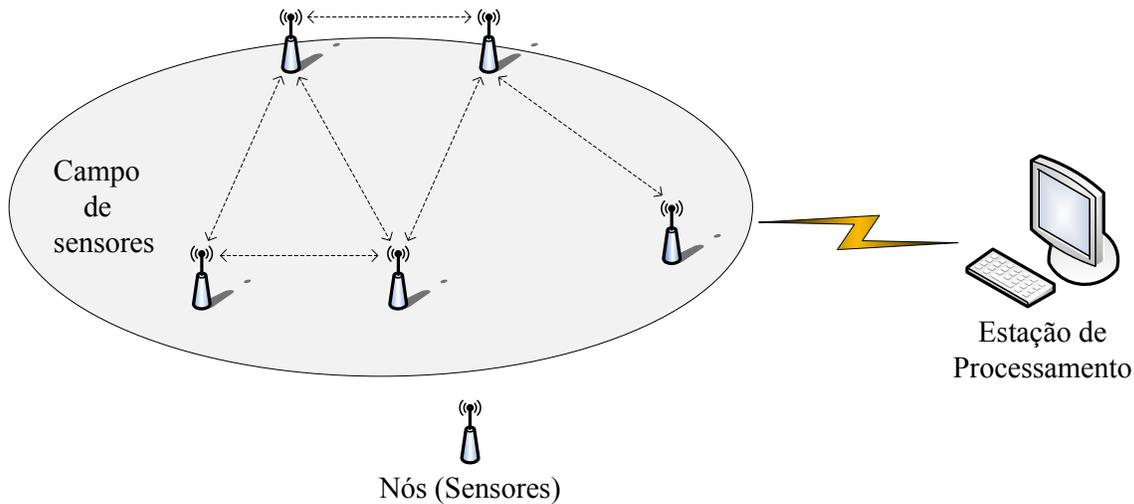


Fig. 2.2: Estrutura de uma rede de sensores sem fio, apresentando os terminais e a estação de processamento.

## 2.4 Presença de atuadores nas RSSF

Atuadores são equipamentos capazes de manipular ou atuar em um determinado ambiente, ao invés de apenas observá-los. A presença desses equipamentos em uma rede de sensores sem fio permite uma maior interação entre o ambiente e a RSSF, sendo possível realizar mudanças no comportamento do ambiente e de outros sistemas físicos. Com isso, surge um novo conceito, chamado de rede de sensores/atuadores sem fio (RSASF) (Xia et al., 2007). Tal conceito também é apresentado pelo pesquisador Feng Zhao, do centro de pesquisa Palo Alto, nos Estados Unidos, como sendo uma das evoluções contidas na *SensorNet 2.0*, que busca ampliar as funcionalidades exercidas pelas redes de sensores (Zhao, 2006).

Uma RSASF é composta por nós sensores e atuadores. A inclusão desses atuadores não representa apenas uma simples extensão das RSSF no ponto de vista do protocolo de comunicação. O fluxo de informação agora passa a ser multidirecional e o protocolo de comunicação utilizado deve ser capaz de gerenciar o fluxo de dados proveniente dos sensores, e também o fluxo de dados encaminhado para os atuadores, outro caso, seria quando se deseja endereçar um atuador específico dentro da rede (Verdone et al., 2008). Nesses casos a complexidade do protocolo é ainda maior.

A Figura 2.3 apresenta a arquitetura funcional do circuito de um terminal atuador, e os módulos que o constitui. Esse circuito pode atuar ligando e desligando cargas ou controlando outros dispositivos de saídas analógicas.

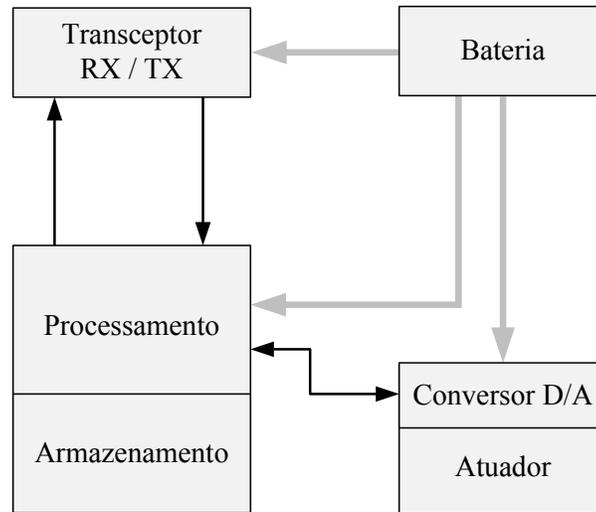


Fig. 2.3: Arquitetura geral de um terminal atuador.

A principal diferença do terminal atuador para o terminal sensor é justamente o módulo de atuação. Neste, a informação recebida se transforma em uma ação, seja ligar ou desligar dispositivos, ou apenas passar instruções para um circuito eletrônico externo. O módulo de potência dependendo da aplicação, pode sofrer alterações, principalmente se o uso for para acionamento de cargas. Os demais módulos, na maioria das vezes não sofrem alteração.

## 2.5 Aplicação de redes de sensores/atuadores sem fio

Diversas aplicações têm sido desenvolvidas utilizando terminais sensores e atuadores, e dependendo da aplicação é necessária a utilização de terminais com dimensões e funcionalidades específicas. Por exemplo, as aplicações de monitoramento de segurança podem utilizar sensores de imagem e acústicos, embutidos em um mesmo terminal ou em terminais diferentes. Neste caso, os tipos de dados coletados pela rede de sensores são imagens, vídeos e sinais de áudio. Outra característica dessa aplicação é o grande volume de dados e a frequência de coleta. Se os terminais sensores forem responsáveis pelo processamento das imagens coletadas, pode-se considerar que estes terminais deverão possuir dimensões superiores aos dos terminais micro-sensores, além de apresentar maior capacidade de processamento, maior quantidade de memória e conseqüentemente maior consumo de energia. Ou seja, as dimensões físicas dos sensores são dependentes do tipo de aplicação, em função da atual tecnologia de fabricação de seus componentes.

As redes de sensores podem ser utilizadas em inúmeras áreas. A seguir alguns exemplos de aplicações.

### **1. Monitoramento e Controle Ambiental:**

- monitoramento do tráfego de veículos em rodovias, malhas viárias urbanas e estacionamento impróprio;
- auxiliando na agricultura, identificando pragas e verificando a qualidade do solo;
- monitoramento de locais externos como florestas, desertos e oceanos;
- monitoramento e controle de prédios e residências;
- rastreamento e identificação de animais;
- detecção de incêndios florestais.

### **2. Monitoramento Industrial:**

- supervisão de peças em controles de qualidade;
- monitoramento de áreas com acesso restrito;
- controle de linhas de produção;
- supervisão de almoxarifado;
- automação de máquinas.

### **3. Monitoramento na Medicina/Biologia:**

- monitoramento da função de órgãos, como o coração;
- detecção de substâncias prejudiciais ao organismo;
- monitoramento das condições físicas do paciente;
- telemonitoramento de dados dos pacientes;
- administração de remédios nos hospitais.

### **4. Monitoramento Militar:**

- detecção de explosões, presença de material perigoso como gás venenoso e radiação;
- monitoramento de áreas de difícil acesso;
- vigilância de áreas de combate;
- detecção de movimento inimigo;
- monitoramento de território.

## 2.6 Trabalhos relacionados à aplicação de RSASF

Nesta seção alguns trabalhos relacionados com a aplicação de rede de sensores e atuadores encontrados na literatura serão apresentados.

Mainwaring et al. (2002) apresentam um estudo profundo sobre a aplicação de rede de sensores para monitoramento de habitats no mundo real. Neste trabalho são apresentados os requisitos necessários para a aplicação de rede de sensores em tais ambientes, como o desenvolvimento do *hardware* dos terminais, modelagem da rede de sensores e a capacidade de acesso e gerenciamento remoto dos dados coletados. O estudo de caso desenvolvido, foi realizado em 2002, onde 32 nós sensores foram distribuídos em uma pequena ilha chamada *Great Duck Island* localizada em território dos EUA. Esse trabalho foi desenvolvido por um grupo de pesquisadores da área de engenharia da universidade da Califórnia em Berkeley, juntamente com biólogos também da Universidade da Califórnia e da faculdade *Atlantic*, visando o monitoramento de aves que vivem na ilha. O objetivo era conseguir monitorar tais aves sem a interferência humana durante a época de reprodução da espécie, uma vez que a perturbação desses habitats causada pelos pesquisadores ocasionava mudanças no comportamento padrão dos animais, podendo em alguns casos levar à morte de certas espécies.

Uma infraestrutura para automação e desenvolvimento de um sistema supervisório residencial é proposta em (Tsou et al., 2006). Tal infraestrutura possibilita a implementação de serviços como a de um sistema de gerenciamento da entrada de pessoas na residência, segurança residencial, monitoramento e controle de dispositivos residenciais. O modelo faz uso da especificação ZigBee, assim como o modelo proposto nessa dissertação.

Desenvolvida no campus da *Kean University* e apresentada em (Morreale, 2008). *Street CORNERS* é uma arquitetura desenvolvida para integrar informações de sensores passivos a ativos em ambientes urbanos. No trabalho desenvolvido a rede foi composta por terminais equipados com sensores de luminosidade, temperatura, umidade, pressão e sensores sísmicos. A implementação foi realizada utilizando sensores da *Crossbow Technology, Inc.* que utilizam a especificação IEEE 802.15.4/ZigBee. Gniadek et al. (2008) propõem ainda um infraestrutura para monitoramento e controle de tráfego de veículos, combinando a especificação ZigBee e *Web Services* para acesso e controle remotos.

A confiável e oportuna detecção de anormalidades no corpo humano pode prevenir uma imensa quantidade de problemas físicos e psicológicos, nesse sentido Martinez et al. (2008) apresentam uma rede de sensores e atuadores para aplicação na área da saúde. Um exemplo, seria a detecção de arritmia cardíaca utilizando dados de um eletrocardiograma conectado a uma rede sem fio.

Outro estudo de caso aplicado em cenário urbano é encontrado em (Murty et al., 2008), *CitySense* é um projeto desenvolvido pela Universidade de *Harvard* e pela *BBN Technologies, Inc.* que busca desenvolver uma rede de sensores capaz de monitorar locais específicos em uma cidade. Esse projeto conta com terminais de dimensões regulares equipados com diversos sensores, que são capazes de se

comunicar através de dois rádios IEEE802.11 a/b/g e em alguns casos através de uma rede cabeada. A maior parte desses terminais é colocada dentro e fora de prédios e em postes de iluminação pública, sendo que a maioria das medições realizadas são referentes a fenômenos do tempo, tais como pressão do ar, temperatura do ar, umidade relativa, direção do vento, velocidade do vento, intensidade de chuva, densidade de  $CO_2$  (dada em partes por milhão) e nível de ruído em decibéis. Todos os dados coletados por esta rede de sensores são armazenados em uma base de dados que podem ser consultados pela Internet.

# Capítulo 3

## Comunicação sem fio

A tecnologia utilizada para comunicação entre os terminais em uma rede de sensores/atuadores é de grande importância para os estudos nesta área. Assim, um grande número de pesquisas são realizadas buscando novos meios de comunicação (principalmente sem fio) em RSASF. Por essa razão neste capítulo é realizada uma revisão dos trabalhos mais recentes na literatura sobre comunicação sem fio e sobre alguns dos padrões mais difundidos e que são empregados para comunicação em RSASF.

### 3.1 Introdução

A aplicação de tecnologias de comunicação sem fio vem crescendo muito nos últimos anos, tanto na indústria, construção civil, comércio e até mesmo nas residências, é comum encontrar dispositivos que se comuniquem utilizando o meio sem fio. Atualmente a comunicação sem fio relacionada à rede de sensores, tornou-se um padrão, sendo que a aplicação de rede de sensores utilizando cabeamento acontece em uma proporção muito menor (Chong and Kumar, 2003).

Mesmo sendo uma tendência, muitas empresas tem receio de utilizar tecnologias de comunicação sem fio pelo fato de muitas dessas tecnologias serem proprietárias ou ainda não foram padronizadas e por recorrentes problemas de segurança. Apesar disso, as redes sem fio são muito atrativas para a comunicação em ambientes. Os custos de obra civil e modernização são elevados em prédios que não estão preparados para a instalação de uma rede cabeada, sendo que esses custos podem ser minimizados com o uso de tecnologias sem fio.

As redes sem fio mantêm a promessa do acesso à informação em qualquer lugar. Essa promessa conduziu à distribuição difundida dos serviços de voz e dados baseados na tecnologia *wireless*, exemplificado por redes de celulares e por redes de área local sem fio (WLAN) (Nuggehalli et al., 2006).

É apresentado a seguir um breve histórico da comunicação sem fio:

- 1839 - 1ª mensagem telegráfica em código Morse;
- 1867 - Fundação da indústria telefônica, a Bell, precursora da AT&T;
- 1900 - 1ª Transmissão sem fio - MARCONI, ondas de rádio;
- 1972 - 1ª Demonstração de telefonia celular - MOTOROLA;
- 1999 - Criação do *Wi-Fi Alliance*;
- 1999 - Formalizado o *Bluetooth Special Interest Group*;
- 2000 - Revolução de voz e dados na telefonia celular;
- 2002 - Revolução de banda larga - CableModem, xDSL, VoiceIP;
- 2004 - *ZigBee Alliance* termina a primeira versão da especificação ZigBee.

## 3.2 Tecnologias de comunicação sem fio

Entre as tecnologias de comunicação sem fio, especificadas pelo IEEE, e que têm implementação comercial, se destacam as seguintes:

- IEEE 802.11 - WLAN (*Wireless Local Area Network*);
- IEEE 802.16 - WMAN (*Wireless Metropolitan Area Network*);
- IEEE 802.15.1 - WPAN (*Wireless Personal Area Network*);
- IEEE 802.15.4 - LR WPAN (*Low Rate Wireless Personal Area Network*);

### 3.2.1 IEEE 802.11 - WLAN

A tecnologia IEEE 802.11 - *WLAN* é especificada para prover acesso a uma rede de comunicação de dados de banda larga em uma distância curta, e é geralmente usada como Ethernet móvel para o acesso a uma rede local de computadores (Heegard et al., 2001). O objetivo desta norma é apresentar uma especificação para o controle de acesso ao meio (MAC - *Medium Access Control*) e a camada física (PHY - *Physical Layer*) para a conexão sem fio entre estações fixas, portáteis e móveis dentro de uma área local.

O padrão IEEE 802.11 possui duas versões. A versão mais simples utiliza a tecnologia FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum* - Espalhamento espectral com saltos em frequência), onde os sinais transmitidos saltam por 79 frequências diferentes separadas por intervalo de 1 MHz. Assim, mesmo que haja interferência em algumas frequências, as demais provavelmente estarão livres para comunicação. A taxa de transmissão chega a 11 Mbps.

A versão mais completa utiliza tecnologia DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum* - Espalhamento espectral por sequência direta), onde os dados são transmitidos em várias frequências ao

mesmo tempo juntamente com um sinal semelhante a um ruído aleatório. A técnica que permite que os dados possam chegar ao destinatário com relativa segurança e com menor problema de interferência. O ruído é calculado de tal forma que possa ser eliminado depois da transmissão através de métodos semelhantes ao fenômeno de interferência destrutiva de ondas. A taxa de comunicação chega a 2 Mbps (IEEE-Standard-802.11, 2009). Entre as redes que utilizam o padrão 802.11 destacam-se o 802.11a, 802.11b e o 802.11g que apresentam diferentes características. A seguir daremos uma breve explicação de cada uma delas.

### **802.11a**

O padrão IEEE 802.11a opera em uma faixa de frequência de 5 GHz, chegando a 54 Mbps, cinco vezes mais rápida do que o padrão IEEE 802.11b (11 Mbps). A potência varia de 50 mW a 800 mW.

O padrão 802.11a utiliza a tecnologia OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing* - multiplexação por divisão de frequências ortogonais). Essa técnica consiste em dividir o canal de transmissão em vários canais, cada um com uma portadora diferente. Essas características, incluindo a frequência de operação, fazem do padrão IEEE 802.11a incompatível com os padrões IEEE 802.11b/g, que são os mais utilizados.

### **802.11b**

O padrão IEEE 802.11b opera na frequência de 2.4 GHz e utiliza a técnica de modulação DSSS. A capacidade de transmissão chega a 11 Mbps, comparável ao padrão Ethernet. O IEEE 802.11b também é conhecido como *Wi-Fi* (*Wireless Fidelity* - Fidelidade sem fio). As principais vantagens do padrão IEEE 802.11b são:

- Longo alcance (até 100 metros sem obstáculos);
- Facilidade de integração com redes Ethernet;
- Alta taxa de transmissão (11 Mbps);
- Conexões confiáveis.

O IEEE 802.11b é bastante indicado para uso em escritórios e prédios. Seu alto custo dificulta o uso em ambientes residenciais. Algumas desvantagens do padrão são:

- Dificuldade de configuração e manutenção;
- Não possui suporte para voz e telefonia;
- Alto custo de implementação;
- Exige pontos de acesso.

### 802.11g

O principal atrativo do padrão IEEE 802.11g é poder operar com taxas de transmissão de até 54 Mbps, assim como acontece com o padrão 802.11a. No entanto, ao contrário dessa versão, o 802.11g opera com frequências na faixa de 2,4 GHz e possui praticamente o mesmo poder de cobertura do seu antecessor, o padrão 802.11b. A técnica de transmissão utilizada nessa versão também é o OFDM, todavia, quando é feita comunicação com um dispositivo 802.11b, a técnica de transmissão passa a ser o DSSS. Esse padrão utiliza o protocolo de segurança WEP (*Wired Equivalent Privacy*) estática. Mas já suporta os protocolos de segurança mais robustos, como o WPA (*Wi-Fi Protect Access*) e WAP2 com criptografia dinâmica (método de criptografia TKIP e AES).

Ferrari et al. (2006) apresentam a implementação de uma rede de sensores utilizando o padrão IEEE 802.11. Uma rede mestre-escravo foi proposta, para permitir que vários sensores pudessem se conectar com dispositivos *Wi-Fi* genéricos, como por exemplo computadores pessoais. Foram desenvolvidos para este estudo um protocolo de comunicação sobre IP e alguns protótipos de baixo custo para testar a performance do comportamento da rede quanto as características de tempo de latência e à potência dissipada. Os resultados para as características de tempo foram satisfatórias, mas o consumo de potência mostrou-se especialmente alto, tornando-se uma grande desvantagem na rede de sensores utilizar o padrão 802.11.

### 3.2.2 IEEE 802.16 - WMAN

A tecnologia IEEE 802.16 (WMAN - *Wireless Metropolitan Area Network*), comercialmente conhecida como *WiMAX* (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), é especificada para prover acesso a uma rede de comunicação de dados em banda larga até uma distância de 50 Km da estação rádio base (ERB) da rede, e enlace de comunicação de até 70 Mbps (IEEE-Standard-802.16, 2004). A comunicação é estabelecida entre os nós da rede e o controlador central em uma configuração ponto-multiponto, ou estrela, podendo também fornecer conexão em topologia malha, permitindo a comunicação nó-nó da rede. O objetivo principal desta tecnologia é prover acesso à rede para dispositivos móveis em uma área metropolitana. servindo como parte final (*last mile*) da infraestrutura de conexão de banda larga.

Existem dois padrões, o IEEE 802.16d para nós fixos e o IEEE 802.16e para nós móveis. No *WiMAX* fixo, o usuário tem acesso aos serviços apenas através de uma ERB, e opera na faixa de frequência não licenciada de 5.8 GHz e nas faixas licenciadas de 2.5 GHz, 3.5 GHz e 10.5 GHz, com alcance de até 40 Km com visada direta, e até 10 Km para áreas densamente povoadas. No *WiMAX* móvel, o usuário tem acesso aos serviços, podendo comutar de uma ERB para outra, ou seja, pode estar em movimento em velocidade de até 100 Km/h.

As desvantagens desta tecnologia para a especificação de uma rede de sensores é o alto custo dos equipamentos, devido tanto à comunicação em banda larga como a potência de transmissão necessária para cobrir as distâncias de conexão especificadas, e a topologia de comunicação estrela, que faz com que a comunicação seja centralizada pelo coordenador da rede, no caso do IEEE 802.16d. Já no caso do IEEE 802.16e a tecnologia ainda está em fase final de desenvolvimento, o que torna os equipamentos existentes de custo muito alto (Ma and Jia, 2005). Por se tratar de uma tecnologia aplicada em áreas metropolitanas, houve o interesse em descrever tal padrão de comunicação, mas não foram encontrados trabalhos que relacionem a utilização de redes *WiMAX* para comunicação de sensores ou atuadores sem fio.

### 3.2.3 IEEE 802.15.1 - WPAN

A tecnologia IEEE 802.15.1 - WPAN, comercialmente conhecida como *Bluetooth*, é especificada para interconexão de periféricos a um computador ou interconexão de equipamentos eletrônicos. Originalmente, essa tecnologia começou a ser desenvolvida pela Ericsson em 1994. O projeto foi destinado à comunicação sem fio de baixo consumo entre telefones móveis e acessórios. A partir de 1998, a Ericsson se juntou com outras empresas (Nokia, Intel, Toshiba e IBM) e formou o SIG (*Special Interest Group*) do *Bluetooth* com o objetivo de desenvolver um padrão aberto de comunicação sem fios (McDermott-Wells, 2005).

O fato de ser um padrão aberto garantiu o sucesso imediato do *Bluetooth* e em menos de dois anos o SIG recebeu mais de 2000 novos membros. Outro ponto forte do *Bluetooth* é o uso da tecnologia por meio de licenças sem o pagamento de taxas de direitos autorais. Curiosamente, o nome *Bluetooth* é uma referência ao rei viking Harald Bluetooth, que unificou a Dinamarca e a Noruega, no século X.

O principal objetivo das empresas que desenvolveram o *Bluetooth* é a criação de um dispositivo de rádio em um único chip, com baixo custo, baixo consumo, com alcance de 10 metros e transferência de dados em torno de 720 Kbps. O baixo custo e o baixo consumo são importantes por que esse rádio será implementado em diversos aparelhos, inclusive equipamentos portáteis.

De acordo com os fabricantes, os equipamentos *Bluetooth* criaram uma nova modalidade de redes: a PAN (*Personal Area Network* - Rede Pessoal), onde as pessoas poderão interagir com dispositivos eletrônicos em casa ou no ambiente de trabalho. Esses dispositivos podem ser telefones, sistemas de segurança, computadores pessoais entre outros. A norma IEEE 802.15.1 define as especificações da camada física (PHY) e da subcamada de controle de acesso ao meio (MAC) para a conexão sem fio entre dispositivos fixos, portáteis e móveis com um alcance aproximado de 10 metros.

### Características técnicas do *Bluetooth*

Como grande parte das tecnologias sem fio, o *Bluetooth* utiliza a banda ISM de 2.4 GHz. Também utiliza a técnica de saltos de frequência (FHSS), como o 802.11, mas realiza essa operação mais rapidamente, saltando até 1600 vezes por segundo.

Os dispositivos *Bluetooth* criam automaticamente conexões independentes entre outros dispositivos e o usuário não precisa configurar a rede. O *Bluetooth* permite que até 8 dispositivos sejam conectados diretamente entre si, formando uma *piconet* (rede muito pequena). Redes maiores podem ser criadas, mas dispositivos só podem se comunicar diretamente com outros 7 dispositivos. Essas redes são chamadas de *scatternets* (redes de difusão - redes ad-hoc) e é necessário dividi-las em *piconets*. A Figura 3.1 mostra uma *scatternet* formada por quatro *piconets*.

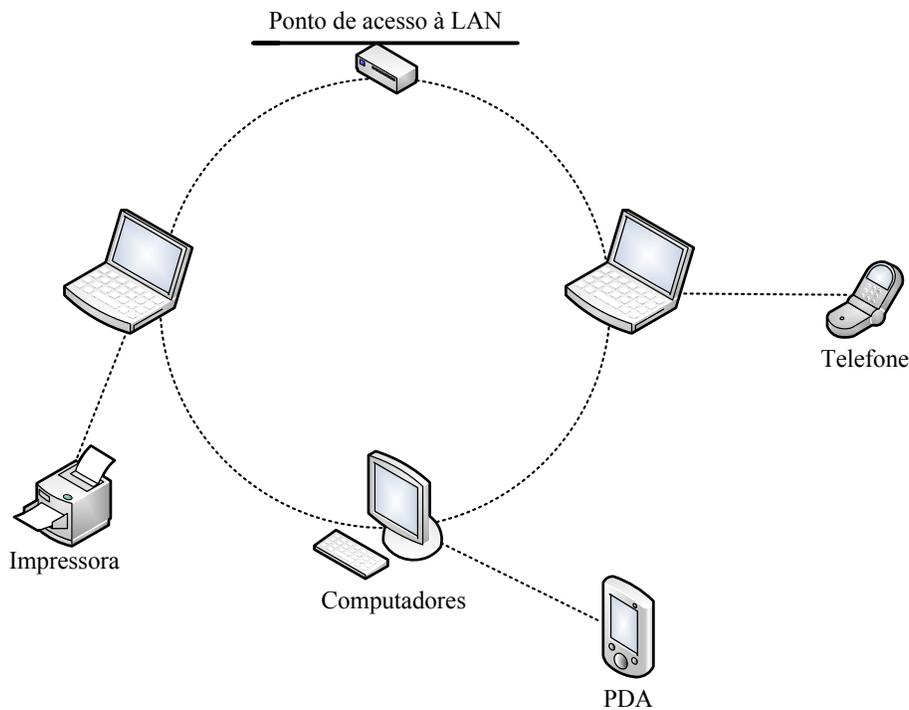


Fig. 3.1: *Scatternet* com quatro *piconets*.

Os equipamentos com *Bluetooth* têm capacidade de localizar outros equipamentos próximos, formando as *piconets*. Dentro de uma *piconet*, o dispositivo que transmitiu primeiro é considerado mestre e os outros escravos. Essa característica permite que as conexões sejam feitas automaticamente.

Os dispositivos que formam as *piconets* determinam um padrão de transmissão que é conhecida apenas pelos componentes da rede (seqüência dos saltos de frequência). Isso garante um certo grau de segurança nas transmissões e também permite que diferentes redes sem fio compartilhem o mesmo espaço físico, com menos probabilidade de interferência (McDermott-Wells, 2005).

### 3.2.4 IEEE 802.15.4 - LR-WPAN

O padrão IEEE 802.15.4 - LR WPAN, conhecido por trabalhar com a especificação ZigBee nas camadas superiores, é uma tecnologia de comunicação sem fio que utiliza dispositivos de rádio de baixa potência, baixo custo e pequeno alcance. A especificação ZigBee foi definida em dezembro de 2004 por uma associação composta de fabricantes, provedores de tecnologia e usuários chamada *ZigBee Alliance*. Atualmente a ZigBee Alliance é composta por mais de 200 companhias, dentre elas estão Philips, Motorola, Intel, Honeywell e Ericsson (ZigBee-Alliance, 2009).

O padrão IEEE 802.15.4, define um protocolo e interconexão para dispositivos de comunicação de dados usando baixa taxa de transmissão, baixa potência, baixa complexidade e transmissões de rádio frequência de pequeno alcance em uma rede sem fio. Isto permite que sejam implementadas soluções de baixo custo e de alta eficiência em energia. O padrão IEEE 802.15.4 define uma norma para a camada física (PHY) e para a camada de acesso ao meio (MAC) para redes sem fio de pequeno alcance com baixas taxas de transmissão enquanto que as demais camadas são responsabilidades da ZigBee Alliance. Na Figura 3.2 são apresentadas as camadas de protocolo e os respectivos responsáveis.

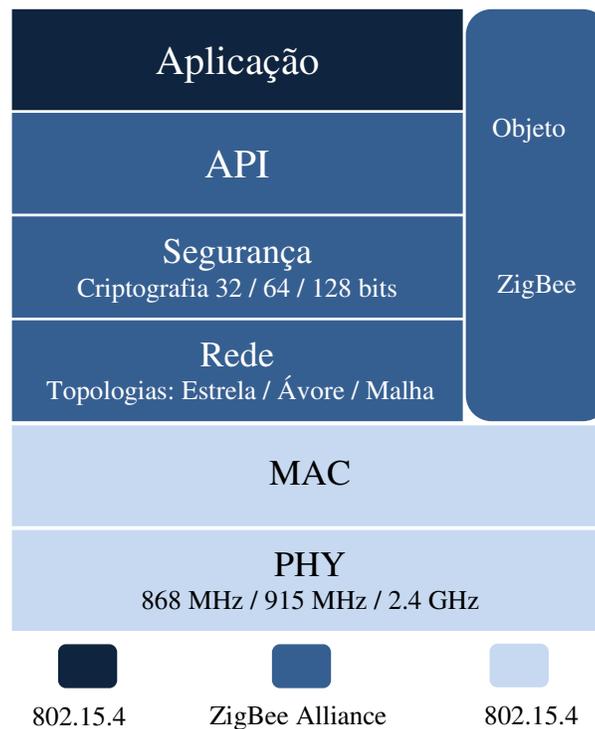


Fig. 3.2: Camadas da rede, mostrando as responsabilidades da norma IEEE 802.15.4 e ZigBee Alliance.

Uma rede LR-WPAN é uma rede de comunicação simples e de baixo custo que permite conec-

tividade em aplicações com potência limitada e necessidades de desempenho não tão rígidas. Os objetivos principais de uma LR WPAN são facilidade de instalação, transferência de dados confiável, operação de curto alcance, baixíssimo custo e uma vida útil bastante significativa da bateria, enquanto mantém um protocolo simples e flexível (Gutiérrez, 2007).

Algumas características desta rede são:

- Detecção de energia (ED);
- Acesso ao canal (CSMA-CA);
- Baixa potência de consumo;
- Detecção da qualidade do link (LQI);
- Taxa de dados de 250 Kbps, 40Kbps e 20 Kbps;
- Operação em topologia estrela, árvore e malha;
- Endereços de 16 bits ou estendidos de 64 bits;
- Alocação de intervalos de tempo garantidos (GTS);
- Protocolo com reconhecimento de dados para confiabilidade na transferência;
- Frequência de operação 2.4 GHz com 16 canais, 915 MHz com 10 canais e 868 MHz com 1 canal.

## Topologias

Podemos identificar dois tipos de dispositivos em uma rede IEEE 802.15.4 / ZigBee, sendo:

**FFD - Full Function Device** - pode funcionar com qualquer topologia do padrão, desempenhando a função de coordenador da rede ou roteador e conseqüentemente ter acesso a todos os outros dispositivos dentro de seu alcance de transmissão. São dispositivos mais completos.

**RFD - Reduced Function Device** - dispositivos mais simples, com menos memória, utilizados nas pontas da rede sem distribuição de reenvio de mensagem, ou seja, não pode atuar como um coordenador de rede ou roteador. Pode comunicar-se apenas com um FFD.

Cada rede consiste de múltiplos FFDs e RFDs, com um dos FFDs designado como coordenador da rede. Dependendo da aplicação, a rede pode operar em uma das duas topologias: topologia em estrela ou topologia ponto a ponto.

Na topologia estrela, a comunicação é estabelecida entre dispositivos e um único controlador central, chamado coordenador PAN (*Personal Area Network*). O coordenador PAN pode ser alimentado por energia contínua, enquanto os outros dispositivos normalmente seriam alimentados por baterias. As aplicações que se encaixam neste tipo de topologia são: Automação residencial, periféricos de computador pessoal, jogos e aplicações médicas (Golmie et al., 2004).

Após um FFD ser ativado pela primeira vez, ele pode estabelecer sua própria rede e tornar-se o coordenador PAN. Cada rede inicializada escolhe um identificador PAN, que não é concorrente usado por alguma outra rede dentro da esfera de influência do rádio. Isto permite que cada rede estrela opere independentemente. Uma vez que é escolhido o identificador PAN, o coordenador permite que outros dispositivos se liguem à sua rede. Todos os dispositivos operando na rede, em qualquer topologia terão cada um, um único endereço estendido de 64 bits. Este endereço poderá ser utilizado para comunicação direta da PAN, ou pode ser trocado por um endereço curto alocado pelo coordenador PAN quando o dispositivo se associa.

A topologia ponto a ponto (*peer to peer*), também tem um coordenador PAN, contudo, difere da topologia em estrela pelo fato de que qualquer dispositivo FFD pode se comunicar com outro desde que ele esteja no seu raio de alcance de transmissão. Esta topologia permite a implementação de redes mais complexas, tais como formação em redes de malha (*mesh*) ou em árvore (*Cluster-tree*) conforme apresentado na Figura 3.3. Aplicações como monitoramento e controle industrial, monitoramento na agricultura e segurança, se enquadram nesta topologia. Uma rede ponto a ponto também permite múltiplos saltos para rotear mensagens de qualquer dispositivo para algum outro da rede. Tais funções são executadas pela camada de rede.

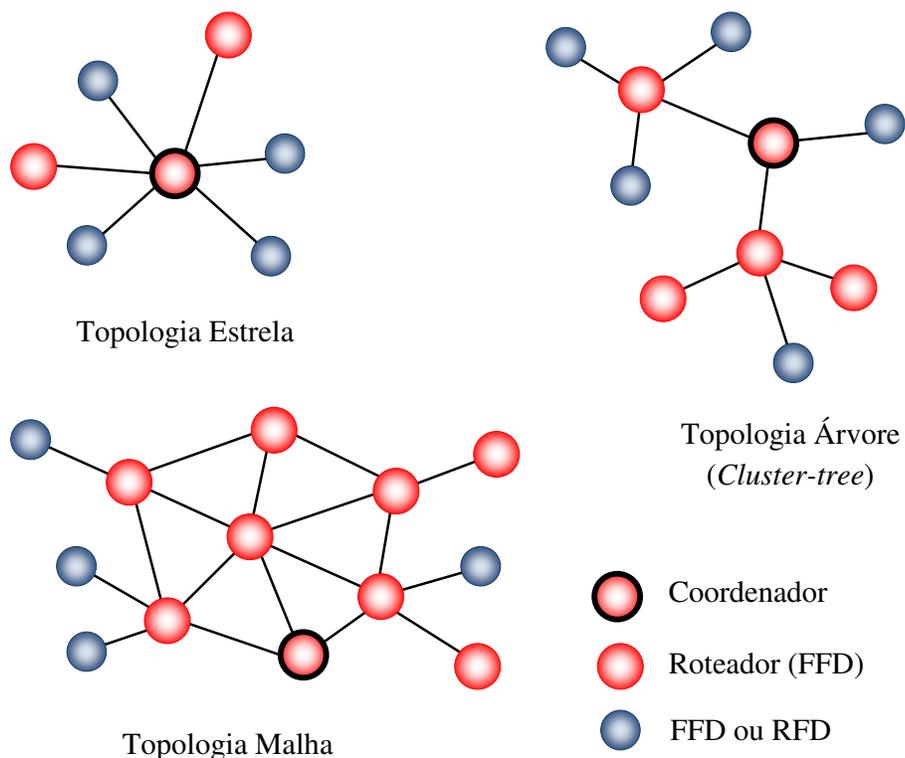


Fig. 3.3: Topologia da rede ZigBee.

A rede *Cluster-tree* é um caso especial de uma rede ponto a ponto, onde a maioria dos dispositivos

são FFDs e um dispositivo RFD pode conectar-se no final de um ramo. Qualquer FFD pode agir como um coordenador e prover serviços de sincronização para outros dispositivos e coordenadores, porém somente um desses coordenadores será o coordenador PAN.

### 3.3 Comparação entre as tecnologias sem fio

A Tabela 3.1 apresenta as principais características das tecnologias de comunicação sem fio, mencionadas anteriormente, tais como: faixa de frequência e taxas de transferência de dados pelos dispositivos. A tecnologia IEEE 802.16 não está definida nesta tabela de comparação por ter sua aplicação voltada mais para o oferecimento de ponto final de conexão de serviço (*last mile*), o que não é aplicável ao caso proposto aqui e também por ter custo muito elevado de equipamentos, o que inviabiliza a possível implementação de uma rede de sensores. Existem outras tecnologias de comunicação sem fio que não foram abordadas em detalhes nesse trabalho, como por exemplo o HomeRF (Lansford, 2000), Nanonet (Nanotron, 2009) e WirelessUSB (Woodings and Pandey, 2006), por não serem padrões abertos ou por serem específicas para aplicações desenvolvidas pelas empresas que as criaram, com módulos proprietários.

	IEEE 802.11b 	IEEE 802.15.1 	IEEE 802.15.4 
<b>Aplicação</b>	Redes corporativas	Substituição de cabos	Rede de sensores, automação
<b>Frequência e Modulação</b>	2.4 GHz DSSS	2.4 GHz FHSS	2.4 GHz DSSS
<b>Taxa de transmissão</b>	11 Mbps	1 Mbps	250 Kbps
<b>Alcance</b>	100 metros	10 metros	80 metros
<b>Pontos de acesso</b>	Sim	Não	Não
<b>Consumo</b>	Alto	Baixo	Baixo
<b>Vida útil de baterias</b>	Curto prazo	Médio Prazo	Longo prazo

Tab. 3.1: Comparação entre algumas tecnologias de comunicação sem fio.

O IEEE 802.11b é usado na gestão de redes com altas taxas de transferência, pois possui alta taxa de transmissão, com conexões confiáveis, com longo alcance e poder ser integrada facilmente com uma rede Ethernet. As desvantagens são o custo, a exigência de um ponto de acesso e a difícil

configuração da rede. Assim, o IEEE 802.11b é capaz de debitar grandes quantidades de dados e suporte a aplicações baseadas na Web.

O *Bluetooth* é indicado em aplicações onde o número de equipamentos é pequeno, mas o tráfego de dados pode ser grande. As redes com dispositivos *Bluetooth* podem ser facilmente criadas, permitindo, assim, que a tecnologia seja utilizada em escritórios onde um *notebook* ou um celular podem acessar diretamente a rede. O *Bluetooth* elimina indesejáveis cabos de redes Ethernet conectados ao computador. Além disso, a vantagem principal é que computadores e celulares novos já possuem essa tecnologia. Alguns trabalhos abordam a utilização dessa tecnologia para compor uma rede de sensores, Zhang and Riley (2004) apresentam uma simulação com o protocolo utilizando o simulador *GTNetS*, onde bons resultados foram obtidos principalmente em relação ao consumo de energia, uma das grandes preocupações na área de rede de sensores. Em (Leopold et al., 2003) foi realizado um experimento utilizando terminais denominados *BTnodes*, os resultados foram considerados satisfatórios para um determinado nicho de aplicações. Porém, o número de terminais capazes de estabelecer uma rede é muito pequeno e o consumo de energia também elevado em relação a outros protocolos, outro questionamento dos autores é a respeito de questões comerciais, quanto à garantia de dispositivos heterogêneos se comunicarem, principalmente no contexto de rede de sensores. Em (Wang et al., 2005) também é proposto uma rede de sensores para um sistema de tele-medicina móvel utilizando o *Bluetooth*, onde os terminais da rede formam uma *piconet* controlada por um *access point*, nela os dados são processados pelos próprios terminais e em seguida encaminhados para uma base de dados.

O objetivo do ZigBee é ser um canal de comunicação sem fio com baixa taxa de transmissão e baixo consumo de energia. Assim, o ZigBee tem aplicação direta em equipamentos utilizados nas automações residenciais, prediais e industriais. Uma grande rede ZigBee pode ser criada com sensores remotos, controladores mecânicos e outros dispositivos, sem a necessidade de utilizar cabos para as conexões de sinais. A especificação deste protocolo foi projetada especialmente para essa funcionalidade, a comunicação de sensores, podendo ser encontrado na literatura uma vasta quantidade de trabalhos e publicações que fazem referência a essa tecnologia. Um fator muito importante que deve ser mencionado é em relação à co-existência de mais de uma tecnologia de comunicação sem fio em um mesmo ambiente, principalmente pelo fato dessas tecnologias operarem na mesma faixa de frequência. Em (Angrisani et al., 2008) é apresentado um estudo que se refere às questões relacionadas com a co-existência dos padrões IEEE 802.11b e o IEEE 802.15.4. Na análise feita pelos autores, se conclui que tais tecnologias podem operar no mesmo ambiente, mas dependendo da proximidade ocorrem alguns problemas de interferência, como por exemplo, perda de pacotes na transmissão dos dados principalmente por parte do padrão IEEE 802.15.4.

Portanto, a utilização do padrão IEEE 802.15.4 e a especificação ZigBee para o desenvolvimento de um sistema de monitoramento e controle é muito favorável, como pode ser visto na comparação

---

apresentada. Porém, essas redes operam com baixa potência de transmissão, conseqüentemente a comunicação somente é realizada em curtas distâncias. Assim, a utilização de uma rede ZigBee para comunicação de sensores e atuadores, em cenários metropolitanos não é eficiente devido a ampla dimensão desses ambientes. Entretanto, a utilização de uma rede metropolitana pode auxiliar nesta tarefa. A proposta desta dissertação é definir uma arquitetura de rede de sensores e atuadores para aplicação em cenários metropolitanos.

# Capítulo 4

## Redes metropolitanas de acesso aberto

Neste capítulo serão apresentados os principais conceitos de uma rede metropolitana de acesso aberto (RMAA), descrevendo suas particularidades e sua estrutura. Serão apresentados alguns serviços e aplicações sobre uma RMAA, e como um município é beneficiado com tais serviços, além de exemplos de implantações com sucesso de redes metropolitanas de acesso aberto. Por fim, serão apresentados exemplos de aplicações de monitoramento e controle de ambientes metropolitanos que podem utilizar às RMAA para facilitar essa tarefa.

### 4.1 Definição

As redes metropolitanas de acesso aberto podem ser definidas como a convergência dos serviços, aplicações e da infraestrutura da rede de comunicações do município. Com uma alta capacidade de transmissão e agregação de diferentes tipos de informação, as RMAAs representam as vias públicas da informação (Mendes, 2006). Nesta concepção a construção de RMAAs passam a fazer parte da demanda de infraestrutura do município, tal qual a construção de avenidas, ruas, redes de água e esgoto ou da rede de energia elétrica.

Nesse contexto as redes metropolitanas de acesso aberto diferem das redes de comunicações atuais pelo seu caráter universalizante e por ser uma rede multiserviço, que possibilitaria a distribuição de todos os serviços oferecidos separadamente pelos sistemas atuais. Isto significa que ela é capaz de tratar com igual eficiência tanto o tráfego de dados como os de telefonia, vídeo e áudio. Em lugar de considerar o acesso aos serviços como uma mercadoria as RMAAs devem ser consideradas infraestrutura necessária para uma nova forma de organização social.

O objetivo principal deste paradigma de comunicações é a modernização do município através da construção de ambientes avançados de comunicações. Tal infraestrutura tem como uma de suas grandes vantagens a possibilidade de convergência de infraestrutura e democratização dos diferentes

meios de comunicação e de distribuição de informações, permitindo o fluxo de dados multimídia tais como imagens médicas, videoconferência, educação à distância (*e-learning*), dados administrativos e banco de dados educacionais em um ambiente de distribuição único. Outras vantagens incluem o acesso à Internet de forma comunitária, com aumento de banda e redução de custos e serviços de transporte de voz para comunicação interna (VoIP), conseguindo reduções significativas nos custos de telefonia interurbana e internacional (Mendes et al., 2008).

A implantação de RMAAs promove impactos econômicos e sociais em todos os setores da gestão de um município, pois ao possuir um sistema próprio de comunicações há economia de recursos que poderão ser investidos em outras áreas. Os custos administrativos podem ser reduzidos com o uso de ferramentas computacionais. Além disso, o salto tecnológico que uma RMAA pode causar na gestão do município motiva a inclusão digital.

Porém, a implantação em larga escala de uma RMAA pode representar um investimento muito alto, o qual habitualmente não está disponível nas prefeituras. Uma alternativa que algumas prefeituras têm optado é a implantação inicial da RMAA em pontos prioritários para depois expandir os nós da rede utilizando tecnologias mais econômicas como por exemplo redes sem fio *Wi-Fi*.

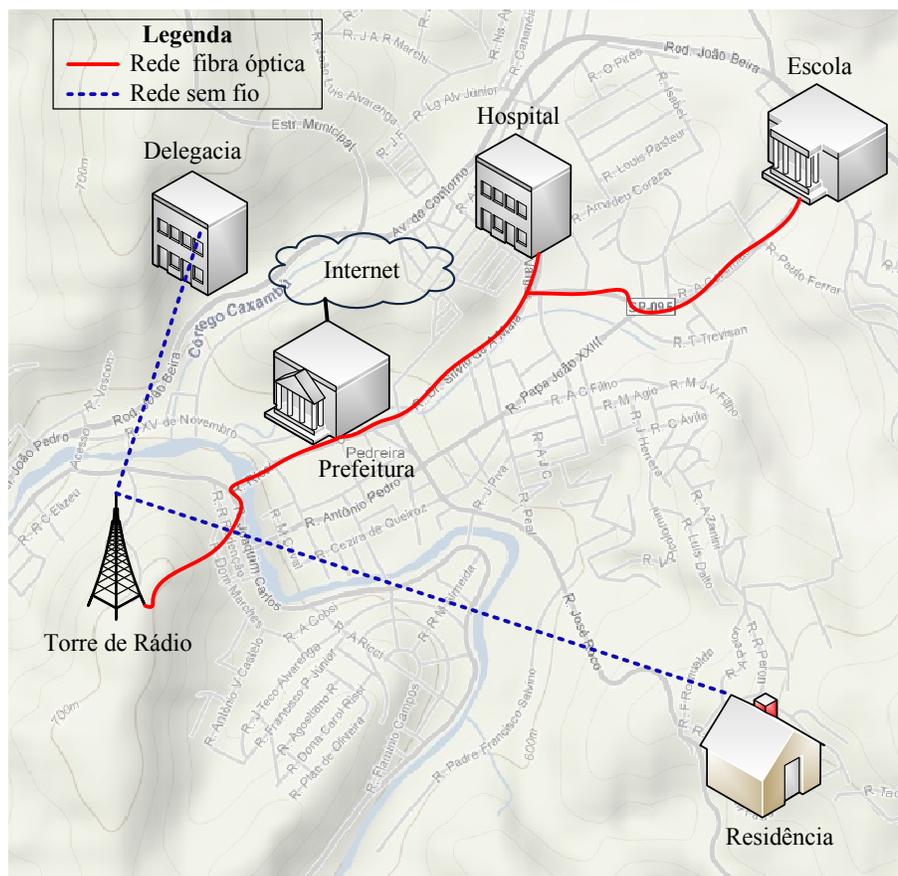


Fig. 4.1: Exemplo da estrutura física de uma rede metropolitana de acesso aberto.

Tradicionalmente as redes metropolitanas de acesso aberto podem ser baseadas em quatro tecnologias de rede: óptica, sem fio, acessos dedicados, como ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) e Frame Relay, ou então híbrida. A Figura 4.1 ilustra um exemplo de uma RMAA e sua respectiva estrutura física. Aqui, a rede é composta por prédios públicos (prefeitura, delegacia, hospital e escola) e residências. A tecnologia de rede utilizada neste caso é híbrida com o uso de enlaces ópticos e links de rádio.

A definição por uma destas soluções passa por diversos fatores incluindo a limitação de recursos e as demandas por banda que serão exigidas do sistema. Por outro lado, do ponto de vista do modelo lógico de operação da rede, as tecnologias a serem utilizadas já estão muito bem definidas, a tecnologia de interconexão de rede utilizada é a *Ethernet*. E o protocolo de comunicação utilizado entre os nodos da rede em uma RMAA é o TCP/IP.

## 4.2 Serviços e aplicações

Uma motivação para a implantação de uma rede metropolitana de acesso aberto é a possibilidade do município se transformar em provedor de serviços de acesso de comunicações, criando novas alternativas em captações de recursos. Por ser uma rede construída sobre o protocolo TCP/IP, virtualmente qualquer aplicação desenvolvida para essa plataforma pode operar em uma rede metropolitana de acesso aberto. A seguir alguns exemplos de aplicações que podem ser disponibilizadas pela RMAA:

- Sistema de gestão municipal ou *e-Gov* (Mendes et al., 2008);
- Acesso à Internet para população;
- Tele-medicina *e-Health*;
- VoIP corporativo.

### 4.2.1 Sistema de gestão municipal

A implantação de sistemas de gestão municipal ou *e-government*, como são conhecidos, em redes metropolitanas de acesso aberto possibilita a integração e o aproveitamento de informações entre diferentes secretarias municipais. Sistemas de gestão específicos para cada setor do município podem ser desenvolvidos. São vários os benefícios para as áreas da saúde, educação e administração municipal dentre os quais podemos destacar:

- Implantação da transparência na gestão pública por meio do livre acesso as informações como: prestações de contas e licitações eletrônicas
- Educação digital - biblioteca digital, sistemas de administração escolar e ensino apoiado por ferramentas tecnológicas;
- Gestão e gerenciamento de almoxarifados;
- Gestão e gerenciamento de medicamentos;
- Prontuários digitais de atendimentos;
- Integração de cadastros sociais.

#### 4.2.2 Acesso à Internet

A Internet é o meio de comunicação entre o município e o mundo externo. Podemos destacar a importância atual da Internet com relação à pesquisa de conteúdos, rapidez na divulgação da informação. Inserir o cidadão nesse contexto, significa contribuir para a inclusão digital da comunidade, além de acelerar o processo de desenvolvimento do município. Outro exemplo, é a possibilidade de atendimento via *e-mail*. Este serviço já substitui vários outros serviços que eram dependentes de processos tediosos e burocráticos, como SAC (Serviço de Atendimento ao Consumidor) e *call-centers*. Muitas aplicações utilizam a flexibilidade da Intranet para a implantação e modelagem de serviços dentro no município, como no caso do desenvolvimento de uma rede de sensores e atuadores em escala municipal, mas a Internet pode também ser utilizada para expandir as fronteiras de acesso, possibilitando que usuários mesmo fora da cidade tenham acesso às informações referentes a serviços internos do município.

O acesso à Internet pode ser feito a partir de todos os pontos da rede metropolitana por meio do centro de distribuição da RMAA. O cenário tradicional é o prédio da prefeitura, onde frequentemente o CPD (Central de Processamento de Dados) está localizado, funcionando como centro de distribuição. Geralmente um ou mais *links* de Internet são contratados e a prefeitura passa a funcionar como um provedor de acesso à Internet.

### 4.2.3 Tele-Medicina

Tele-medicina ou *e-Health* é o fornecimento de serviços de assistência médica, informações clínicas ou educação médica utilizando tecnologias de telecomunicação. Existem dois tipos de serviços de tele-medicina: síncrono (aplicações em tempo real) e assíncrono (aplicações do tipo “store and forward”, sem requisitos de tempo). Muitas aplicações de tele-medicina utilizam recursos tecnológicos das redes de sensores, como monitoramento de pessoas enfermas e idosas (Rahman et al., 2009). As redes metropolitanas de acesso aberto podem auxiliar tais aplicações, facilitando a conexão entre o local do paciente, seja sua residência ou hospital, e o médico responsável, e também podem oferecer:

- Tele-diagnósticos;
- Tele-monitoração;
- Tele-consultas;
- Tele-ultrassom.

### 4.2.4 VoIP corporativo

Voz sobre IP, também chamado de VoIP, significa o transporte da voz sob uma infraestrutura IP tornando a transmissão de voz mais um dos serviços suportados pela rede de dados (Davison et al., 2008).

O principal objetivo da implantação do sistema VoIP sobre uma RMAA, é o barateamento de custo devido ao uso de uma única rede para carregar dados e voz, que pode transportar dados VoIP sem custo adicional. As chamadas realizadas VoIP para VoIP em geral são gratuitas, enquanto que as chamadas VoIP para as redes de telefonia convencional, podem ter custo para o utilizador VoIP. Um exemplo é a utilização de ramais VoIP para a comunicação interna e entre os prédios ligados à administração pública, substituindo a telefonia convencional com economia de até 76% nas ligações (VoIP, 2009).

## 4.3 Exemplos de redes metropolitanas

Nesta seção serão apresentados exemplos de implantações com sucesso de redes metropolitanas de acesso aberto. Projetos de municípios que adotaram esta tecnologia de comunicação são encontrados em grande parte do mundo como América (Bauer et al., 2002; Ford and Koutsky, 2005; Mendes et al., 2008) e Europa (Alexiou et al., 2005; Kramer et al., 2006). A Tabela 4.1 mostra exemplos de

idades com a tecnologia de RMAA implantada e as principais contribuições para o município.

<b>Cidade</b>	<b>Tecnologia</b>	<b>Contribuições</b>
Pedreira, Brasil	Híbrida - Fibra óptica e sem fio	Interconexão de prédios públicos, distribuição de Internet para a população e VoIP corporativo.
Patras, Grécia	Híbrida - Fibra óptica e sem fio	Interconexão de instituições de Educação, Pesquisa e Administração públicas.
Leiden, Holanda	Sem fio	Programa de distribuição de vídeo, servidores de jogos e VoIP.
Kutztown, Estados Unidos	Fibra óptica	Fornecimento de conexões de fibra óptica de alta velocidade para residências, escolas, prédios públicos e privados.
Granbury, Estados Unidos	Sem fio	Criação de uma rede que une serviços de segurança pública (polícia, bombeiros e serviços de emergência) e da administração municipal.
Cheyenne, Estados Unidos	Sem fio	Gerenciamento de controle de tráfego de trânsito.
Spokane, Estados Unidos	Sem fio	Aplicação de <i>e-Government</i> .
Shangai, China	Híbrida - Fibra óptica e sem fio	Aplicação de <i>e-Government</i> , Informatização dos setores da Educação e da Saúde, Implementação de sistema pagamento eletrônico.

Tab. 4.1: Exemplos de implantações de RMAA, (Miani, 2009).

Duas destas RMAAs serão abordadas com mais nível de detalhes: Patras (Alexiou et al., 2005) e Leiden (Kramer et al., 2006). Patras, por apresentar uma formação híbrida em sua tecnologia de rede e por interligar prédios com diferentes níveis de controle de acesso. Já Leiden foi escolhida por ser uma rede formada somente por conexões sem fio, uma tendência atual nas redes metropolitanas de acesso aberto devido à facilidade e seu baixo custo de implantação, quando comparada as redes constituídas por fibra óptica (Lawrence et al., 2007).

O objetivo desta seção, além de elucidar conceitos e aplicações das RMAAs, é motivar discussões

acerca de implementações de serviços para monitoramento e controle de ambientes dentro os espaço metropolitano, e como a RMAA deve ser trabalhada para conseguirmos bons resultados.

### RMAA de Patras

A cidade de Patras é situada na região oeste da Grécia e atualmente é a terceira maior cidade do país. A rede metropolitana de Patras é constituída de 300 prédios públicos, dentre eles 3 universidades, 6 centros de pesquisa, 4 hospitais e 120 escolas (Alexiou et al., 2005). A tecnologia de conexão é híbrida, formada por enlaces de fibra óptica e conexões sem fio.

A topologia da rede óptica de Patras é baseada em um modelo de três níveis: Rede principal, Rede de distribuição e Rede de acesso. Os tipos de nós do sistema são, portanto, divididos em: nós principais, nós de distribuição e nós de acesso. A Figura 4.2 ilustra a arquitetura da rede óptica de Patras.

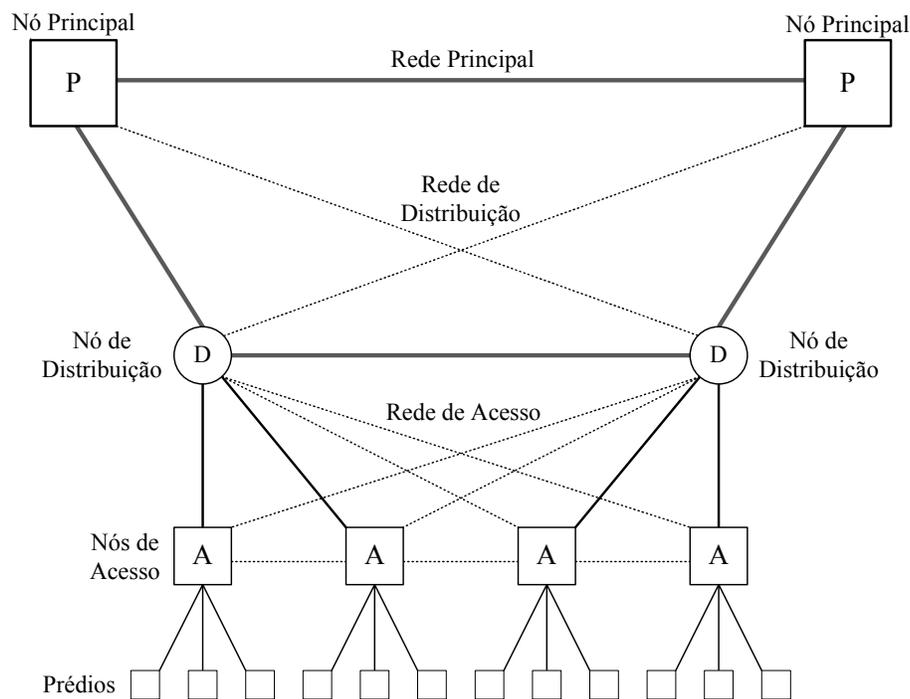


Fig. 4.2: Arquitetura da rede metropolitana de Patras, Grécia.

A rede principal consiste em um número de nós principais que são conectados diretamente entre si, formando o núcleo da rede.

A rede de distribuição forma o segundo nível do modelo. Um nó de distribuição deve ser conectado a um nó principal e também possuir uma conexão redundante com outro nó principal. Ou seja, as conexões entre os nós de distribuição e os nós principais respeitam a relação 2:1. Alternativamente os nós de distribuição podem ser cancelados entre si, quando necessário.

O último nível do modelo é a rede de acesso. Os nós de acesso são conectados aos nós de distribuição e também a outros nós de acesso. Por fim, os prédios são conectados à rede de acesso.

A RMAA de Patras consiste de :

- 9 nós de acesso sem fio;
- 10 nós de distribuição;
- 3 nós principais;
- 30 nós de acesso.

Na rede metropolitana de acesso aberto de Patras quatro tipos importantes de prédios estão conectados entre si: universidades, centros de pesquisa, hospitais e escolas. A aplicação de uma rede sensores e também atuadores nestes prédios pode gerar uma grande variedade de soluções, além de todos os serviços já disponibilizados, como apresentados anteriormente. Um exemplo é o monitoramento de estoque de medicamentos dos hospitais, onde tais produtos precisam estar em ambientes com condições adequadas de temperatura, umidade e luminosidade. Esse monitoramento pode ser feito e gerenciado a partir de um único hospital ou um posto responsável do município. A centralização da informação concernente a uma dada aplicação, possibilita uma melhor administração pública de recursos como citado no exemplo, garantindo a qualidade de serviço em todo o município.

### **RMAA de Leiden**

O projeto da RMAA de Leiden, uma cidade holandesa com aproximadamente 118.000 habitantes, originou-se de uma iniciativa de três moradores locais em criar uma pequena rede sem fio doméstica para troca de dados. Assim que a primeira rede foi estabelecida, eles decidiram conectar mais nós e assim iniciou-se o plano de criação de uma rede municipal sem fio que atendesse interesses do município e também da população. Atualmente escolas, bibliotecas, centros de saúde e as residências de Leiden e outros sete municípios vizinhos são conectados pela *Wireless Leiden* que é o nome dado ao projeto (Kramer et al., 2006).

A grande diferença da rede metropolitana de acesso aberto de Leiden, é o modo com que esta é gerida. O projeto *Wireless Leiden* não possui fins lucrativos e é mantido por voluntários, doações e patrocínios de diversas organizações. A prefeitura de Leiden somente colabora com a isenção de taxas das locações.

A estrutura da RMAA de Leiden é baseada no padrão IEEE 802.11b. A rede engloba mais de 100 nós, os quais roteiam tráfego entre si, entre os usuários e para a Internet. Cada nó consiste de uma ou

mais interfaces de comunicação para outros nós, e também de um ponto de acesso onde os usuários se conectam a RMAA utilizando uma antena externa. O acesso a Internet é realizado através de três *gateways* cada um com uma capacidade de 8 Mbps.

Os serviços disponibilizados pela *Wireless Leiden* incluem distribuição de vídeo de artistas locais, sincronização de tempo, servidores de jogos e VoIP.

A RMAA de Leiden tem uma característica interessante que poderia ser explorada para gerar novas soluções baseadas no monitoramento e controle de ambientes do município. Por se tratar de uma rede onde os principais utilizadores é a população, diferindo da RMAA apresentada anteriormente onde os pontos principais de conexão eram prédios públicos, a sociedade além dos recursos já disponibilizados, pode se beneficiar com serviços de busca de informações de ambientes físicos do município. Por exemplo, condições do tempo em uma dada região da cidade, tráfego de veículos em certa avenida e qualidade do ar em áreas de distritos industriais. Muitos desses serviços já são utilizados em diversas cidades. Assim, muitas vezes não se trata da criação de soluções novas, mas da utilização do recurso disponível nas RMAAs para unificar diversas soluções, que atualmente não se encontra sob administração da prefeitura.

## 4.4 Monitoramento e controle em cenários metropolitanos

Um cenário metropolitano apresenta diferentes tipos de ambiente, que são divididos em ambiente públicos e privados. Os privados como: casas, prédios e comércios são de responsabilidade particular e serviços de monitoramento e controle podem ser desenvolvidos caso o proprietário tenha interesse. Na maior parte das vezes, os ambientes de interesse são os públicos, cuja responsabilidade é da prefeitura da cidade. Neste caso, as soluções propostas podem auxiliar a administração municipal, dentre as soluções podemos sugerir algumas como:

- Monitoramento do nível das caixas d' água do município, onde muitas vezes os recursos existentes para monitoramento e controle destas são precários, ocasionando um grande desperdício de água tratada.
- Monitoramento de ruas e avenidas, supervisionando o fluxo de veículos dentro do município, identificando áreas de congestionamento, alertando as autoridades no caso de veículos estacionados em locais proibidos e diversos outros.
- Supervisão dos postos de saúde da cidade, garantindo que remédios sejam armazenados em locais com condições adequadas, em termos de temperatura, umidade e iluminação. Ainda é possível, utilizando a RMAA criar um sistema de gerenciamento centralizado destes postos, onde por exemplo, todos possam ser monitorados a partir de um hospital responsável.

- Desenvolvimento de sistemas de segurança em escolas, hospitais, prefeituras e demais prédios públicos.
- Podem ser criados serviços de busca de informação proveniente do mundo real, como por exemplo as condições da qualidade do ar na cidade, velocidade do vento, temperatura, umidade relativa, condições do tráfego de veículos no centro da cidade, qualidade da água dos rios que abastecem o município.

# Capítulo 5

## Arquitetura proposta

A aplicação das redes de sensores e atuadores em um cenário metropolitano é complexa e deve ser analisada cuidadosamente. A diversidade de ambientes, a quantidade de pontos, o tipo da informação que é coletada nos ambientes e o que pode ser remotamente controlado são os fatores principais que devem ser analisados para que um sistema de monitoramento e controle de larga escala possa ser implementado em um município. Outro fator muito importante que deve ser analisado é a segurança dos dados, devido principalmente a presença de atuadores na rede. O sistema deve ser projetado de forma a diminuir os impactos de ataques aos terminais sensores e atuadores.

Nos capítulos anteriores foram apresentadas tecnologias que podem ser utilizadas na aplicação das redes de sensores e atuadores. Nesse capítulo será apresentada a arquitetura híbrida e hierárquica proposta para monitoramento e controle em cenários metropolitanos.

### 5.1 Arquitetura híbrida e hierárquica

Para o desenvolvimento de um sistema de monitoramento e controle, é preciso existir uma interação entre o mundo físico, que é representado pelas suas grandezas físicas e fenômenos, e dispositivos embarcados próximos de tais grandezas ou fenômenos, com o propósito de medir e detectar mudanças. As redes de sensores e atuadores sem fio são utilizadas neste sentido, ou seja, de desenvolver uma ferramenta de instrumentação de ambientes, pessoas, veículos e qualquer outro meio físico existente (Estrin et al., 2002). As RSASF interagem com o meio físico, extraindo informações e transformando-as em dados capazes de serem processados digitalmente. O acionamento de dispositivos por nós atuadores auxiliam na interação, dando às RSASFs recursos superiores em relação às RSSFs.

O cenário metropolitano é composto por diversos tipos de ambientes, por exemplo, ruas e avenidas são tipos de ambientes, sendo que cada uma destes tipos, são encontrados em inúmeros pontos da

cidade. Assim, por meio das atuais tecnologias de comunicação empregadas em redes de sensores e atuadores, não é possível criar um sistema de monitoramento e controle com tamanha escalabilidade e capacidade para suprir as necessidades de um cenário de aplicação como o metropolitano. Como apresentado no Capítulo 3, as tecnologias de comunicação específicas para as RSASF apresentam um grande potencial. Nesta dissertação, é proposta uma arquitetura que utiliza tais tecnologias usufruindo desse potencial. A arquitetura é composta também pelas RMAAs, que apresentam características fundamentais para a proposta, previamente discutidas no Capítulo 4.

### 5.1.1 Descrição da arquitetura

O modelo da RSASF proposta é formado por uma arquitetura híbrida e hierárquica. A arquitetura é caracterizada pela co-existência de mais de uma tecnologia de comunicação e pela presença de equipamentos de diferentes funcionalidades e com diferentes capacidades computacionais. A proposta em particular utiliza o padrão IEEE 802.15.4 junto com a especificação ZigBee, formando um dos níveis da hierarquia da arquitetura. A tecnologia adicional utilizada, e que constitui outro nível da arquitetura, são as RMAAs.

A arquitetura é composta de quatro níveis, os quais são apresentados na Figura 5.1, onde também são identificados os equipamentos e tecnologias de cada um deles.

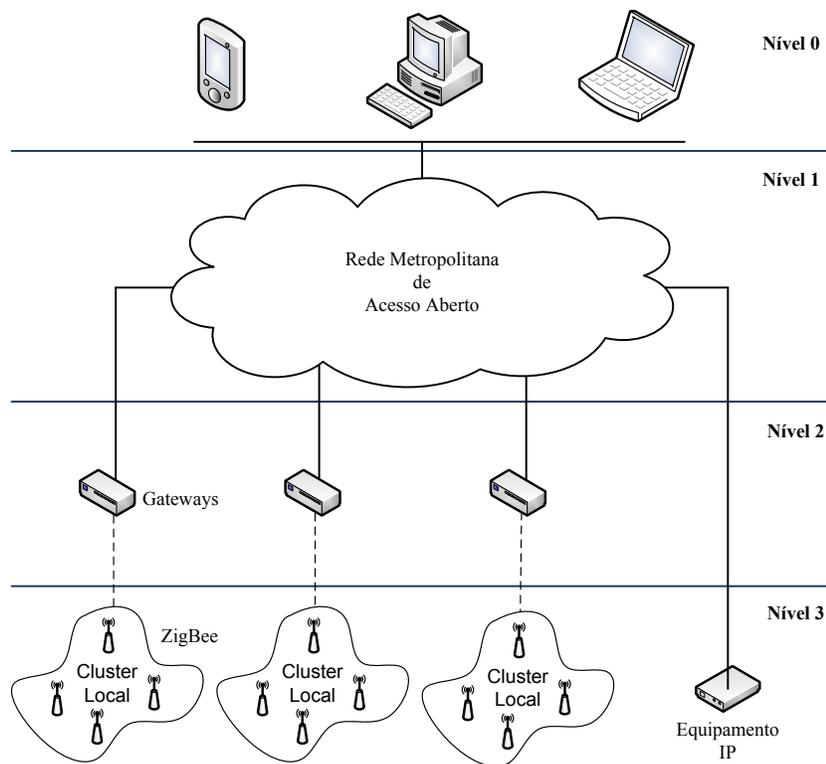


Fig. 5.1: Arquitetura híbrida e hierárquica proposta, com o detalhamento de seus níveis.

A escolha da rede ZigBee se deu pelo fato da grande utilização dessa tecnologia para comunicação de terminais sensores e atuadores. Outra questão importante é o fato de trabalharmos com uma tecnologia padronizada, sendo que atualmente diversas empresas produzem equipamentos que se comunicam com redes ZigBee. Empresas como *Ember*, *Digi* e *Freescale*, desenvolvem módulos de rádio frequência para que outras empresas equipem seus dispositivos eletrônicos com essa tecnologia. As RMAAs foram utilizadas para compor nossa proposta, pelo fato de serem redes de larga escala, com alta capacidade, utilizarem os protocolos TCP/IP e principalmente por já serem aplicadas no cenário de interesse da nossa proposta. Além disso, RMAAs são redes públicas, e pertencem ao município, assim, toda solução que a utilize está livre de impostos e taxas de utilização. A utilização de tais tecnologias para composição da arquitetura proposta pode ser definida como sendo um caso particular de redes híbridas, como apresentada em (Yu Wang, 2005).

Os quatro níveis da arquitetura são:

- **Nível 0:** Neste nível se encontra a estação de processamento centralizada, onde as informações extraídas dos ambientes são processadas e armazenadas. A partir desta estação pode ser feito o monitoramento dos ambientes, e acionamento de dispositivos remotos. Podem existir mais que de uma estação de processamento, isso depende do número de serviços operando, pois o monitoramento de diferentes tipos de ambientes pode ser separado para um melhor gerenciamento de cada um deles. Neste nível os terminais utilizados são equipamentos de grande porte, com alta capacidade de processamento e que utilizam endereços IP, como: computadores e servidores. Assim, restrições de consumo de energia não se aplicam aos elementos deste nível.
- **Nível 1:** Este é um nível de acesso, formado pela infraestrutura da rede metropolitana de acesso aberto. Assim, a responsabilidade deste nível é interligar os diferentes ambientes que estão sendo monitorados, e também encaminhar as informações destes ambientes até a estação de processamento centralizada.
- **Nível 2:** Este nível é formado por equipamentos *gateways*. A conexão entre os dois paradigmas de comunicações acontece neste nível. Os *gateways* são equipamentos que funcionam como “pontes” transferindo as informações da rede IEEE 802.15.4 / ZigBee para a rede metropolitana de acesso aberto e vice-versa. Os *gateways* são equipamentos fixos no ambiente e não apresentam restrições de consumo de energia, mas não possuem alta capacidade de processamento, e são endereçados na RMAA através de um endereço IP.
- **Nível 3:** Este o nível mais baixo da hierarquia da arquitetura. É formado pela rede ZigBee e os terminais sensores e atuadores que formam o que denominamos de *cluster* local. Cada *cluster*

local representa um ambiente dentro do cenário metropolitano, ou seja, um ponto que esta sendo monitorado. Os terminais aqui possuem restrições de energia, pois estão embarcados no ambiente e na maioria das vezes são alimentados por bateria. Os terminais podem ter endereços (IDs) ou não, podem trabalhar em diferentes topologias e geralmente não têm capacidade de processamento. Neste nível também podemos encontrar outros tipos de equipamentos como: câmeras IP, sensores conectados diretamente a estrutura da RMAA e outros, o uso de tais equipamentos auxiliam a rede ZigBee no monitoramento e controle dos ambientes.

### 5.1.2 Contribuições e características da arquitetura

Um dos principais aspectos da arquitetura proposta que a difere de outros trabalhos apresentados em cenários similares, é a utilização de um modelo hierárquico e híbrido. Esse modelo permite a criação de um *cluster* local que opera utilizando a rede ZigBee, assim, é possível utilizar terminais sensores e atuadores baseados nesse paradigma de comunicação. Como vimos no Capítulo 3, a especificação ZigBee possibilita a criação de uma rede com baixa potência de transmissão e baixo consumo de energia. Isso garante a utilização de terminais sensores e atuadores de pequeno tamanho, baixo consumo de energia, com custos reduzidos e que operem utilizando comunicação sem fio. A utilização destes terminais com certa densidade, garante uma alta resolução dos dados coletados, ocasionando um bom monitoramento. Em ambientes convencionais, ou ambientes de tamanho reduzido isso já é uma realidade comum. Porém, outras propostas tinham essa deficiência em garantir uma alta resolução dos dados coletados, em cenários de grande escala, o que foi solucionado através da arquitetura proposta utilizando as RMAA para estabelecer uma arquitetura unificada, garantindo larga escala e qualidade no monitoramento em pontos desejados.

As principais características da arquitetura podem ser descritas como sendo:

1. Uma rede heterogênea, utilizando diferentes equipamentos para desenvolver um sistema de monitoramento e controle. Assim, a rede ZigBee forma o *cluster* local, mas equipamentos de grande porte como: câmeras IP e leitores de cartão de identificação, estando conectados à RMAA, podem cooperar na instrumentação do meio físico. Essa característica é muito importante e é tratada em Zhao (2006), como sendo uma das contribuições para a criação do conceito de *SensorNet 2.0*.
2. A arquitetura ser híbrida: as tecnologias de rede e os diferentes equipamentos implementam paradigmas de comunicações em diferentes níveis da arquitetura. A topologia da rede também pode ser estabelecida, de acordo com a aplicação. A tecnologia empregada na construção da

RMAA pode influenciar nas características da rede.

3. Os *gateways* do nível 2 na maior parte das aplicações são dispositivos fixos no ambiente. Porém, os terminais da rede que formam o *cluster* local no nível 3, sejam sensores ou atuadores podem ser móveis, e deslocar-se no ambiente.
4. A utilização de um recurso já disponível em algumas cidades, como a infraestrutura das RMAAs. Assim, agregando às RMAAs novas funcionalidades de monitoramento e controle de ambientes, além de outros serviços e aplicações úteis ao município.

### 5.1.3 Modo de operação da arquitetura

O nível mais baixo da arquitetura (nível 3), como já mencionado, é composto por terminais sensores e atuadores. Podem estar conectados ao *gateway* via rede ZigBee ou diretamente à RMAA no caso de um equipamento mais complexo. No caso dos terminais da rede ZigBee, estes formam o *cluster* local, o qual pode ser formado por terminais heterogêneos e com número elevado. Os dados coletados por estes terminais são encaminhados para o *gateway*, que envia as informações para a estação de processamento centralizada através da RMAA. O acionamento de dispositivos utilizando os terminais atuadores acontece da mesma forma, porém no sentido oposto. Neste caso, os dados são enviados a partir da estação de processamento através da RMAA para o *gateway* que endereça a informação de acionamento para o terminal identificado.

Cada *cluster* local é constituído para monitoramento em um ambiente. Dentro do cenário metropolitano, o número de *clusters* pode variar de acordo com o número de ambientes monitorados. Por exemplo, no monitoramento de prédios públicos, em cada prédio será formado um *cluster*, que pode conter apenas terminais sensores, somente atuadores ou ambos, e o número de terminais pode ser elevado ou não dependendo da aplicação. Mesmo que o monitoramento esteja sendo realizado em prédios vizinhos, cada um deles terá seu *cluster*, isso devido a questões de segurança, como será apresentado em mais detalhes na seção 5.3, e também para facilitar o gerenciamento dos dados.

Os dados extraídos dos ambientes podem ser reportados quando uma solicitação for enviada, quando um dos sensores coletar uma informação ou em intervalos de tempo pré definidos. Geralmente em redes como essa, os terminais operam em estado de *sleep*, ou seja, entram no modo de espera para otimizar o consumo de energia durante períodos que não estão em operação.

O nível 2 e o nível 3 da arquitetura, constituídos pelos *gateways* e os terminais da rede ZigBee, respectivamente, devem ter o recurso de operar separadamente dos outros níveis, suportando uma operação “desconectada”. Assim, os *gateways* sendo dispositivos com maiores capacidades, e por

receberem os dados de todos os terminais devem possuir o recurso de armazenar os dados. Desta maneira, mesmo que aconteçam problemas na comunicação entre os *gateways* e a estação de processamento, os dados não são perdidos. E após a comunicação ser estabelecida novamente, possa ser realizado um sincronismo dos dados de forma a diminuir perda de informação.

A interação com o ambiente pode ser realizada de duas maneiras. Remotamente o usuário pode acessar os dados coletados através dos sensores, tais dados podem ser manipulados e o usuário pode tomar a decisão de interagir no ambiente por meio de atuadores. Essa ação é de responsabilidade do usuário e é realizada de forma manual. Outra forma de interação seria a utilização de um sistema automático de tomada de decisão, onde a partir as informações coletadas pelos sensores o próprio sistema possa acionar um atuador ou algum equipamento. Esse controle automático ainda pode ser realizado em dois locais, pode ser realizado localmente ou remotamente na estação de processamento centralizada.

Por fim, estão os terminais conectados diretamente à RMAA, que não fazem parte de um *cluster* formado pela rede ZigBee, nem reportam seus dados pelos *gateways*, mas enviam seus dados diretamente para a estação de processamento centralizada. Esses terminais, geralmente são utilizados quando existe a necessidade de utilização de terminais mais robustos em termos de processamento e coleta de dados, como por exemplo, câmeras IP. Esses terminais também podem ser utilizados quando não seja necessário o estabelecimento de um *cluster* local, reduzindo o desperdício de recursos naquele ambiente.

## 5.2 Formas de processamento das informações

Os dados propagados para a estação de processamento centralizada são utilizados para informar o usuário das condições do ambiente. A propagação destes dados através da RMAA pode ser feita de forma direta ou pré-processada. Na forma direta, o processamento das informações é realizado na estação de processamento, gerando o processamento centralizado. Quando os dados são pré-processados temos então o processamento distribuído.

### 5.2.1 Processamento distribuído

No processamento distribuído, cada *cluster* local realiza o processamento das informações localmente conforme ilustrado na Figura 5.2, esse processamento pode ser realizado através de um sistema que trabalha em conjunto com o *gateway*. Desta maneira apenas algumas informações precisam ser propagadas para a estação de processamento centralizada, como por exemplo, o status do *cluster* local, os sensores que estão ativos ou atuadores que foram acionados, desta forma o administrador

do sistema pode conhecer as atividades decorridas nos locais monitorados, sem que os dados sejam processados remotamente.

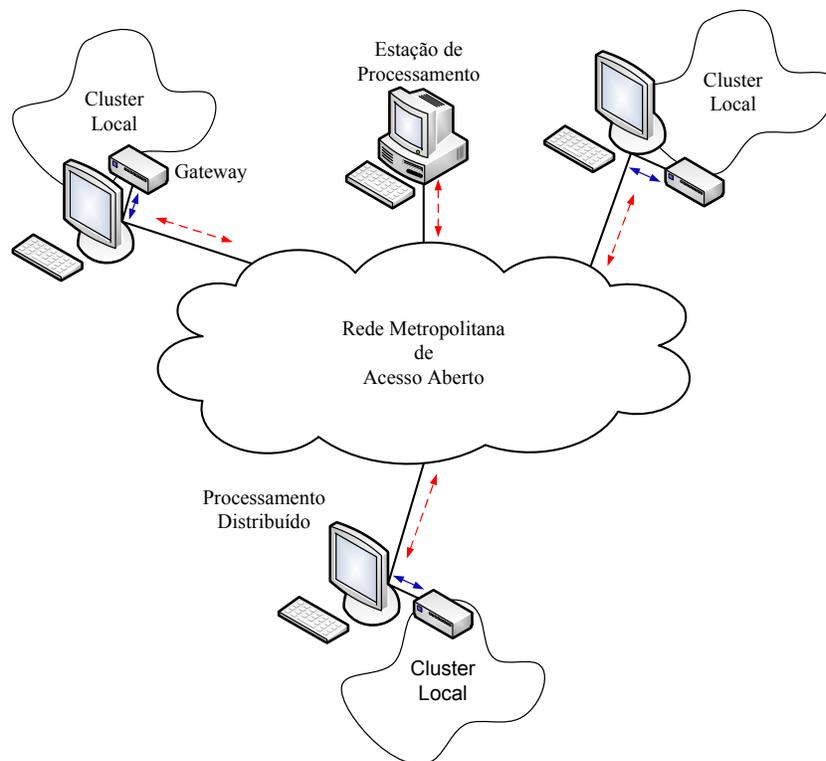


Fig. 5.2: Processamento distribuído das informações.

### 5.2.2 Processamento centralizado

No processamento centralizado, os dados coletados pelos sensores do *cluster* local são enviados diretamente para a estação de processamento centralizada. Estes dados são então processados, junto com os dados de outros *clusters* da arquitetura. Neste caso, a estação de processamento precisa ser capaz de manipular uma grande quantidade de informação, ou dividir o processamento em mais de uma estação de processamento. A Figura 5.3 ilustra o fluxo dos dados no processamento centralizado.

A utilização desta forma de processamento traz um aumento no tráfego de dados da rede, uma vez que qualquer evento nos *cluster* locais são propagados para a estação de processamento. Porém, isso não impacta no funcionamento do sistema, pois a capacidade da RMAA é alta em relação ao fluxo de dados gerado nesses ambientes. Entretanto, a falha na comunicação entre o *cluster* local e estação de processamento pode acarretar no mal funcionamento do sistema, e dependendo do tipo da falha até mesmo no interrompimento do serviço de monitoramento. Uma vantagem dessa forma de processamento é o uso de um sistema de processamento único, sem necessidade de utilizar equipamentos mais

sofisticados localmente em cada *cluster*. Nesse caso, o *gateway* simplesmente encaminha os pacotes para a RMAA e vice-versa, trabalhando simplesmente como uma “ponte”.

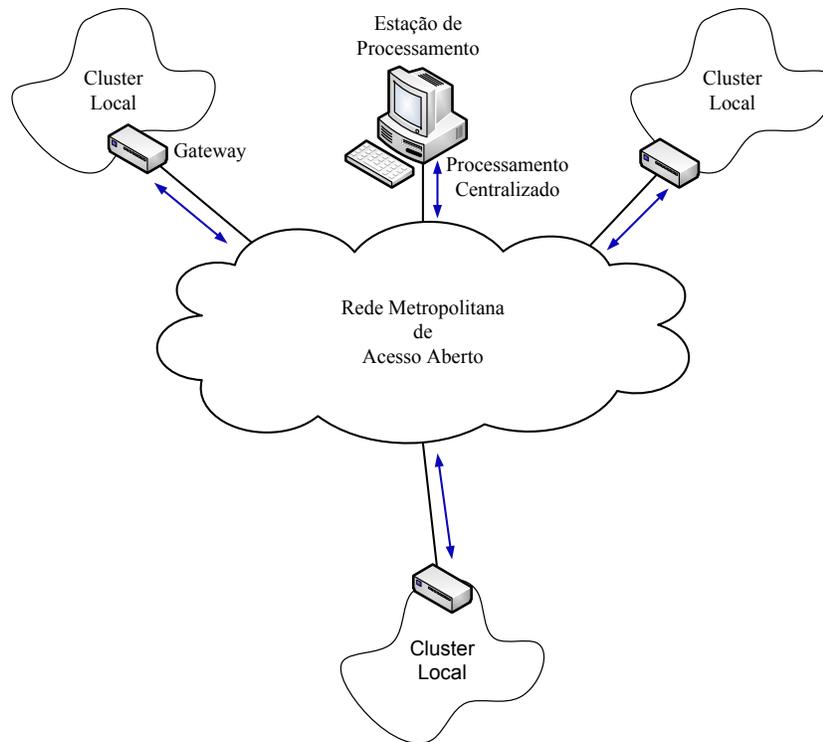


Fig. 5.3: Processamento centralizado das informações.

### 5.3 Segurança na arquitetura híbrida e hierárquica

Apesar de todos os benefícios que uma RMAA pode proporcionar a um município, faz-se necessário a atenção aos problemas relacionados à segurança da informação neste tipo de rede. Principalmente se tratando de monitoramento e controle de ambientes reais, dados provenientes dessas aplicações devem ser cuidadosamente protegidos de ataques. Novos desafios são impostos aos analistas de segurança por duas razões principais: o caráter multiserviço da rede metropolitana de acesso aberto leva à manipulação de dados sigilosos da prefeitura e da população e a universalização desejada faz com que a quantidade de usuários atinja níveis elevados.

Os gestores das redes metropolitanas de acesso aberto devem ser responsáveis por identificar as vulnerabilidades de segurança da rede e propor a implementação de controles para as falhas. Porém, o alto número de conexões e usuários, a segmentação da rede e o caráter multiserviço das RMAA, dificultam a tarefa de detecção desses problemas. São necessários então métodos específicos para o tratamento da segurança da informação nas redes metropolitanas de acesso aberto. Um conceito

atualmente difundido no escopo de segurança da informação é o de métricas de segurança específicas para RMAA como proposto por Miani (2009), onde o objetivo primário de uma métrica é transformar dados brutos em informações passíveis de análise.

O trabalho proposto por Miani (2009) permite a geração de métricas capazes de analisar eficientemente os riscos de segurança e as respectivas medidas preventivas em uma rede metropolitana de acesso aberto, sobre todos seus níveis: estrutura de rede, serviços e pontos de interconexão. Desta forma a arquitetura proposta respeita algumas dessas métricas e procura criar soluções preventivas baseadas em resultados alcançados pelo autor.

Outro problema de segurança na arquitetura proposta é com relação a rede sem fio que conecta com terminais e atuadores. Na literatura são descritas técnicas e problemas recorrentes a segurança de RSASF como apresentadas por (Du and Chen, 2008; Yang, 2009).

Na arquitetura proposta a segurança dos dados é muito importante. Porém, não é o escopo deste trabalho apresentar soluções de segurança. Entretanto, detalhes sobre segurança nas RMAA e em redes de sensores e atuadores sem fio podem ser encontrados na literatura. Serão descritos nessa seção os principais problemas e detalhes sobre a segmentação da RMAA utilizando VLANs e segurança em redes ZigBee.

### 5.3.1 VLAN - *Virtual Local Area Network*

Uma das métricas proposta em (Miani, 2009) e utilizada em nossa arquitetura é a segmentação da rede metropolitana de acesso aberto através o uso de VLANs (Tanenbaum, 2002). O desenvolvimento de sub-redes é importante para segregar o tráfego entre os diferentes tipos de serviços utilizado em uma RMAA. A criação de VLANs nos switches e roteadores da rede possibilita a criação de uma canal lógico de comunicação, onde apenas os dados de sensores e atuadores possam trafegar pela RMAA. Para os demais serviços também podem existir VLANs específicas, onde cada VLAN possui características próprias que vão desde a definição do número IP, da máscara de rede, do gateway e de protocolos de rede a serem utilizados até a configuração dos controles de acesso. Os switches e roteadores possuem regras para o controle de acesso no formato de *Access Lists* impedindo ou permitindo o tráfego de pacotes.

Outro fator importante para o uso de VLANs é a intensidade de utilização de determinados serviços. Alguns serviços podem sobrecarregar a VLAN de modo a influenciar o tráfego das informações de sensores e atuadores, que para serviços em tempo real devem ser transmitidos e recebidos com baixo atraso e latência.

### 5.3.2 Segurança na especificação ZigBee

A especificação ZigBee oferece um conjunto de ferramentas de segurança para garantir redes seguras e confiáveis. Lista de controle de acesso, temporizadores de pacotes e criptografia AES (*Advanced Encryption Standard*) certificado pelo Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia dos Estados Unidos (NIST - *National Institute of Standard and Technology*) auxiliam na proteção dos dados transmitidos (ZigBee-Alliance, 2009).

Outro fator simples mas que ajuda na segurança dessas rede, é o fato de serem utilizadas em ambientes internos, e possuírem uma baixa potência de transmissão. Isso garante que o sinal RF não se propague por longas distâncias, reduzindo o risco de invasão.

# Capítulo 6

## Estudo de caso desenvolvido

Neste capítulo é apresentado um estudo de caso realizado na cidade de Pedreira-SP. No estudo de caso foram utilizados recursos de *hardware* e *software* para o desenvolvimento de terminais sensores e atuadores e também para a implementação de um *gateway*. Para a estação de processamento centralizada também foi necessário o desenvolvimento de uma ferramenta computacional para controle e manipulação dos dados coletados, utilizado também para o acionamento de atuadores remotos. O estudo de caso foi composto também por um equipamento de maior porte, conectado diretamente à RMAA, o *Telemetric* desenvolvido pela empresa IgnisCom.

Em Pedreira foi implantada uma Rede Metropolitana de Acesso Aberto, em uma iniciativa entre o LaRCom-UNICAMP (Laboratório de Redes de Comunicação da UNICAMP) e a prefeitura da cidade. Os estudos para a implantação da rede começaram em 2005 e sua inauguração se deu em Junho de 2007. Atualmente, a infraestrutura de rede da RMAA de Pedreira é híbrida, formada por um backbone óptico que interliga diversos pontos no centro da cidade e também pontos de rádio espalhados pelo município. Alguns desses pontos de rádio são utilizados para oferecer Internet para a população da cidade.

Além das residências, os principais prédios públicos da cidade de Pedreira estão conectados à RMAA. A Figura 6.1 mostra a disposição dos prédios públicos e a respectiva tecnologia de interconexão de rede. Os serviços atualmente disponibilizados e que trafegam sobre a RMAA são: distribuição de Internet, Voz sobre IP (VoIP), dados, e-mail e câmeras IP para a segurança pública.

A Tabela 6.1 apresenta em mais detalhes cada um dos pontos conectados à RMAA de Pedreira, os locais de conexão com a RMAA estão identificados de acordo com sua localização geográfica (escolas, postos de saúde ou prefeitura). Na Tabela encontram-se em destaque dois pontos. O primeiro ponto identificado como **P01**, representa a prefeitura da cidade, local utilizado para a implantação da central de processamento dos dados. O segundo ponto **P90** denominado Escritório da Infovia, é o local de trabalho da equipe responsável pela infraestrutura da RMAA de Pedreira. Neste ponto foram

implantados os sensores e atuadores utilizados no estudo de caso.

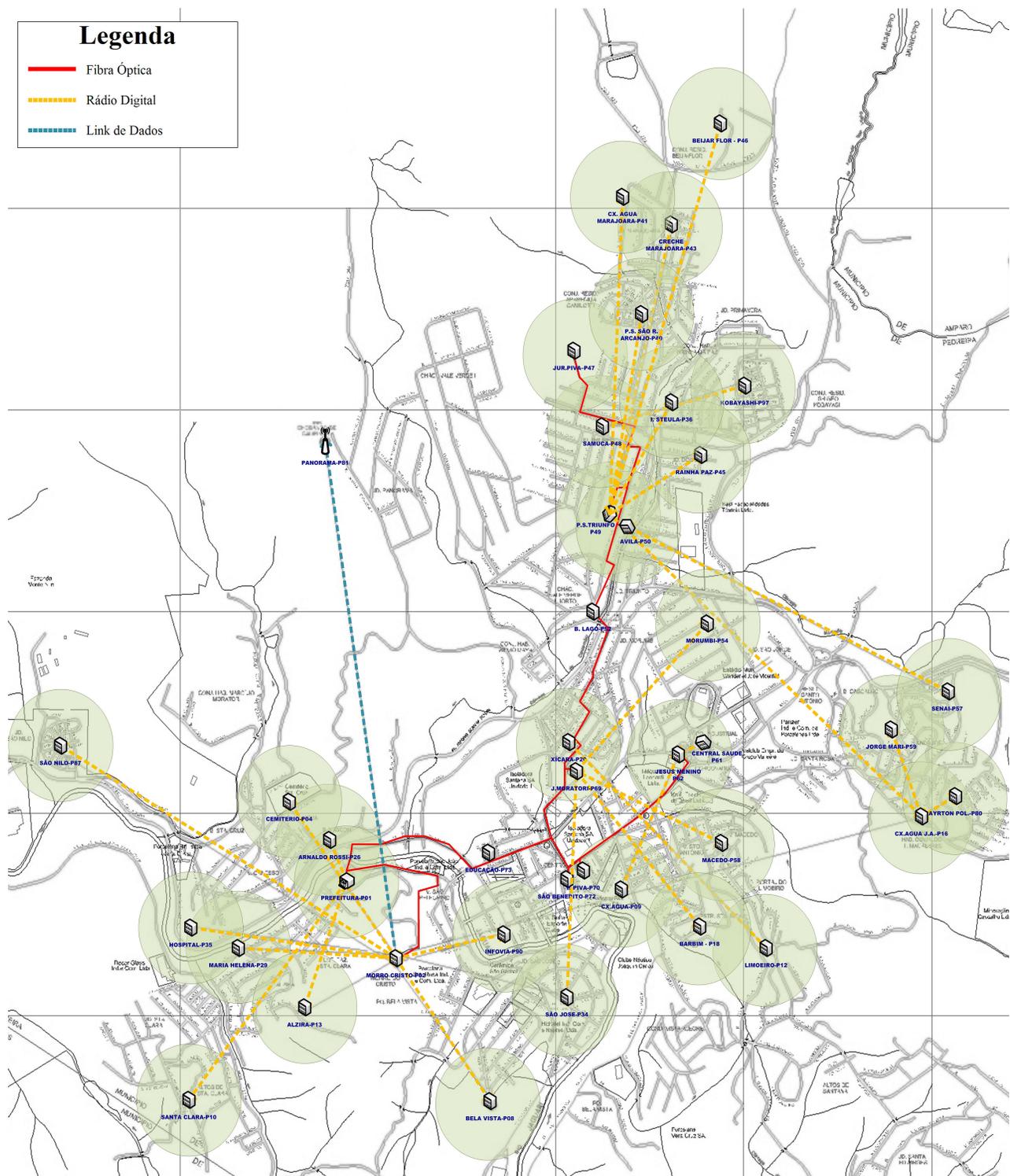


Fig. 6.1: Rede metropolitana de acesso aberto de Pedreira, ilustrando a disposição dos prédios públicos e a respectiva tecnologia de interconexão de rede.

<b>Ponto</b>	<b>Localização</b>
P01	Prefeitura
P02	Morro do Cristo
P04	Cemitério
P08	Bela Vista
P09	Tratamento Água Vl. Santo Antonio
P10	Jardim Santa Clara
P12	Caixa d' Água Limoeiro
P13	Jardim Alzira
P16	Caixa d' Água Jardim Andrade
P18	Barbim
P20	Xícara V.M. Alegre
P26	Arnaldo Rossi
P29	Maria Helena A.
P34	EMEI São José
P35	Hospital Consaúde
P36	Idalina A. Steula
P40	P.S. São Rafael Arcanjo
P41	Caixa d' Água Marajoara
P43	Creche Marajoara
P45	Caixa d' Água Rainha da Paz
P46	Beija-Flor
P47	Jurandir Piva
P48	Samuca
P49	Posto Saúde Jardim Triunfo
P50	EMEI Gerson Avilla
P52	EMEI Benedita Lago
P54	Morumbi
P57	SENAI
P58	Macedo
P59	EMEI Jorge Mari
P61	Central de Saúde
P62	EMEI Jesus Menino
P69	EMEI José Moratori
P70	EMEF Humberto Piva
P72	EMEI São Benedito
P73	Secretária da Educação
P80	Escola Ayrton Policarpo
P81	Panorama LINK NET
P87	Jardim São Nilo
P90	Escritório INFOVIA
P97	São Kobayashi

Tab. 6.1: Descrição dos pontos conectados à RMAA de Pedreira, em detalhe os pontos utilizados no estudo de caso.

## 6.1 Descrição do estudo de caso

A necessidade de soluções e serviços envolvendo monitoramento e controle em ambientes públicos, e a disponibilidade da RMAA da cidade de Pedreira foram os fatores motivadores para o desenvolvimento de um estudo de caso baseado na arquitetura híbrida e hierárquica proposta. São diversas as soluções que podem ser alcançadas utilizando os recursos dessa arquitetura. Em Pedreira, foi desenvolvido um sistema de supervisão do fluxo de pessoas que transitavam em um prédio público da cidade, foi monitorado também a temperatura local do prédio, a tensão elétrica da rede de energia e a tensão elétrica gerada por uma bateria. Além disso, terminais atuadores foram utilizados neste estudo, dando ao sistema a capacidade de acionamento de dispositivos remotos.

A utilização do sistema aconteceu no período entre Outubro de 2009 e Dezembro de 2009. O ambiente escolhido para a aplicação dos sensores e atuadores foi o Escritório da Infovia pelo fato de ser um prédio público, de fácil acesso e com disponibilidade para uso de equipamentos. O outro local escolhido foi a prefeitura da cidade, local onde está estabelecido o CPD (Central de Processamento de Dados) de Pedreira e que foi implantada a estação de processamento dos dados do nosso sistema. A Figura 6.2 apresenta as condições da arquitetura proposta, de acordo com o cenário da cidade de Pedreira.

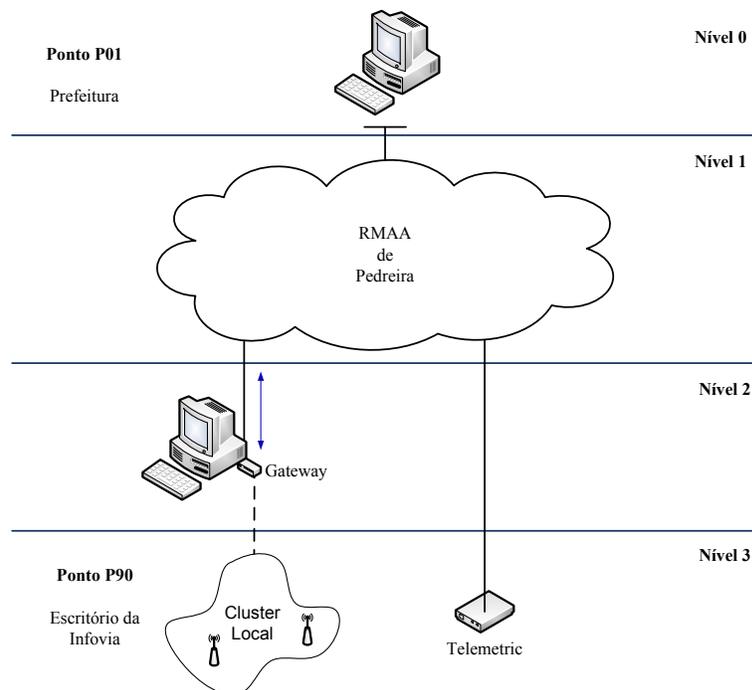


Fig. 6.2: Arquitetura híbrida e hierárquica proposta, mostrando as condições da implementação do estudo de caso.

A arquitetura é composta por quatro níveis, e cada um deles com uma funcionalidade diferente.

No desenvolvimento do sistema de monitoramento e controle apresentado neste estudo de caso, fez-se necessário a utilização de alguns dispositivos eletrônicos e a modelagem de algumas ferramentas computacionais para desenvolver os elementos que compõem os níveis da arquitetura. A seguir é apresentada a descrição de cada um dos níveis da arquitetura nas condições de Pedreira.

### 6.1.1 Nível 0 - Estação de processamento centralizada

A estação de processamento centralizada é responsável pelas atividades no nível 0. Em Pedreira essa estação de processamento foi implantada no CPD da prefeitura. Sua função é processar os dados coletados pelos sensores nos ambientes que estão em monitoramento. Neste caso, apenas o escritório da Infovia. A partir desta estação pode ser feito o acionamento dos terminais atuadores no ambiente remoto. Essa característica permite que o usuário possa intervir no comportamento do ambiente.

O processamento das informações foi feito com o uso de uma ferramenta computacional desenvolvida especialmente para este estudo de caso. Nosso objetivo foi desenvolver uma ferramenta para auxiliar no desenvolvimento deste trabalho, e não desenvolver um *software* para outro uso. Essa ferramenta foi desenvolvida na linguagem JAVA, e tem a capacidade de se comunicar com o *gateway* localizado no ambiente que esta sendo monitorado. A Figura 6.3 apresenta a interface gráfica da ferramenta, onde é possível visualizar o acionamento dos sensores, os botões de controle dos atuadores e também a troca de informação entre a estação de processamento e o *gateway*.

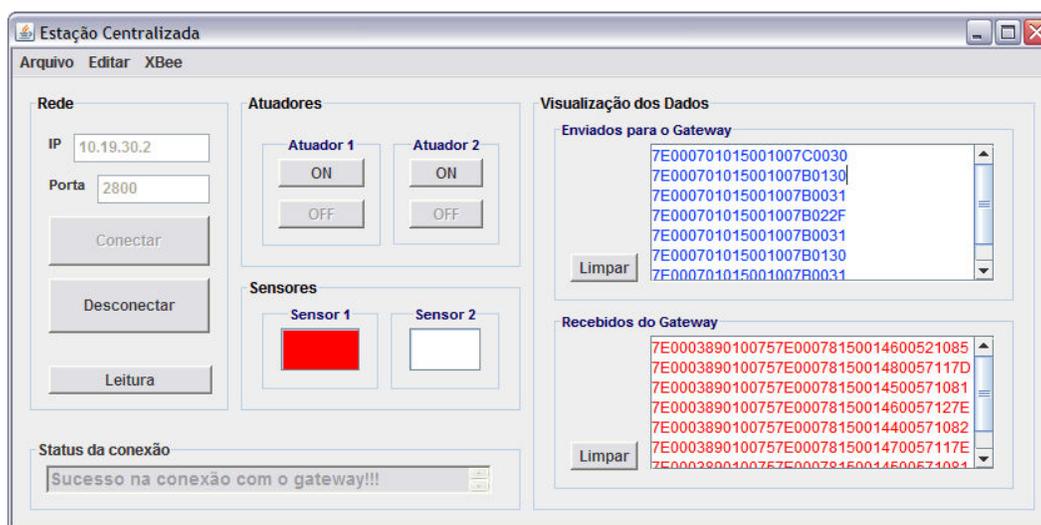


Fig. 6.3: Ferramenta desenvolvida para processamento dos dados e controle dos atuadores.

A comunicação entre a estação de processamento e o *gateway* é estabelecida pelo protocolo TCP, via *socket* JAVA. Os dados referentes aos sensores são armazenados pela aplicação, sendo possível a realização de eventuais consultas. Mais detalhes podem ser vistos no Apêndice A.

### 6.1.2 Nível 1 - RMAA

Este é um nível de acesso, formado pela infraestrutura da rede metropolitana de acesso aberto de Pedreira. Assim, a responsabilidade deste nível da arquitetura é interligar os pontos da cidade utilizados neste estudo de caso. A RMAA de Pedreira possui uma infraestrutura híbrida formada por um *backbone* óptico e pontos de rádio espalhados pelo município. Na Figura 6.1 é apresentada a infraestrutura completa de comunicação da RMAA de Pedreira, assim como a tecnologia empregada para a conexão dos pontos. A comunicação entre o prédio da prefeitura e o prédio do escritório da Infovia é estabelecida através de um *link* de rádio que conecta o escritório da Infovia ao Morro do Cristo (P02), sendo este último conectado ao prédio da prefeitura por meio da rede óptica. A Figura 6.4 apresenta em mais detalhes os utilizados no estudo de caso e a respectiva tecnologia de comunicação de cada um deles.

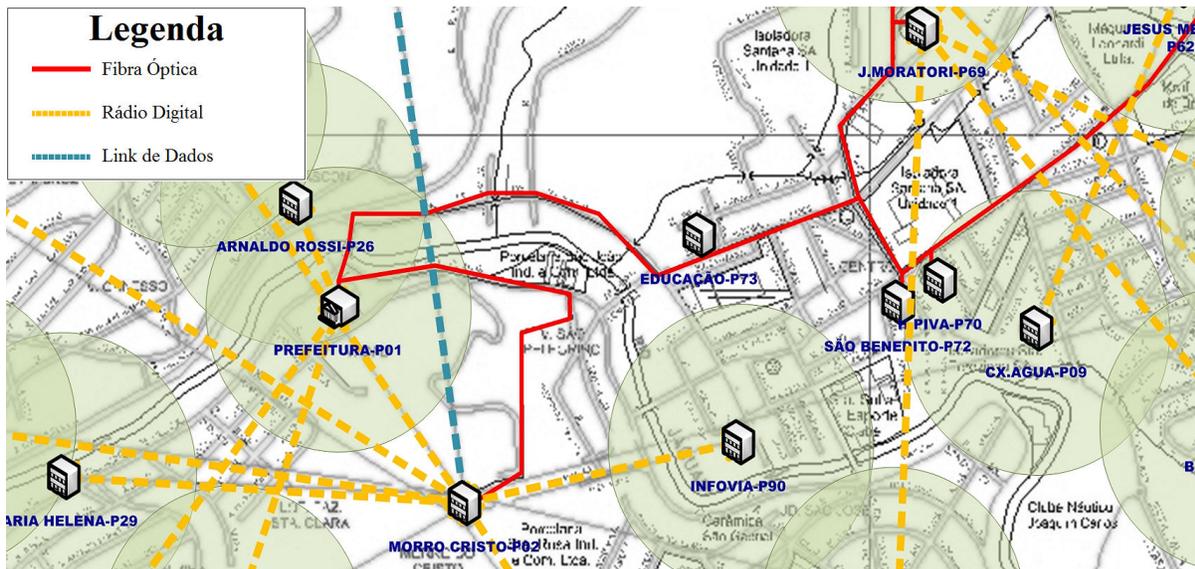


Fig. 6.4: Conexão entre os pontos P01 e P90 através da RMAA.

Uma funcionalidade que foi implementada para monitorar a comunicação entre a estação de processamento e o *gateway*, foi o envio de alertas através de e-mail. Desta forma seria possível determinar quando o monitoramento foi interrompido por falha na comunicação. Durante o período de atividade desse estudo de caso, foram registradas apenas três falhas na comunicação por motivos de problemas na rede, sendo outras falhas causadas por uso indevido do sistema.

### 6.1.3 Nível 2 - Gateway

O nível 2 da arquitetura é composto pelo *gateway*. A interação entre os dois paradigmas de comunicação acontece neste nível, dando a arquitetura proposta o caráter híbrido. No estudo realizado em

Pedreira o *gateway* opera como uma “ponte” transferindo todos os dados da rede IEEE 802.15.4/Zig-Bee para a rede metropolitana de acesso aberto e vice-versa. Nesse trabalho foi utilizado para o desenvolvimento do *gateway* alguns dispositivos eletrônicos e a modelagem de outra ferramenta computacional, usada também para estabelecer a comunicação com a estação de processamento. A seguir serão apresentados os dispositivos utilizados para compor o *gateway* no nível 2.

### Módulos XBee / XBee-PRO

A comunicação entre o *gateway* e os sensores e atuadores do sistema é efetuada por intermédio dos módulos OEM RF XBee e XBee-PRO da Digi International Inc. Estes módulos estão apresentados na Figura 6.5. Os módulos foram desenvolvidos para trabalhar com o padrão IEEE 802.15.4, provendo uma solução confiável de baixo custo e baixo consumo para redes de sensores sem fio.



(a) XBee

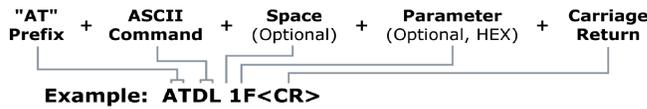


(b) XBee-PRO

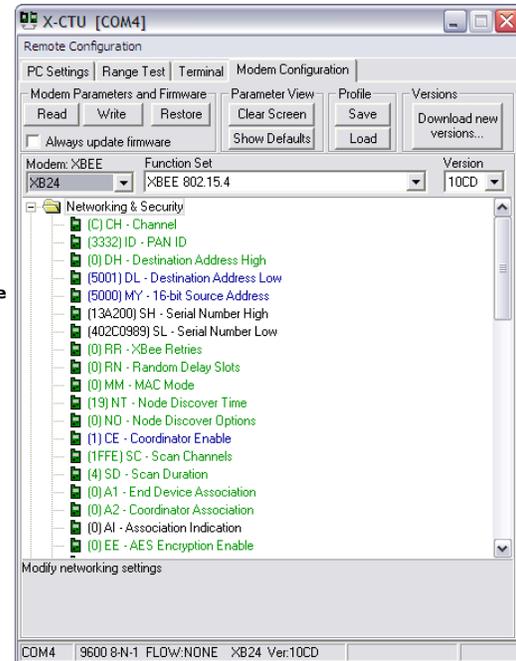
Fig. 6.5: Módulos OEM RF XBee e XBee-PRO da Digi International Inc.

Os parâmetros de configuração dos módulos podem ser modificados ou lidos mediante uma seqüência de comandos AT, utilizando qualquer programa de tipo terminal ou na interface gráfica do programa X-CTU disponibilizada pelo fabricante. A conexão do módulo com o PC é feita através de uma interface RS-232 ou USB, em nosso estudo de caso foi utilizado uma placa USB. A seguir a Figura 6.6 apresenta a sintaxe dos comandos AT e o *software* X-CTU que foi o utilizado para configuração dos parâmetros do módulo em nosso experimento. Mais detalhes sobre as configurações e características destes módulos podem ser vistas no Apêndice B.

O XBee/XBee-PRO possui cerca de 70 parâmetros que são divididos em sete categorias: Rede e segurança, interface RF, modo *sleep*, interface serial, configuração de I/O, diagnóstico e opções dos comandos AT.



(a) Comandos AT

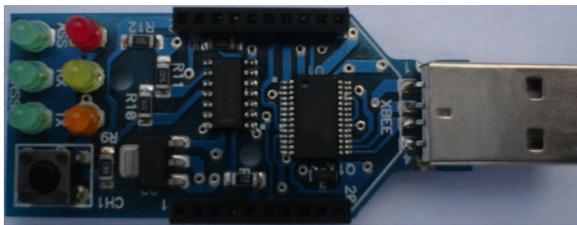


(b) Software X-CTU

Fig. 6.6: Programação com comandos AT ou com o *software* X-CTU.

### Interface serial do *Gateway*

A rede ZigBee foi configurada para operar em topologia estrela, pois o número de terminais utilizados no estudo de caso é pequeno, e pela facilidade que endereçar um determinado terminal. O coordenador da rede é o próprio *gateway*, ou seja, ambos os terminais da rede se comunicam apenas com o coordenador e não entre si. Além desta função o *gateway* também é responsável por coletar os dados e encaminhá-los para a estação de processamento centralizada, e a partir desta receber informações para acionar um dos atuadores, sendo a sua função endereçar a informação ao atuador correto. Para o desenvolvimento do *gateway* foi utilizada uma placa de interface serial USB da RogerCom apresentada na Figura 6.7. Essa interface também foi utilizada para a configuração dos parâmetros dos módulos XBee e XBee-PRO através do *software* X-CTU, como descrito anteriormente.



(a) Placa de Interface USB



(b) Placa e Módulo XBee

Fig. 6.7: Placa de interface USB com e sem módulo XBee.

### Ferramenta desenvolvida

A interface serial coleta os dados através do módulo XBee, sendo está conectada na porta USB de um computador, os dados são encaminhados para a interface de rede deste computador por meio de uma ferramenta computacional desenvolvida também na linguagem JAVA, conforme apresentada sua interface gráfica na Figura 6.8. A interface serial em conjunto com o módulo XBee e a ferramenta desenvolvida constituem o *gateway* da rede.

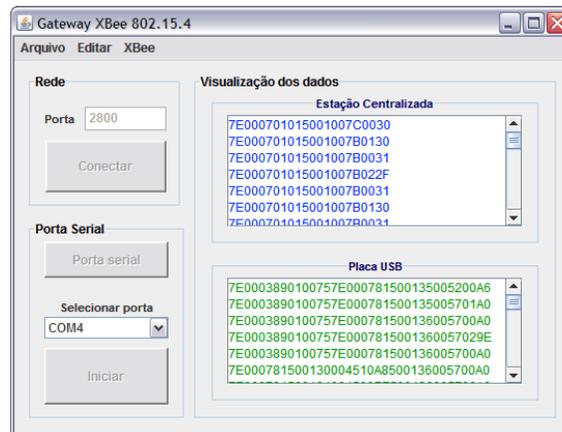


Fig. 6.8: Ferramenta utilizada no desenvolvimento do *gateway*.

Na Figura 6.8 é possível observar a troca de informação entre a ferramenta desenvolvida e a interface serial, os dados que podemos observar na Figura são os *bytes* hexadecimais utilizados na comunicação dos módulos XBee convertidos em uma *string* para apresentação na interface, nota-se que estes possuem um padrão, pois além de informar o acionamento de um sensor na rede, encaminham outras informações para o coordenador (*gateway*), como o endereço do terminal que enviou a informação e a potência do sinal RF recebido no terminal coordenador. A Figura 6.9 apresenta uma visão sistêmica dos elementos que foram utilizados para compor o *gateway*.

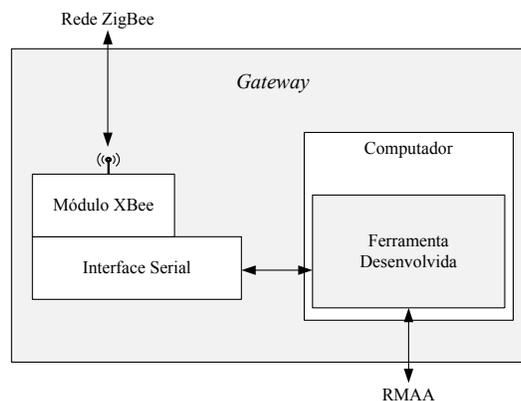


Fig. 6.9: Visão sistêmica dos elementos do *gateway*.

No desenvolvimento do *gateway* o módulo RF, teve alguns parâmetros alterados do padrão de fábrica para atender as necessidades da aplicação. A Tabela 6.2 apresenta quais dos parâmetros foram modificados, e quais valores foram assumidos.

Parâmetro	Gateway (XBee)
MY ( <i>16-bit Source Address</i> )	5000
DL ( <i>Destination Address Low</i> )	5001
NI ( <i>Node Identifier</i> )	GATEWAY-XBEE
CE ( <i>Coordinator Enable</i> )	1 - COORDINATOR
AP ( <i>API Enable</i> )	1 - API ENABLED
BD ( <i>Interface Data Rate</i> )	3 - 9600

Tab. 6.2: Parâmetros configurados no módulo XBee utilizado no *gateway*.

Neste módulo o parâmetro CE, deve estar configurado em coordenador. Outro parâmetro importante é o AP, sendo neste módulo habilitado o modo API. Isso acontece por estarmos trabalhando com mais de um terminal remoto, habilitando modo API é possível montar o pacote hexadecimal e entre os dados desse pacote, passar o endereço do módulo destino. Outra funcionalidade quando habilitamos este parâmetro é o RSSI (*Received Signal Strength Indicator* - indicador da potência do sinal recebido), ou seja, é possível adquirir todas as vezes que um sinal é recebido, a potência com que este sinal chega ao receptor.

### 6.1.4 Nível 3 - Terminais da rede

Os terminais sensores e atuadores constituem o nível 3 da arquitetura híbrida e hierárquica. Em Pedreira foram utilizados dois terminais para a criação do *cluster* local operando em rede ZigBee. No desenvolvimento dos terminais sensores e atuadores foram utilizados três elementos principais. Dois sensores fotoelétricos, um módulo XBee e outro XBee-PRO e duas placas RCOM-HOMEE para conexão (ROGERCOM, 2008). Os módulos XBee e XBee-PRO já foram apresentado anteriormente, os demais elementos serão brevemente descritos a seguir.

#### Sensores fotoelétricos

Foram selecionados para esse trabalho dois sensores fotoelétricos, ambos do mesmo modelo (MINI-BEAM SM2A312D), desenvolvidos pela empresa Banner, baseados nos seguintes critérios de seleção: sensor remoto com alcance de detecção apropriado para nossa aplicação, rápida resposta

de detecção e difuso, ou seja, a detecção é realizada por meio do reflexo diretamente a partir do objeto. A superfície do objeto espalha a luz em todos os ângulos, uma pequena parte é refletida em direção do receptor do sensor, conforme pode ser visto na Figura 6.10. As especificações desse sensor podem ser encontradas em (BANNER, 2007).

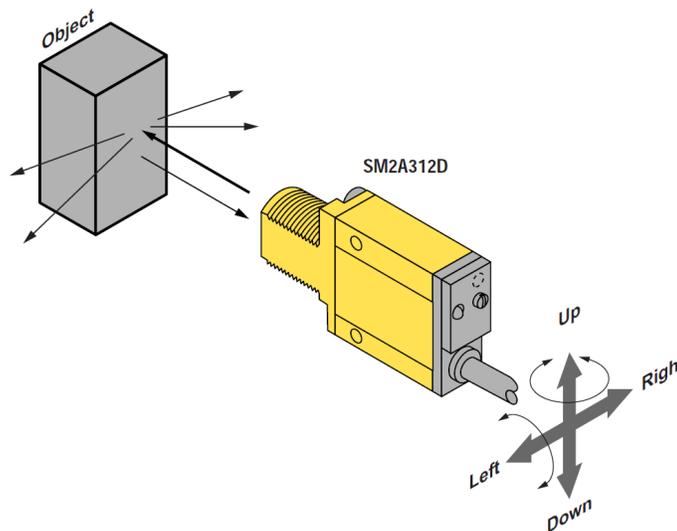


Fig. 6.10: Detecção difusa de um sensor fotoelétrico (BANNER, 2007).

A Figura 6.11(a) mostra o sensor fotoelétrico utilizado em nosso estudo de caso, e a Figura 6.11(b) apresenta uma visão frontal do mesmo, onde é possível identificar através das lentes o emissor de luz e o receptor do sensor.



(a) Sensor Fotoelétrico



(b) Vista frontal do sensor

Fig. 6.11: Sensor fotoelétrico utilizado em Pedreira, e vista frontal mostrando o emissor e receptor de luz.

O alinhamento desses sensores é muito importante para o seu bom funcionamento, principalmente pela forma de detecção difusa, onde o fundo de visão dos sensores deve estar a pelo menos três vezes a distância de onde o objeto será detectado (BANNER, 2007). Isso foi solucionado acoplando os sensores em uma caixa plástica e posicionando-os próximos a entrada do ambiente conforme ilustrado

na Figura 6.12.



Fig. 6.12: Sensor fotoelétrico instalado no ambiente.

### Placas de Conexão

Para conexão dos sensores fotoelétricos e o módulo de comunicação ZigBee foram utilizadas duas placas RCOM-HOMEBE desenvolvidas pela RogerCom. Tais placas foram equipadas com módulos XBee e XBee-PRO, possibilitando a comunicação destas com o *gateway*. Os sensores são conectados a essas placas, que já dispõem de atuadores embarcados no próprio circuito, constituindo os terminais atuadores do *cluster* local. A Figura 6.13 ilustra um terminal utilizando um módulo OEM RF XBee (ROGERCOM, 2008).

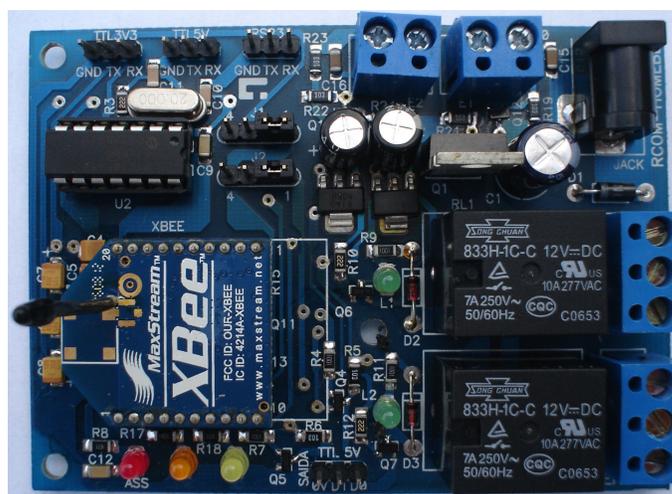


Fig. 6.13: Placa de conexão com o módulo XBee, formando um dos terminais da rede.

A Figura 6.14 apresenta a visão sistêmica dos terminais que foram utilizados em Pedreira. Nesta Figura é possível visualizar a interação entre os sensores fotoelétricos, a placa de conexão e os mó-

dulos de rádio.

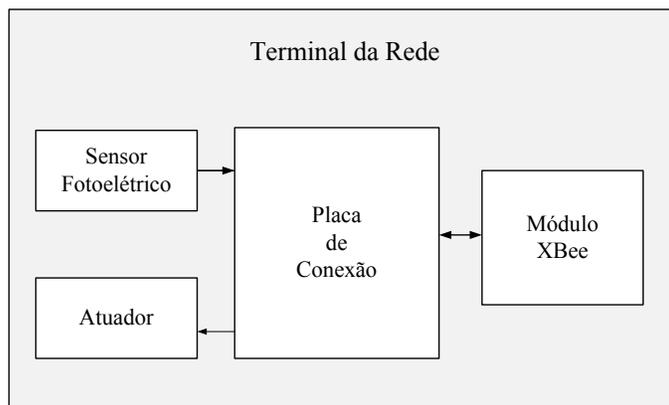


Fig. 6.14: Visão sistêmica dos terminais da rede

Da mesma forma que o módulo do *gateway*, os módulos RF sofreram algumas alterações de configuração para atender a necessidade da aplicação. A Tabela 6.3 apresenta quais parâmetros foram modificados.

Parâmetro	Sensor 1 / Atuador 1 (XBee)	Sensor 2 / Atuador 2 (XBee-PRO)
MY ( <i>16-bit Source Address</i> )	5001	5002
DL ( <i>Destination Address Low</i> )	5000	5000
NI ( <i>Node Identifier</i> )	SENSOR-ATUADOR-1	SENSOR-ATUADOR-2
CE ( <i>Coordinator Enable</i> )	0 - END DEVICE	0 - END DEVICE
AP ( <i>API Enable</i> )	0 - API DISABLED	0 - API DISABLED
BD ( <i>Interface Data Rate</i> )	3 - 9600	3 - 9600

Tab. 6.3: Parâmetros configurados nos módulos XBee e XBee-PRO utilizados nos terminais da rede.

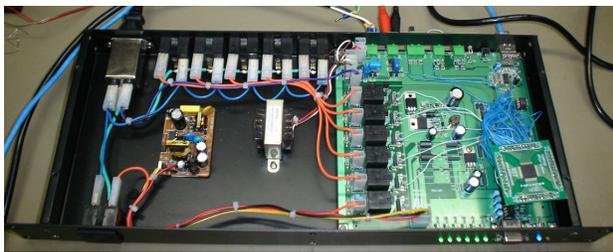
Os módulos utilizados nos terminais da rede têm o parâmetro CE configurado para *end devices*. Assim, operando nas pontas da rede, sem a capacidade de rotear mensagens ou coordenar os demais terminais. O modo API é desabilitado nesses módulos, pois toda informação é transmitida para o coordenador da rede, que no caso é o próprio *gateway*.

## 6.2 Telemetric

O Telemetric é um equipamento desenvolvido pela empresa IgnisCom, com a finalidade de realizar monitoramento e controle de dispositivos remotos. Sua dimensão, de tamanho 1 “U” e capacidade

são específicas para criação de um sistema supervisorio em *racks* com equipamentos. Esse equipamento não estabelece comunicação com a rede ZigBee, tendo seus sensores e atuadores embarcados no próprio equipamento. A Figura 6.2 apresenta o Telemetric utilizado em Pedreira.

Este equipamento foi utilizado em nosso estudo de caso, fazendo parte do nível 3 da arquitetura. Assim, auxiliando os terminais da rede ZigBee no monitoramento e controle. A utilização desse equipamento na composição do nosso estudo de caso reflete o conceito de *SensorNet 2.0* apresentado em Zhao (2006), no sentido da criação de uma rede heterogênea em termos de equipamentos diversificados e que contribuam para o monitoramento e controle do ambiente, que poderiam ser composto por dezenas de outros dispositivos como câmeras IP conectadas diretamente à RMAA.



(a) Circuito do equipamento



(b) Vista superior



(c) Vista traseira do equipamento

Fig. 6.15: Telemetric utilizado para o monitoramento na rede metropolitana de acesso aberto de Pedreira.

Ao contrário das ferramentas desenvolvidos para formação do *cluster* local. O Telemetric possui uma interface *web* embarcada para acesso via *browser* a seus dados para leitura dos sensores e acionamento dos atuadores, além de permitir diversos tipos de configuração como ajuste dos parâmetros das medidas, configuração de e-mail para envio de mensagens, identificação da localização e configurações de rede diversas. A Figura 6.16 apresenta a interface de acesso do Telemetric.

Saídas		Status
Tomada 1	ON	⬇
Tomada 2	ON	⬇
Tomada 3	ON	⬇
Tomada 4	ON	⬇
Tomada 5	ON	⬇
Tomada 6	ON	⬇

Entradas		Status
Entrada 1 ⇒ Sensor 1	FECHADO	⬆
Entrada 2 ⇒ Sensor 2	ABERTO	⬇

(a) Página de análise do monitoramento

(b) Página de configuração do equipamento

Fig. 6.16: Interface *web* do Telemetric para (a) supervisão e (b) configuração.

Utilizando essas interfaces é possível monitorar o status em tempo real dos sensores do Telemetric. O acionamento de dispositivos remotos também pode ser feito pela interface. Em Pedreira esse equipamento foi utilizado para monitorar a tensão da rede de energia elétrica, a temperatura ambiente do prédio e a tensão DC gerada por uma bateria.

### 6.3 Operação do estudo de caso

No estudo de caso realizado em Pedreira, foi monitorado através do *cluster* formado pela rede ZigBee, o fluxo de pessoas no escritório da Infovia. Para isso, os sensores foram colocados próximos

a porta de entrada do ambiente, de forma a indentificar a passagem de qualquer pessoa. O objetivo não foi contar o número de pessoas e nem saber a quantidade de pessoas atendidas pelos funcionários, mas sim, medir a intensidade de pessoas que entravam e saíam do ambiente, inclusive a dos funcionários.

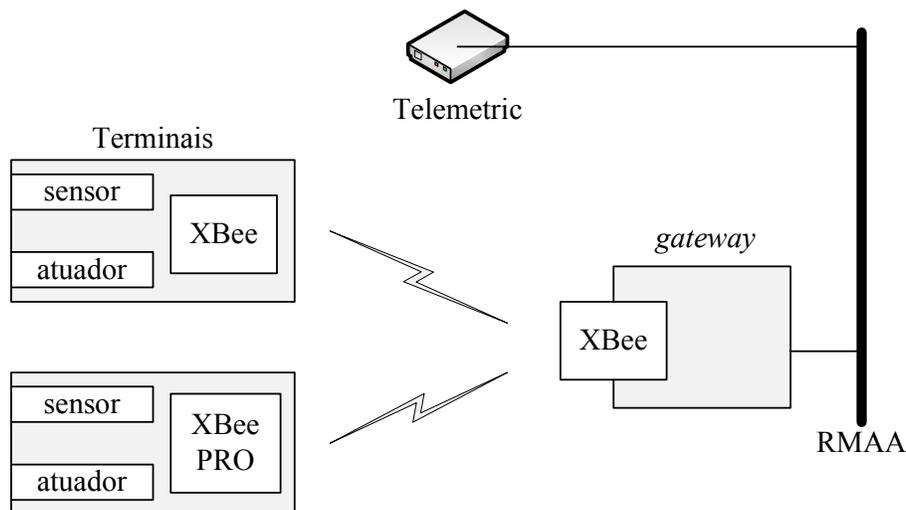


Fig. 6.17: Distribuição dos terminais no escritório da Infovia.

Por estarem próximos um do outro, a utilização de dois sensores acabou sendo redundante para a coleta dos dados. Porém, como cada terminal possui um sensor fotoelétrico e um atuador (relê), foi possível analisar o comportamento dos terminais em relação à rede, como: a troca de informação com o *gateway*, o acionamento de terminais atuadores distintos, utilizando o modo API do *gateway* para endereçar o atuador correto e para identificar os dados coletados do terminal 1 ou terminal 2. O Telemetric também foi utilizado para compor o sistema de monitoramento, sendo utilizado para monitorar a tensão da rede de energia elétrica, temperatura ambiente e tensão DC gerado por uma bateria. Acionamento de dispositivos também são implementados no equipamento utilizado. A Figura 6.17 ilustra a distribuição dos terminais da rede ZigBee e o Telemetric no escritório da Infovia.

### 6.3.1 Forma de processamento utilizada

O forma de processamento adotada no estudo de caso foi o processamento centralizado. Embora tido o recurso de realizar o processamento distribuído, principalmente pelo modelo de *gateway* utilizado, preferiu-se centralizar o processamento, para que a comunicação entre a estação de processamento e o *gateway* fosse constante. O direcionamento dos dados brutos para a estação de processamento foi realizado pela ferramenta computacional desenvolvida para compor o *gateway*.

O sistema centralizado não é tolerante a falhas na comunicação entre o *gateway* e a estação de

processamento. Como mencionado, ocorreram algumas falhas na comunicação entre os ambientes utilizados no município. Neste caso, houve perda de dados coletados durante o período em que não houve comunicação. Embora, utilizado um número reduzido de sensores e com um propósito simples percebemos a fragilidade do sistema em relação ao processamento centralizado.

O processamento distribuído pode ser mais custoso em alguns casos, havendo a necessidade que um sistema de processamento local, em todos os ambientes monitorados. Porém, garante o bom funcionamento do sistema em casos de falhas na comunicação.

### 6.3.2 Interferência eletromagnética

Um fator muito importante que deve ser mencionado é em relação à co-existência de mais de uma tecnologia de comunicação sem fio em um mesmo ambiente, principalmente pelo fato dessas tecnologias operarem na mesma faixa de frequência. Angrisani et al. (2008) apresentam um estudo que trata a questão da interferência eletromagnética entre os padrões IEEE 802.11b e o IEEE 802.15.4, nesta análise se conclui que esses padrões embora operem na mesma frequência podem funcionar sem grandes problemas no mesmo ambiente. A interferência em alguns casos acontece dependendo da proximidade, e geralmente o padrão IEEE 802.15.4 acaba sendo mais prejudicado, devido a sua baixa potência de transmissão.

Em Pedreira tinha-se tal preocupação devido ao fato de muitos pontos na cidade serem conectados à RMAA via *links* de rádio. O objetivo do nosso trabalho não foi fazer um estudo investigativo sobre problemas de interferência. Porém, pela análise dos dados coletados, e pelo uso do estudo de caso na cidade durante o período de funcionamento, não foi notado problemas relacionados com interferência no cenário de aplicação. O que é muito interessante para o desenvolvimento de outras aplicações em cenários similares.

## 6.4 Segurança

A RMAA de Pedreira proporciona uma grande variedade de serviços para a sua população. Assim, é necessário se preocupar com problemas relacionados à segurança da informação. Primeiramente é necessário identificar as vulnerabilidades de segurança da rede e propor a implantação de controles para as falhas. Porém, o alto número de conexões e usuários, a segmentação da rede e o caráter multiserviço da RMAA de Pedreira, dificultam a tarefa de detecção desses problemas. Para resolver esses desafios, Miani (2009) propõe a utilização de métricas de segurança específicas para as RMAA.

Entre as métricas apresentadas, o desenvolvimento de sub-redes para segregar o tráfego entre diferentes tipos de aplicações, foi aplicado em nossa arquitetura proposta. A sub-rede foi implementada

com o auxílio de VLANs criadas em *switches* da rede.

O nome especificado para essa VLAN foi “REDESENSORA” VLAN 30, configurada no *switch* de camada 3 da prefeitura (P01), onde a comunicação com o escritório da Infovia (P90) sai pela porta 21 e com o servidor pela porta 10. No ponto P90 foi configurado o *switch* de camada 2 onde os equipamentos foram conectados a porta 21. A Figura 6.18 ilustra a configuração da VLAN 30 em Pedreira. No Apêndice C é apresentado a carga dos *switches* em cada um dos pontos utilizado em nosso estudo de caso.

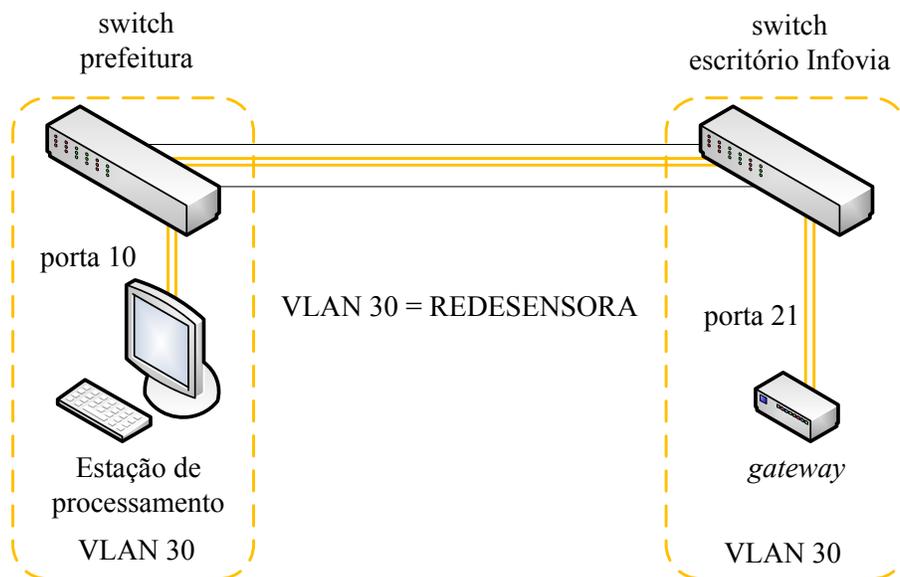


Fig. 6.18: Configuração da VLAN “REDESENSORA” em Pedreira.

## 6.5 Resultados

### Monitoramento do fluxo de pessoas (Rede ZigBee)

O sistema de supervisão do fluxo de pessoas no escritório da Infovia de Pedreira, não foi utilizado pela prefeitura da cidade como um serviço disponível. Simplesmente foi utilizado como estudo de caso de uma arquitetura híbrida e hierárquica de rede de sensores aplicada em um cenário metropolitano. A seguir serão apresentados alguns resultados desse monitoramento. O monitoramento foi realizado no período entre Outubro de 2009 e Dezembro de 2009.

A Figura 6.19 apresenta o fluxo de pessoas no escritório da Infovia no dia 07 de Dezembro de 2009. Neste dia foi monitorado a presença de pessoas a partir das 07:00 e o último registro ocorreu as 17:59. É possível observar na Figura uma grande redução no fluxo de pessoas durante as 12:00 e a

partir das 16:00.

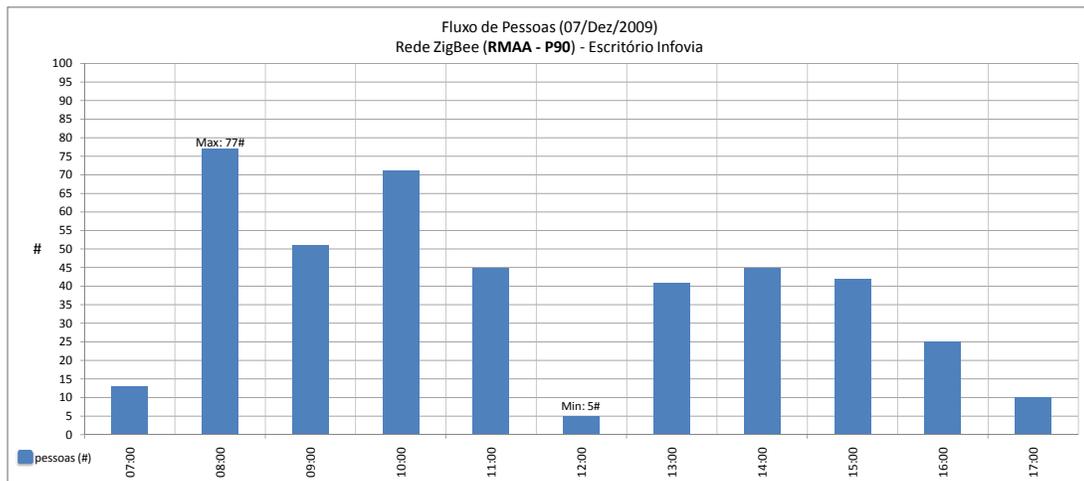


Fig. 6.19: Monitoramento do fluxo de pessoas durante um dia.

A Figura 6.20 apresenta o resultado da média do fluxo de pessoas durante todos os dias úteis do mês de Dezembro de 2009. A média apresentada é a média horária. Podemos observar nesse gráfico também que a média horária do fluxo de pessoas tem um padrão definido. Assim, se observarmos, existe uma grande redução do fluxo durante as 12:00 e ao final da tarde, o fluxo começa a cair novamente.

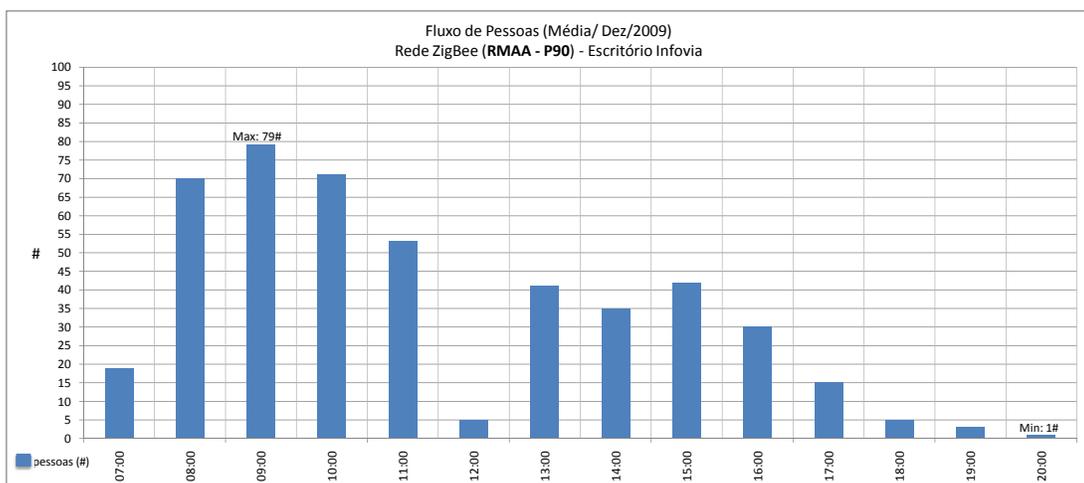


Fig. 6.20: Média horária do fluxo de pessoas durante o mês de Dezembro de 2009.

A Figura 6.21 apresenta o resultado da média diária em um período de uma semana. Os resultados foram obtidos no monitoramento realizado durante a semana do dia 7 ao dia 13 de Dezembro de 2009.

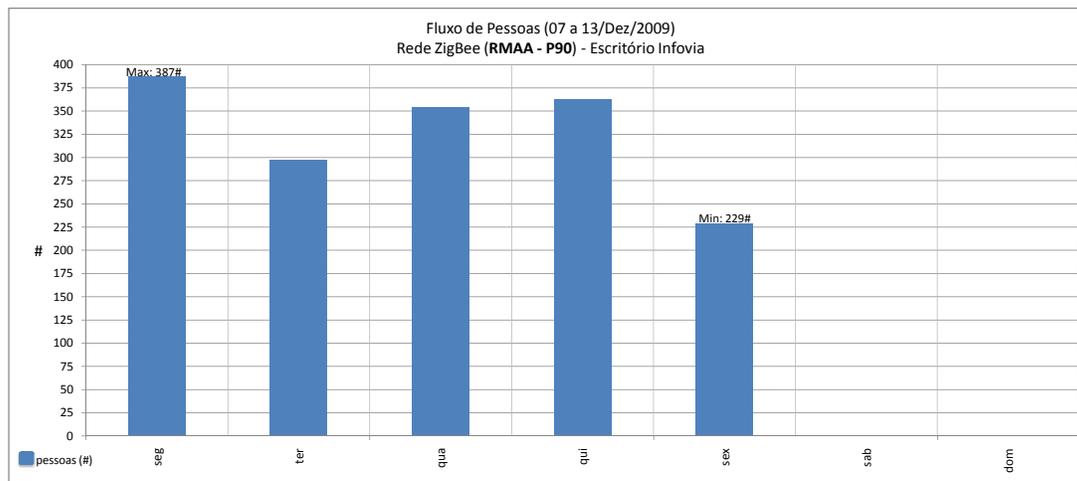


Fig. 6.21: Monitoramento do fluxo de pessoas em uma semana.

### Monitoramento utilizando o Telemetric

O Telemetric por ser um equipamento de maior porte, apresenta alguns recursos mais robustos. Ele possui um voltímetro AC e um voltímetro DC, cujos valores de tensão podem ser monitorados tanto pela interface *web* do equipamento ou via protocolo SNMP, o mesmo acontece para o termômetro. Por fim, o Telemetric possui seis tomadas para acionamento de dispositivos. A seguir serão apresentados alguns dos resultados do monitoramento utilizando o Telemetric.

A Figura 6.22 apresenta o monitoramento da tensão AC em um período de quatro horas, podemos ver a variação da tensão em relação ao tempo.

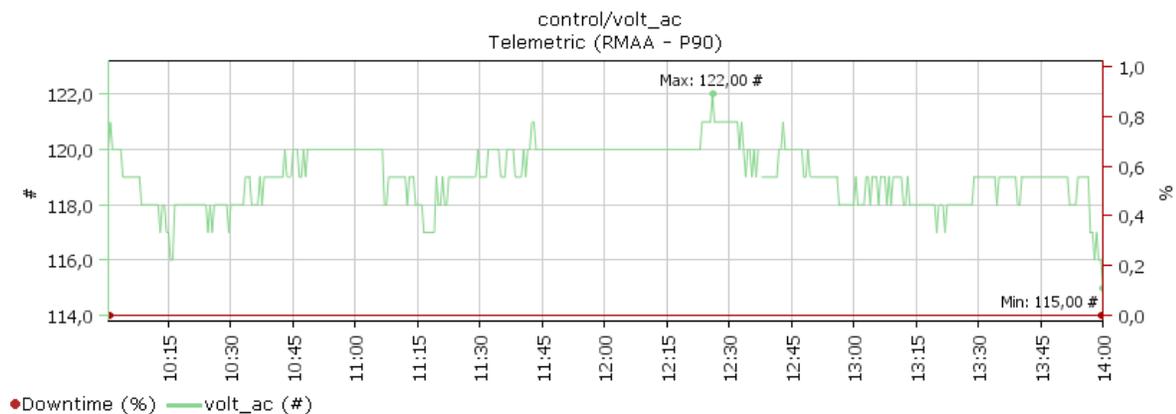


Fig. 6.22: Monitoramento da tensão AC em um período de quatro horas.

A Figura 6.23 mostra a quantidade de vezes que o dispositivo 1 (tomada 1) foi acionado, ou seja,

é possível visualizar e armazenar os dados referentes ao acionamento de dispositivos.

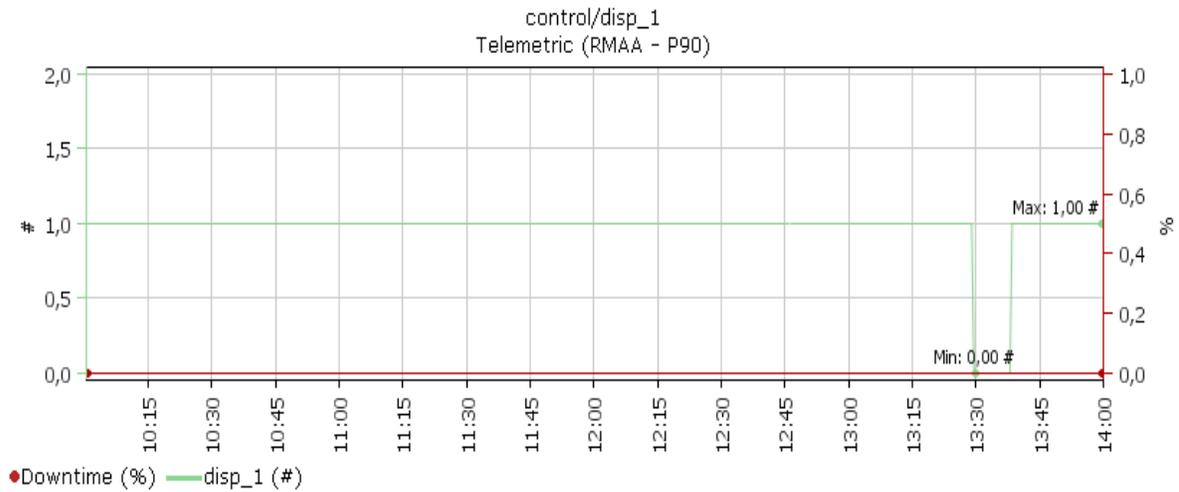


Fig. 6.23: Monitoramento do acionamento do dispositivo 1, em um período de quatro horas.

A Figura 6.24 apresenta o gráfico do monitoramento da temperatura ambiente no escritório da Infovia. Os dados apresentados foram coletados durante um período de quatro horas.

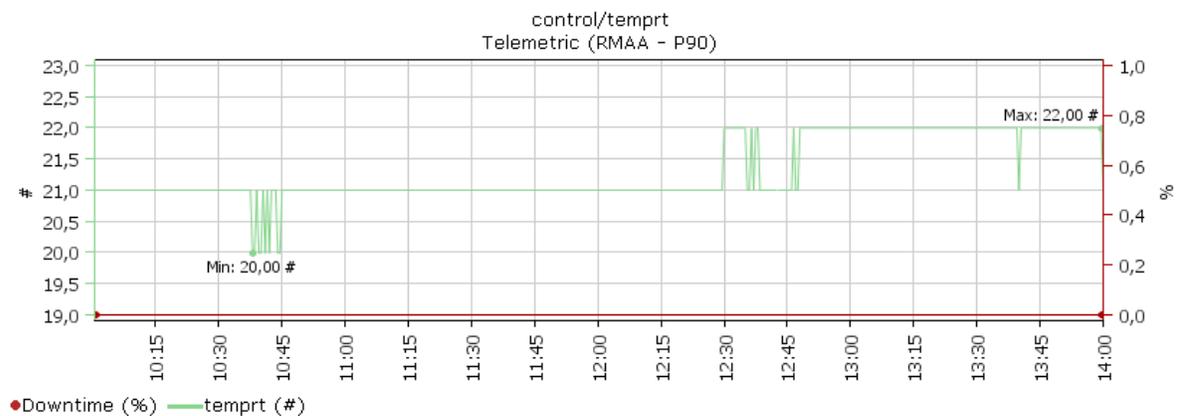


Fig. 6.24: Monitoramento da temperatura ambiente em um período de quatro horas.

## 6.6 Considerações finais

No estudo de caso apresentado foi desenvolvido um sistema para supervisão do fluxo de pessoas em um prédio do setor público da cidade de Pedreira. Neste estudo de caso, dois sensores foram posicionados de forma a detectar a entrada e a saída das pessoas nesse ambiente. Tais sensores constituíam os terminais de uma rede ZigBee. Esses mesmos terminais eram equipados com elementos

atuadores, que não foram muito explorados no estudo de caso, pois apenas seus relês eram acionados, para evitar o uso indevido do sistema.

Todo o estudo de caso foi implementado baseado na arquitetura híbrida e hierárquica proposta no Capítulo 5. A Utilização do Telemetric também faz parte do conceito de *SensorNet2.0* que é abordado em vários pontos desse trabalho, em conjunto com a presença de terminais atuadores para compor a rede de monitoramento e controle.

Questões relacionadas à interferência eletromagnética foram apresentadas superficialmente, devido à utilização de mais de uma tecnologia de comunicação sem fio no mesmo ambiente. A forma de processamento das informações utilizada no estudo de caso foi apresentada, e qual os problemas que encontramos em nossa escolha.

A segurança da informação em um sistema de monitoramento é muito importante, principalmente com a presença de terminais atuadores. Para minimizar problemas relacionados à segurança foi criada uma VLAN específica para monitoramento e controle no cenário de Pedreira.

O objetivo do estudo de caso, não foi propor um sistema de monitoramento do fluxo de pessoas para utilização da prefeitura ou de seus setores. Mas sim, validar a arquitetura híbrida e hierárquica proposta nesse trabalho. Todas as questões avaliadas tiveram o objetivo de prever futuros problemas nas aplicações reais da arquitetura.

# Capítulo 7

## Conclusões e trabalhos futuros

Atualmente os estudos relacionados com rede de sensores podem ser divididos em duas áreas. Uma delas esta voltada para estudos intrínsecos em redes de sensores, buscando aperfeiçoamento de *hardware* em dispositivos terminais, pesquisas de novos materiais utilizados para o desenvolvimento dos sensores, desenvolvimento de protocolos e algoritmos utilizados na comunicação entre terminais, aumento na capacidade de processamento computacional e principalmente conseguir atingir todas as modernidades apresentadas e garantir níveis de consumo de energia cada vez menores. A outra área de estudo são pesquisas relacionadas com a aplicação de rede de sensores nas mais diversificadas áreas do conhecimento humano. Motivado pelo resultado das pesquisas dos estudos intrínsecos, o número de trabalhos e publicações que tratam da aplicação das redes de sensores e atuadores têm crescido muito. Com o desenvolvimento de novas tecnologias e custos de produção reduzidos, mais aplicações surgem, trazendo grandes benefícios em todas as áreas.

Este trabalho está direcionado para a área de aplicação de rede de sensores/atuadores, foi proposta uma arquitetura híbrida e hierárquica para aplicação em cenários metropolitanos, onde dois paradigmas de comunicação foram utilizados para modelagem, redes metropolitanas de acesso aberto (RMAA) e redes pessoais de baixa taxa de transmissão (LR-WPAN). Outros trabalhos, propõem soluções para ambientes deste gênero, mas não são flexíveis como nossa proposta em termos de escalabilidade, densidade de sensores e atuadores em áreas de interesse, e principalmente pela capacidade de concentração de informação de diversos ambientes em um único, dentro do cenário metropolitano sem a utilização de outros recursos como a Internet ou GPRS.

Outro aspecto importante do nosso modelo é a reutilização de recursos já disponíveis no cenário de aplicação. Essa característica e outras como a presença de terminais atuadores na composição da rede, a utilização de equipamentos auxiliares e a fácil disseminação da informação coletada por meio das RMAAs contribuem para a contextualização de um novo conceito de rede de sensores a *SensorNet 2.0* apresentada em (Zhao, 2006).

Baseada na arquitetura proposta, foi apresentado também um estudo de caso realizado na cidade de Pedreira - SP, cujo objetivo foi demonstrar uma aplicação simples da arquitetura proposta, porém que contribuísse para o aprendizado nesta área. Em nossa implementação foi utilizado diversos recursos de *hardware* e *software* para implementar o que chamamos de *cluster* local, formado por uma rede ZigBee. Outro equipamento que também complementou nosso estudo, foi o Telemetric, sendo este um equipamento de maior porte, com a capacidade de monitoramento e controle conectado diretamente à RMAA. No caso do *cluster* local foram utilizados sensores fotoelétricos acoplados aos terminais, para desenvolver um sistema de supervisão do fluxo de pessoas em um prédio do setor público da cidade. Esta rede é constituída também por dois terminais atuadores, com a capacidade de acionar outros equipamentos. O Telemetric foi utilizado para monitorar grandezas como: a temperatura do ambiente, comportamento da rede de energia elétrica e monitorar tensão DC, além de possuir seis tomadas que podiam ser controladas remotamente por meio de uma interface *web* via RMAA. Alguns resultados desse estudo de caso também foram apresentados em nosso trabalho, resultados esses, que são apresentados de forma bruta, ou seja, nenhum estudo foi realizado sobre desses dados.

## 7.1 Sugestões para trabalhos futuros

Alguns trabalhos podem ser desenvolvidos para complementar nosso modelo, e também baseado nas dificuldades encontradas para o desenvolvimento do estudo de caso, algumas melhorias podem ser empregadas em próximas implementações, dentre as quais podemos mencionar:

- O desenvolvimento de sistemas de monitoramento e controle para uso real das prefeituras municipais, e seus cidadãos. Assim, é necessário investigar quais são as verdadeiras necessidades do município, quais as soluções viáveis de implantação e quais benefícios podem trazer um sistema como este.
- Nesse trabalho foi proposto uma arquitetura capaz de coletar os dados de ambientes do cenário metropolitano. No estudo de caso e na própria descrição da arquitetura não foi levado em consideração o tratamento de toda informação extraídas dos ambientes. Recursos computacionais podem ser aplicados sobre esses dados a fim de reconhecer padrões de comportamento dos ambientes e também das pessoas que com eles interagem. Para isso, estudos de algoritmos de mineração de dados e redes neurais podem ser utilizados para essa finalidade em trabalhos futuros.

- O *gateway* utilizado no estudo de caso, não é funcional para algumas aplicações, e sua estrutura acaba sendo muito complexa, utilizando de vários recursos para sua construção. Uma solução agradável, e com utilização em quase todas as aplicações, é o desenvolvimento de um *gateway* que tenha a funcionalidade padrão, mas que possa ser utilizado também para realizar o processamento local de toda informação coletada na rede. Assim, apenas dados de status da rede precisam ser reportados para a estação centralizada.
- Para gerenciar uma quantidade alta de ambientes e permitir que os dados possam ser consultados pelos usuários, é preciso o desenvolvimento de uma aplicação robusta, capaz de lidar com diferentes tipos de dados e tecnologias de rede.

# Referências Bibliográficas

- Aboelaze, M. and Aloul, F. (2005). Current and future trends in sensor networks: a survey. *Wireless and Optical Communications Networks, 2005. WOCN 2005. Second IFIP International Conference on*, pages 551–555.
- Alexiou, A., Bouras, C., Igglesis, V., Kapoulas, V., Paraskeuas, M., Scopoulis, I., and Papagiannopoulos, J. (2005). Deployment of broadband infrastructure in the region of western greece. In *Broadband Networks, 2005 2nd International Conference on*, pages 1510–1515Vol.2.
- Angrisani, L., Bertocco, M., Fortin, D., and Sona, A. (2008). Experimental study of coexistence issues between ieee 802.11b and ieee 802.15.4 wireless networks. *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on*, 57(8):1514 –1523.
- BANNER (2007). [online] Banner Engineering Corp., especificação de equipamento modelo: SM2A312D. Disponível em: <http://www.bannerengineering.com/en-US/products/16/Industries/86/Semiconductor/160/MINI-BEAM-AC> [Acessado em 22/09/2009].
- Bauer, J., P., G., Kim, J., Muth, A. T., and Wildman, S. S. (2002). Broadband: Benefits and policy challenges. Technical report, Michigan State University.
- Chandramohan, V. and Christensen, K. (2002). A first look at wired sensor networks for video surveillance systems. In *Local Computer Networks, 2002. Proceedings. LCN 2002. 27th Annual IEEE Conference on*, pages 728–729.
- Chong, C.-Y. and Kumar, S. (2003). Sensor networks: evolution, opportunities, and challenges. *Proceedings of the IEEE*, 91(8):1247–1256.
- Das, S. and Cook, D. (2006). Designing and modeling smart environments. *World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks, 2006. WoWMoM 2006. International Symposium on a*, pages 5 pp.–494.
- Davison, J., Peters, J., Bhatia, M., Kalidindi, S., and Mukherjee, S. (2008). *Fundamentos de VoIP*.

- Digi (2008). [online] Digi International Inc. IEEE 802.15.4 OEM RF Modules by Digi International. Disponível em: <http://www.digi.com/products/wireless/point-multipoint/xbee-series1-module.jsp> [Acessado em 10/10/2009].
- Du, X. and Chen, H.-H. (2008). Security in wireless sensor networks. volume 15, pages 60 –66.
- Elson, J. and Estrin, D. (2004). *Sensor Networks: A Bridge to the Physical World*. Springer US, pages 3-20, C. S. Raghavendra, Krishna M. Sivalingam and Taieb Znati.
- Estrin, D., Culler, D., Pister, K., and Sukhatme, G. (2002). Connecting the physical world with pervasive networks. *Pervasive Computing, IEEE*, 1(1):59–69.
- Ferrari, P., Flammini, A., Marioli, D., and Taroni, A. (2006). Ieee802.11 sensor networking. *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on*, 55(2):615–619.
- Ford, G. S. and Koutsky, T. M. (2005). Broadband and economic development: a municipal case study from florida. *Review of Urban & Regional Development Studies*, 17(3):216–229.
- Gniadek, A., Li, Y., Lung, C.-H., and Wei, Q. (2008). A web services-based infrastructure for traffic monitoring using zigbee. *Sensor Technologies and Applications, 2008. SENSORCOMM '08. Second International Conference on*, pages 562–567.
- Golmie, N., Cypher, D., and Rejala, O. (2004). Performance evaluation of low rate wpans for medical applications. In *Military Communications Conference, 2004. MILCOM 2004. IEEE*, volume 2, pages 927–933 Vol. 2.
- Gutiérrez, J. A. (2007). On the use of ieee std. 802.15.4 to enable wireless sensor networks in building automation. *International Journal of Wireless Information Networks*, Volume 14:295–301.
- Heegard, C., Coffey, J., Gummadi, S., Murphy, P., Provencio, R., Rossin, E., Schrum, S., and Shoemake, M. (2001). High performance wireless ethernet. *Communications Magazine, IEEE*, 39(11):64–73.
- IEEE-Standard-802.11 (2009). Ieee standard for information technology - telecommunications and information exchange between systems - local and metropolitan area networks - specific requirements. part 11: Wireless lan medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications. *IEEE Std 802.11w-2009 (Amendment to IEEE Std 802.11-2007 as amended by IEEE Std 802.11k-2008, IEEE Std 802.11r-2008, and IEEE Std 802.11y-2008)*, pages C1–91.

- IEEE-Standard-802.16 (2004). Ieee standard for local and metropolitan area networks part 16: Air interface for fixed broadband wireless access systems. *IEEE Std 802.16-2004 (Revision of IEEE Std 802.16-2001)*, pages 001–857.
- Kramer, R. D. J., Lopez, A., and Koonen, A. M. J. (2006). Municipal broadband access networks in the netherlands - three successful cases, and how new europe may benefit. In *AcessNets '06: Proceedings of the 1st international conference on Access networks*, page 12, New York, NY, USA. ACM.
- Lansford, J. (2000). Homerf(tm)/swap: a wireless voice and data system for the home. In *Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2000. ICASSP '00. Proceedings. 2000 IEEE International Conference on*, volume 6, pages 3718–3721 vol.6.
- Lawrence, E., Bina, M., Culjak, G., and El-Kiki, T. (2007). Wireless community networks: Public assets for 21st century society. In *ITNG '07: Proceedings of the International Conference on Information Technology*, pages 166–174, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
- Leopold, M., Dydensborg, M. B., and Bonnet, P. (2003). Bluetooth and sensor networks: a reality check. In *SenSys '03: Proceedings of the 1st international conference on Embedded networked sensor systems*, pages 103–113, New York, NY, USA. ACM.
- Loureiro, A. A., Nogueira, J. M. S., Ruiz, L. B., de Freitas Mini, R. A., Nakamura, E. F., and Figueiredo, C. M. S. (2002). Redes de sensores sem fio. *XXI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, pages 179–226.
- Ma, L. and Jia, D. (2005). The competition and cooperation of wimax, wlan and 3g. In *Mobile Technology, Applications and Systems, 2005 2nd International Conference on*, pages 1–5.
- Mainwaring, A., Culler, D., Polastre, J., Szewczyk, R., and Anderson, J. (2002). Wireless sensor networks for habitat monitoring. In *WSNA '02: Proceedings of the 1st ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications*, pages 88–97, New York, NY, USA. ACM.
- Martinez, D., Blanes, F., Simo, J., and Crespo, A. (2008). Wireless sensor and actuator networks: Charecterization and case study for confined spaces healthcare applications. In *Computer Science and Information Technology, 2008. IMCSIT 2008. International Multiconference on*, pages 687–693.
- McDermott-Wells, P. (2005). What is bluetooth? *Potentials, IEEE*, 23(5):33–35.
- Mendes, L. (2006). Infovia municipal: Um novo paradigma em comunicações. In *State University of Campinas. School of Electrical and Computer Engineering*.

- Mendes, L., Inocência, A., Panhan, A., and Tilli, M. (2008). Bringing together digital cities and open access mans. *The 2008 Networking and Electronic Commerce Research Conference*, 1.
- Miani, R. (2009). Aplicação de métricas à análise de segurança em redes metropolitanas de acesso aberto. Master's thesis, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).
- Michel, B., Becker, T., and Schmid, U. (2008). Special issue of the conference smart sensors, actuators and mems, maspalomas, gran canaria, spain, 2&#x2013;4 may 2007. *Microsyst. Technol.*, 14(4):439–439.
- Moreira, R. B. (2007). Análise de técnicas de localização em rede de sensores sem fio. Master's thesis, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação.
- Morreale, P. (2008). Street corners: Architecture for correlation of networked environmental sensors. *Systems Conference, 2008 2nd Annual IEEE*, pages 1–6.
- Murty, R., Mainland, G., Rose, I., Chowdhury, A., Gosain, A., Bers, J., and Welsh, M. (2008). City-sense: An urban-scale wireless sensor network and testbed. *Technologies for Homeland Security, 2008 IEEE Conference on*, pages 583–588.
- Nanotron (2009). [online] Nanonet Specification. Disponível em: <http://www.nanotron.com> [Acessado em 20/10/2009].
- Nuggehalli, P., Srinivasan, V., and Rao, R. (2006). Energy efficient transmission scheduling for delay constrained wireless networks. *Wireless Communications, IEEE Transactions on*, 5(3):531–539.
- Rahman, M., Alhamid, M., Gueaieb, W., and El Saddik, A. (2009). An ambient intelligent body sensor network for e-health applications. pages 22 –25.
- ROGERCOM (2008). [online] RogerCom, Disponível em: <http://www.rogercom.com.br> [Acessado em 20/02/2009].
- Tanenbaum, A. (2002). *Computer Networks*. Prentice Hall Professional Technical Reference.
- Tsou, Y.-P., Hsieh, J.-W., Lin, C.-T., and Chen, C.-Y. (2006). Building a remote supervisory control network system for smart home applications. *Systems, Man and Cybernetics, 2006. SMC '06. IEEE International Conference on*, 3:1826–1830.
- Verdone, R., Dardari, D., Mazzini, G., and Conti, A. (2008). *Wireless Sensor and Actuator Networks: Technologies, Analysis and Design*. Academic Press.

- VoIP (2009). [online] Aprenda sobre Voip e saiba como economizar na conta de telefone. Disponível em: [http://www.igf.com.br/aprende/dicas/dicasResp.aspx?dica\\\_Id=363](http://www.igf.com.br/aprende/dicas/dicasResp.aspx?dica\_Id=363) [Acessado em 17/10/2009].
- Wang, D., Lu, Y., Zhang, H., Shuliang, C., and Han, Y. (2005). A wireless sensor network based on bluetooth for telemedicine monitoring system. volume 2, pages 1361 – 1364 Vol. 2.
- Woodings, R. and Pandey, M. (2006). Wirelessusb: a low power, low latency and interference immune wireless standard. In *Wireless Communications and Networking Conference, 2006. WCNC 2006. IEEE*, volume 3, pages 1367–1373.
- Xia, F., Tian, Y.-C., Li, Y., and Sung, Y. (2007). Wireless sensor/actuator network design for mobile control applications. *Sensors*, 7(10):2157–2173.
- Yang, B. (2009). Study on security of wireless sensor network based on zigbee standard. volume 2, pages 426 –430.
- Yu Wang, Weizhao Wang, D. T. (2005). Truthful routing for wireless hybrid networks. volume 6, pages 5 pp. –3465.
- Zhang, X. and Riley, G. F. (2004). Bluetooth simulations for wireless sensor networks using gtnets. In *MASCOTS '04: Proceedings of the The IEEE Computer Society's 12th Annual International Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunications Systems*, pages 375–382, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
- Zhao, F. (2006). *Sensornet 2.0: The new frontier*. pages xviii –xviii.
- ZigBee-Alliance (2009). [online] ZigBee Specification. Disponível em: <http://www.zigbee.org/Products/DownloadTechnicalDocuments/tabid/465/Default.aspx> [Acessado em 17/10/2009]. Document 053474r17.

# Apêndice A

## Ferramentas desenvolvida em Java

### Fluxograma da ferramenta

A ferramenta de processamento dos dados desenvolvida possui uma interface gráfica de fácil visualização das funcionalidades. Aqui é apresentado na Figura A.1 o fluxograma da ferramenta para melhor compreensão do seu funcionamento.

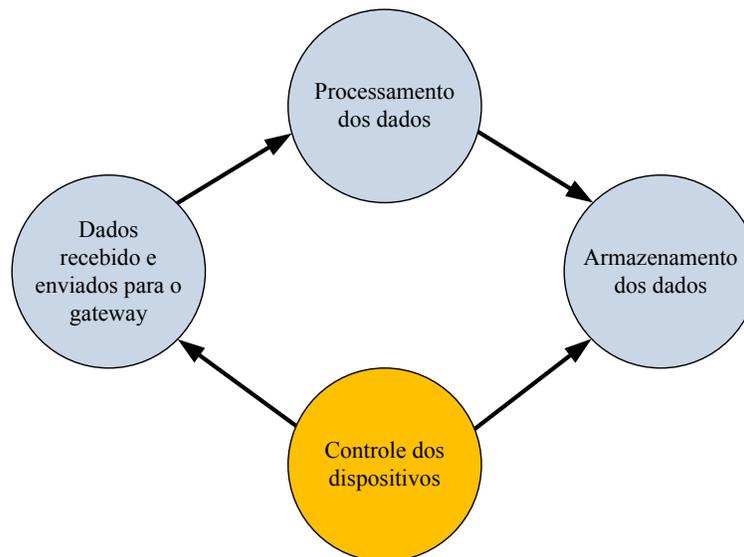


Fig. A.1: Fluxograma da ferramenta de processamento dos dados.

### Código JAVA

Neste apêndice apresentamos as principais partes do código desenvolvido para as ferramentas computacionais do *gateway* e estação de processamento centralizada. A linguagem utilizada foi o

JAVA versão jdk1.6.0-11. O código fonte completo, incluindo as bibliotecas utilizadas encontram-se disponíveis para download em:

<http://www.decom.fee.unicamp.br/~felipe/downloads.html>.

```

/**Método utilizado para seleção da porta serial*/
void connect ( String portName ) throws Exception
{
CommPortIdentifier portIdentifier=CommPortIdentifier.getPortIdentifier(portName);
if ( portIdentifier.isCurrentlyOwned() )
{
System.out.println("ERRO: _Essa_Porta_esta_sendo_usada");
}
else
{
CommPort commPort = portIdentifier.open(this.getClass().getName(),2000);
if ( commPort instanceof SerialPort )
{
SerialPort serialPort = (SerialPort) commPort;
serialPort.setSerialPortParams(9600, SerialPort.DATABITS_8,
SerialPort.STOPBITS_1, SerialPort.PARITY_NONE);

System.out.println("Porta_Aberta_com_sucesso");

InputStream in = serialPort.getInputStream();
leitura = in;
OutputStream out = serialPort.getOutputStream();
escrita = out;

serialPort.addEventListener(new SerialReader(leitura , jTextArea2));

serialPort.notifyOnDataAvailable(true);
}
else
{
System.out.println("Erro: _Apenas_portas_seriais_podem_ser_utilizadas.");
}
}
}

/**Classe de leitura da interface serial*/
public class SerialReader implements SerialPortEventListener
{
private InputStream in;
private JTextArea areaLeitura;
private byte [] le = new byte [18];

public SerialReader ( InputStream in, JTextArea areaTexto )
{
this.in = in;
this.areaLeitura = areaTexto;
}
}

```

```
}

public void serialEvent(SerialPortEvent arg0) {
int data = 0;

try
{
    int len = 0;
    boolean read = false;
    boolean write = false;

    while (( data = in.read()) > -1 )
    {
        if ( data == '\n' )
        {
            break;
        }

        le[len++] = (byte) data;

        if (le[2]==0x07 )
        {
            read = true;
            write = false;
        }

        if (le[2]==0x03)
        {
            read = false;
            write = true;
        }

        if (read == true)
        {
            if (len >= 11)
            {
                break;
            }
        }

        if (write == true)
        {
            if (len >=18)
            {
                break;
            }
        }
    }

try
{
    if (emails == false)
    {
```

```

    (new Thread(new Mail())).start();
}
else
{
    System.out.println("It's already working");
}
    String valor1 = HexUtil.byteArrToHex(1e);
    this.areaLeitura.append(valor1 + "\n");
    EscreveLog(valor1);
    writeData.writeObject(valor1);
    writeData.flush();
}

catch ( IOException e )
{
    e.printStackTrace();
}

catch ( IOException e )
{
    e.printStackTrace();
    System.exit(-1);
}
}

/**Classe para escrita na interface serial*/
public class SerialWriter implements Runnable
{
    OutputStream out;
    private JTextArea areaEscrita;
    private byte[] escreve = new byte[18];

    public SerialWriter ( OutputStream out, JTextArea areaTexto)
    {
        this.out = out;
        this.areaEscrita = areaTexto;
    }

    public void run ()
    {
        try
        {
            escreve = HexUtil.hexToByteArr(dataReceived);
            this.areaEscrita.append(dataReceived + "\n");
            this.out.write(escreve);
        }
        catch ( IOException e )
        {
            e.printStackTrace();
        }
    }
}

```

```
}
}

/**Comunicação via socket JAVA, gateway e estação centralizada*/
public class ObjServer implements Runnable
{
    private int port;
    private Socket currentsocket=null;
    private ObjectInputStream input=null;
    private ObjectOutputStream output=null;

    public ObjServer ( int comPort)
    {
        this.port = comPort;
        System.out.println(port);
    }

    public void run ()
    {
        ServerSocket serversocket = null;

        try
        {
            serversocket = new ServerSocket(port);
        }
        catch(Exception e)
        {
            System.out.println( "Couldn't_create_server_socket:_Exception:_" + e );
            System.exit(1);
        }

        try
        {

            while (true)
            {
                System.out.println("Waiting_for_client_connection.");
                conex = true;

                try
                {
                    currentsocket = serversocket.accept();
                    output = new ObjectOutputStream(currentsocket.getOutputStream());
                    writeData = output;
                    output.flush();
                    input = new ObjectInputStream(currentsocket.getInputStream());

                    System.out.println("New_client_connection_established.");
                    output.writeObject("Sucesso_na_conexão_com_o_gateway!!!");

                    while (true)
                    {
                        dataReceived = (String)input.readObject();
```

```
        //System.out.println("Client said: \"" + dataReceived + "\"");
(new Thread(new SerialWriter(escrita ,jTextArea1))).start();
    }

    }
    catch (Exception e)
    {
        System.out.println("Connection_to_current_client_broken.");
conex = false;
    }
    }
    }
    catch (Exception e)
    {
        System.out.println("Fatal_server_error:_" + e);
    }
}
}

/**Formato do pacote de dados enviado para interface serial*/
byte lRele1[] = {0x7E, 0x00, 0x07, 0x01, 0x01, 0x50, 0x01, 0x00, 0x7B, 0x01, 0x30};
```

## Apêndice B

### Especificações dos módulos XBee

Especificação	XBee	XBee-PRO
<b>Performance</b>		
Alcance Urbano	30 m	100 m
Alcance em linha de visão	100 m	1500 m
Potência máxima transmitida	1 mW (0 dBm)	63 mW (18 dBm)
Taxa de Transmissão	250 Kbps	
Taxa da Interface Serial	1200 bps - 250 Kbps	
Sensibilidade do Receptor	-92 dBm	-100 dbm
<b>Requerimentos de Energia</b>		
Tensão de Alimentação	2.8 - 3.4 V	
Corrente na Transmissão	45 mA (@ 3.3 V)	PL=0 (10 dBm): 137 mA (@ 3,3 V)
		PL=1 (12 dBm): 155 mA (@ 3,3 V)
		PL=2 (14 dBm): 170 mA (@ 3,3 V)
		PL=3 (16 dBm): 188 mA (@ 3,3 V)
		PL=3 (18 dBm): 215 mA (@ 3,3 V)
Idle / Corrente na Recepção	50 mA (@ 3.3 V)	55 mA (@ 3.3 V)
Corrente no estado <i>sleep</i>	< 10 $\mu$ A	
<b>Dados Gerais</b>		
Frequência de Operação	ISM 2.4 GHz	
Dimensões	2.428 cm x 2.761 cm	2.438 cm x 3.294 cm
Temperatura de Operação	-40° até 85° C	
Opções de Antena	Chicote, <i>Chip</i> e Conector U.FL	
Canais Analógicos ou I/O	6 canais analógicos ou 6 I/O digitais	
<b>Rede e Segurança</b>		
Topologia de Rede	<i>Point-to-point, Point-to-multipoint, Peer-to-peer</i>	
Número de Canais	16 canais	12 canais
Opções de Endereçamento	Identificador PAN, Canais e Endereços	

Tab. B.1: Características dos módulos OEM RF XBee e XBee-PRO (Digi, 2008).

O módulo XBee e/ou XBee-PRO podem operar de forma autônoma ou ligados mediante uma porta serial assíncrona (UART - *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*). Quando configurados para trabalhar de forma autônoma podem transmitir os dados presentes nas entradas analógicas ou I/O digitais de um módulo para outro, sendo esta característica especialmente útil para aplicações que não requeiram mais de seis canais analógicos nem taxas de amostragem superiores a 167 Hz por canal (Digi, 2008).

A segunda alternativa de interligação é através da UART. Utilizando esta porta serial, o módulo pode se comunicar com qualquer outro dispositivo lógico com tensão compatível à UART, geralmente microcontroladores. Os dispositivos com interface UART podem ser ligados diretamente aos pinos do módulo OEM RF como ilustrado na Figura B.1.

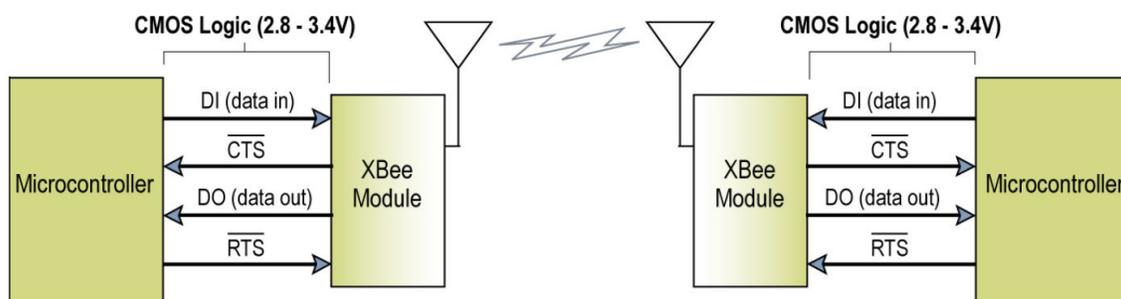


Fig. B.1: Diagrama de transmissão de dados com módulos OEM RF XBee (Digi, 2008).

O módulo UART executa tarefas tais como o sincronismo e verificação da paridade, que são necessárias para a comunicação e transmissão dos dados. A comunicação serial depende que as duas UARTs estejam configuradas com parâmetros compatíveis (taxa de transmissão, paridade, bits de início, bits de parada e bits de dados). Os dados entram no módulo OEM RF através do pino DI (*Data In*) com um sinal serial assíncrono, quando não existem dados a serem transmitidos o sinal no pino DI deve ficar em nível lógico alto. O protocolo de comunicação utilizado pela UART é igual ao RS-232, onde cada pacote de dados contém um bit de início (baixo), 8 bits de dados (menos significativo vem primeiro) e um bit de parada (alto). A Figura B.2 ilustra o envio de um pacote de dados UART 0x1F (31 em decimal) através do módulo RF, sendo o formato dos dados 8-N-1 (bits - paridade - # de bits de parada) (Digi, 2008).

Os módulos XBee/XBee-PRO quando ligados utilizando a UART, possuem dois modos de operação: operação transparente e API (*Application Programming Interface*). Por padrão, os módulos operam em modo transparente, agindo como uma substituição da porta serial, em que todos os dados da UART recebidos pelo pino DI são acumulados para transmissão RF, e os dados recebidos pela RF são enviados pelo pino DO. No modo API as operações são baseadas em *frames* e eventos os quais podem ser programados pelo usuário.

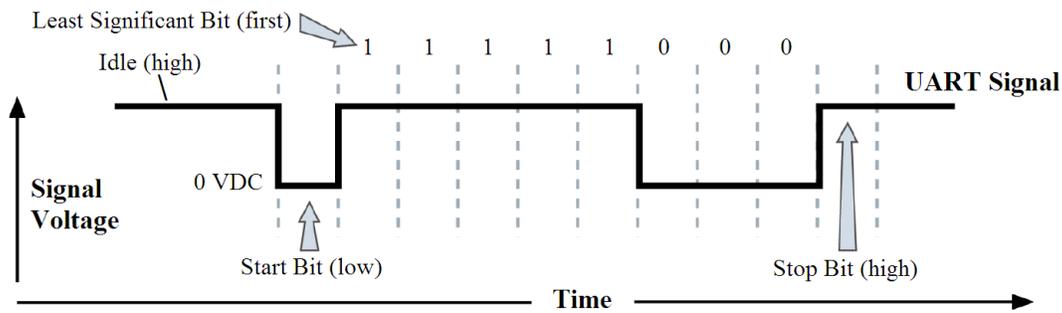


Fig. B.2: Bits a serem transmitidos pela UART através do módulo OEM RF (Digi, 2008).

Em nosso estudo de caso os módulos foram configurados em modo transparente, e para isso o XBee somente envia um pacote de dados se uma das seguintes condições for verdadeira:

- Nenhum caractere serial é recebido em um período determinado pelo parâmetro RO (*Packetization Timeout*). Se  $RO = 0$ , o empacotamento começa quando um caractere é recebido;
- Quando o número máximo de caracteres em um pacote RF é recebido, no caso esse número máximo é de 100 *bytes*;
- A seqüência do modo de comando (GT (Guard Times) + CC (Command Sequence Character) + GT) é recebida. Qualquer caractere colocado no buffer do DI antes da seqüência é transmitido.

Se nenhuma das condições anteriormente descritas for satisfeita ou se o módulo não puder transmitir imediatamente (se já estiver recebendo dados), então os dados enviados para o XBee são armazenados no buffer do DI.

# Apêndice C

## Script de configuração da VLAN

### C.1 Switch da Prefeitura

A configuração da VLAN é realizada em switches Edge-Core modelo ES356XA Fast Ethernet Layer 2/4 de 26 portas sendo 24 portas 10/100 e 2 portas combo Gigabit Ethernet RJ-45 ou SFP (*Small Form Factor Pluggable*), com suporte IEEE 802.1Q VLAN. No ponto **P01**, temos um switch de camêda 3 do núcleo da RMAA de Pedreira, onde fio criada a VLAN ID=30 "REDESENSORA". A comunicação com o ponto **P90** sai pela porta 1, e com o servidor pela porta 10.

A seguir é apresentado o script de carga do switch no **P01**.

```
SW01_PREFEITURA-0#show running-config
building running-config, please wait.....
!
SNTP server 0.0.0.0 0.0.0.0 0.0.0.0
prompt "SW01_PREFEITURA"
SNMP-server host 10.19.10.2 admin version 1
admin version 1 udp-port 162
!
!
snmp-server community public ro
snmp-server community private rw
snmp-server community guest ro
snmp-server community admin rw
!
!
username "pedreira" access-level 0
username "pedreira" password 7 "6e759e57e2df4219970e2f987433dc9a"
enable password level 15 7 "2a3d8fc778e116a71252abac8c569eb3"
```

```
!  
!  
VLAN database  
VLAN 1 name "DefaultVlan" media ethernet state active  
VLAN 2 name "SWITCH" media ethernet state active  
VLAN 3 name "RADIO" media ethernet state active  
VLAN 4 name "VOIP" media ethernet state active  
VLAN 5 name "ESCOLAS" media ethernet state active  
VLAN 6 name "ESCOLAS INFANTIS" media ethernet state active  
VLAN 7 name "SAUDE" media ethernet state active  
VLAN 8 name "SECRETARIAEDUCACAO" media ethernet state active  
VLAN 9 name "HOSPITAL" media ethernet state active  
VLAN 10 name "GERENCIA" media ethernet state active  
VLAN 11 name "PREFEITURA" media ethernet state active  
VLAN 12 name "LAB_AROSSI" media ethernet state active  
VLAN 13 name "LAB_MHELENA" media ethernet state active  
VLAN 14 name "ACESSOPOPULACAO" media ethernet state active  
VLAN 15 media ethernet state active  
VLAN 16 name "LAB_HPIVA" media ethernet state active  
VLAN 17 name "LAB_JPIVA" media ethernet state active  
VLAN 18 name "LAB_SAMUCA" media ethernet state active  
VLAN 19 media ethernet state active  
VLAN 20 media ethernet state active  
VLAN 30 name "REDESENSORA" media ethernet state active  
VLAN 50 name "DMZI" media ethernet state active  
VLAN 100 media ethernet state active  
VLAN 200 name "DHCPRelay" media ethernet state active  
!  
!  
spanning-tree MST-configuration  
MST 0 priority 24576  
!  
!  
access-list IP extended "Radio"  
deny TCP 10.128.0.0 255.255.0.0 10.19.0.0 255.255.0.0  
deny UDP 10.128.0.0 255.255.0.0 10.19.0.0 255.255.0.0  
!  
!  
interface ethernet 1/1  
description Anel 01 - Conectado ao SW02_MCRISTO Porta 25  
switchport allowed VLAN add 1 untagged  
switchport native VLAN 1  
switchport mode trunk
```

```
switchport allowed VLAN add 1-30 tagged
!
interface ethernet 1/2
switchport allowed VLAN add 1 untagged
switchport native VLAN 1
switchport mode trunk
switchport allowed VLAN add 1-10,12-20 tagged
switchport forbidden VLAN add 11
!
interface ethernet 1/3
description Anel 02 – Conectado ao SW73_SECRETARIA Porta 25
switchport allowed VLAN add 1 untagged
switchport native VLAN 1
switchport mode trunk
switchport allowed VLAN add 1-10,12-20 tagged
switchport forbidden VLAN add 11
!
interface ethernet 1/4
description Anel 02 – Conectado ao SW48_SAMUCA Porta 26
switchport allowed VLAN add 1 untagged
switchport native VLAN 1
switchport mode trunk
switchport allowed VLAN add 1-10,12-20 tagged
switchport forbidden VLAN add 11
!
interface ethernet 1/5
description Anel 03 – Conectado ao SW69_JMORATORI Porta 25
switchport allowed VLAN add 1 untagged
switchport native VLAN 1
switchport mode trunk
switchport allowed VLAN add 1-10,12-20 tagged
switchport forbidden VLAN add 11
!
interface ethernet 1/6
description Anel 03 – Conectado ao SW47_JPIVA Porta 26
switchport allowed VLAN add 1 untagged
switchport native VLAN 1
switchport mode trunk
switchport allowed VLAN add 1-10,12-20 tagged
switchport forbidden VLAN add 11
!
interface ethernet 1/7
description Anel 04 – Conectado ao SW72_SBENEDITO Porta 25
```

```
switchport allowed VLAN add 1 untagged
switchport native VLAN 1
switchport mode trunk
switchport allowed VLAN add 1-10,12-20 tagged
switchport forbidden VLAN add 11
!
interface ethernet 1/8
description Anel 04 – Conectado ao SW62_JESUSMENINO Porta 26
switchport allowed VLAN add 1 untagged
switchport native VLAN 1
switchport mode trunk
switchport allowed VLAN add 1-10,12-20 tagged
switchport forbidden VLAN add 11
!
interface ethernet 1/9
switchport allowed VLAN add 11,15,50 untagged
switchport native VLAN 15
switchport allowed VLAN remove 1
spanning-tree edge-port
!
interface ethernet 1/10
description Conexao GigaBit com Switch Camada 2_Prefeitura
switchport allowed VLAN add 1 untagged
switchport native VLAN 1
switchport mode trunk
switchport allowed VLAN add 1-30,50 tagged
spanning-tree edge-port
!
interface ethernet 1/11
description Conectado ao ASA 5510
switchport allowed VLAN add 200 untagged
switchport native VLAN 200
switchport allowed VLAN remove 1
switchport allowed VLAN add 2-20 tagged
spanning-tree edge-port
!
interface ethernet 1/12
no capabilities 1000full
switchport allowed VLAN add 1 untagged
switchport native VLAN 1
spanning-tree edge-port
!
!
```

```
interface VLAN 1
  IP address DHCP
!
!
interface VLAN 2
  IP address 10.19.2.1 255.255.255.0
!
!
interface VLAN 3
  IP address 10.19.3.1 255.255.255.0
!
!
interface VLAN 4
  IP address 10.19.4.2 255.255.255.0
!
!
interface VLAN 5
  IP address 10.19.5.2 255.255.255.0
!
!
interface VLAN 6
  IP address 10.19.6.2 255.255.255.0
!
!
interface VLAN 7
  IP address 10.19.7.2 255.255.255.0
!
!
interface VLAN 8
  IP address 10.19.8.2 255.255.255.0
!
!
interface VLAN 9
  IP address 10.19.9.2 255.255.255.0
!
!
interface VLAN 10
  IP address 10.19.10.1 255.255.255.0
!
!
interface VLAN 11
  IP address 10.19.11.3 255.255.255.0
!
```

```
!  
interface VLAN 12  
  IP address 10.19.12.2 255.255.255.0  
!  
!  
interface VLAN 13  
  IP address 10.19.13.2 255.255.255.0  
!  
!  
interface VLAN 14  
  IP address 10.128.0.1 255.255.0.0  
!  
!  
interface VLAN 15  
  IP address 10.19.15.2 255.255.255.0  
!  
!  
interface VLAN 16  
  IP address 10.19.16.2 255.255.255.0  
!  
!  
interface VLAN 17  
  IP address 10.19.17.2 255.255.255.0  
!  
!  
interface VLAN 18  
  IP address 10.19.18.2 255.255.255.0  
!  
!  
interface VLAN 19  
  IP address 10.19.19.2 255.255.255.0  
!  
!  
interface VLAN 20  
  IP address 10.19.20.2 255.255.255.0  
!  
!  
interface VLAN 30  
  IP address 10.19.30.2 255.255.255.0  
!  
!  
interface VLAN 50  
  IP address 172.0.0.1 255.255.255.0
```

```
!  
!  
interface VLAN 100  
!  
!  
interface VLAN 200  
  IP address 10.19.200.2 255.255.255.0  
!  
!  
ip DHCP pool "acesso"  
  network 10.128.0.0 255.255.0.0  
  default-router 10.128.0.4  
  dns-server 10.128.0.4  
  netbios-node-type hybrid  
  lease 1  
!  
  IP DHCP excluded-address 10.128.0.1 10.128.2.10  
  service DHCP  
!  
!  
management HTTP-client 10.19.10.2 10.19.10.4  
management telnet-client 10.19.10.1 10.19.10.254  
!  
!  
spanning-tree priority 24576  
!  
!  
no map IP precedence  
no map IP DSCP  
!  
!  
line console  
  password 7 "21232f297a57a5a743894a0e4a801fc3"  
!  
!  
line VTY  
  password 7 21232f297a57a5a743894a0e4a801fc3  
!  
!  
end  
!  
SW01_PREFEITURA-0#
```

## C.2 Switch do Escritório da Infovia

No ponto **P90** temos um switch de camada 2, onde também foi configurada a VLAN 30 “REDE-SENSORIA”. Os equipamentos são conectados na porta 21, e a comunicação com o ponto **P01** sai pela porta 5.

A seguir é apresentado o script de carga do switch no **P90**.

```
SW90_INFOVIA-0#show running-config
building running-config, please wait.....
!
hostname SWC2
SNTP server 0.0.0.0 0.0.0.0 0.0.0.0
!
clock timezone hours 0 minute 0 after-UTC
!
NTP Poll 16
!
prompt SW90_INFOVIA
SNMP-server host 10.19.10.2 admin version 1
!
!
SNMP-server community private rw
SNMP-server community public ro
!
!
username pedreira access-level 0
username pedreira password 7 4b5ef4af88f63843d515ea2c28a45299
enable password level 15 7 2a3d8fc778e116a71252abac8c569eb3
!
!
logging history ram 6
logging history flash 3
!
!
VLAN database
VLAN 1 name DefaultVlan media ethernet state active
VLAN 2 name SWITCH media ethernet state active
VLAN 3 name RADIO media ethernet state active
VLAN 4 name "VOIP" media ethernet state active
VLAN 5 name "ESCOLAS" media ethernet state active
VLAN 6 name "ESCOLAS INFANTIS" media ethernet state active
VLAN 7 name "SAUDE" media ethernet state active
```

```
VLAN 8 name "SECRETARIAEDUCACAO" media ethernet state active
VLAN 9 name "HOSPITAL" media ethernet state active
VLAN 10 name GERENCIA media ethernet state active
VLAN 11 name INTERNET media ethernet state active
VLAN 12 name LAB_AROSSI media ethernet state active
VLAN 13 name LAB_MHELENA media ethernet state active
VLAN 14 name ACESSOPOPULACAO media ethernet state active
VLAN 15 media ethernet state active
VLAN 16 name LAB_HPIVA media ethernet state active
VLAN 17 name LAB_JPIVA media ethernet state active
VLAN 18 name LAB_SAMUCA media ethernet state active
VLAN 19 media ethernet state active
VLAN 20 media ethernet state active
VLAN 30 media "REDESENSORA" media ethernet state active
VLAN 50 name "DMZI" media ethernet state active
!
!
access-list IP extended RADIO
 permit 10.128.0.0 255.255.0.0 10.19.10.0 255.255.255.0
 deny 10.128.0.0 255.255.0.0 10.19.0.0 255.255.0.0
!
access-list IP extended TELECENTRO
 deny 10.128.0.0 255.255.0.0 10.19.0.0 255.255.0.0
!
!
interface ethernet 1/1
 description MICRO MATEUS
 switchport allowed vlan add 11 untagged
 switchport native vlan 11
 switchport allowed vlan remove 1
 spanning-tree edge-port
!
interface ethernet 1/2
 description SWITCH conectada as baias 4 5 6 7 8
 switchport allowed vlan add 11,14 untagged
 switchport native vlan 11
 switchport allowed vlan remove 1
 spanning-tree edge-port
!
interface ethernet 1/3
 description HUB conectado as baias 1 2 3
 switchport allowed vlan add 11,14 untagged
 switchport native vlan 11
```

```
switchport allowed vlan remove 1
spanning-tree edge-port
!
interface ethernet 1/4
switchport allowed vlan add 11 untagged
switchport native vlan 11
switchport allowed vlan remove 1
spanning-tree edge-port
!
interface ethernet 1/5
description MICRO NEI
switchport allowed vlan add 11 untagged
switchport native vlan 11
switchport allowed vlan remove 1
spanning-tree edge-port
!
interface ethernet 1/6
switchport allowed vlan add 11 untagged
switchport native vlan 11
switchport allowed vlan remove 1
spanning-tree edge-port
!
interface ethernet 1/7
description MICRO SANDRO
switchport allowed vlan add 11 untagged
switchport native vlan 11
switchport allowed vlan remove 1
spanning-tree edge-port
!
interface ethernet 1/8
description MICRO THIAGO
switchport allowed vlan add 11 untagged
switchport native vlan 11
switchport allowed vlan remove 1
spanning-tree edge-port
!
interface ethernet 1/9
description MICRO_CAIO
switchport allowed vlan add 11 untagged
switchport native vlan 11
switchport allowed vlan remove 1
spanning-tree edge-port
!
```

```
interface ethernet 1/10
  description TITO
  switchport allowed vlan add 11 untagged
  switchport native vlan 11
  switchport allowed vlan remove 1
  spanning-tree edge-port
!
interface ethernet 1/11
  switchport allowed vlan add 11 untagged
  switchport native vlan 11
  switchport allowed vlan remove 1
  spanning-tree edge-port
!
interface ethernet 1/12
  description MICRO_BIBI
  switchport allowed vlan add 11 untagged
  switchport native vlan 11
  switchport allowed vlan remove 1
  spanning-tree edge-port
!
interface ethernet 1/13
  description MICRO_TONINHO
  switchport allowed vlan add 11 untagged
  switchport native vlan 11
  switchport allowed vlan remove 1
  spanning-tree edge-port
!
interface ethernet 1/14
  description MICRO MANUTENCAO1
  switchport allowed vlan add 11 untagged
  switchport native vlan 11
  switchport allowed vlan remove 1
  spanning-tree edge-port
!
interface ethernet 1/15
  description MICRO_RAY
  switchport allowed vlan add 11 untagged
  switchport native vlan 11
  switchport allowed vlan remove 1
  spanning-tree edge-port
!
interface ethernet 1/16
  switchport allowed vlan add 11 untagged
```

```
switchport native vlan 11
switchport allowed vlan remove 1
spanning-tree edge-port
!
interface ethernet 1/17
switchport allowed vlan add 11,14 untagged
switchport native vlan 11
switchport allowed vlan remove 1
spanning-tree edge-port
!
interface ethernet 1/18
description VOIP
switchport allowed vlan add 4,11 untagged
switchport native vlan 4
switchport allowed vlan remove 1
spanning-tree edge-port
!
interface ethernet 1/19
description VoIP_Mateus
switchport allowed vlan add 4 untagged
switchport native vlan 4
switchport allowed vlan remove 1
spanning-tree edge-port
!
interface ethernet 1/20
description VOIP
no switchport broadcast
switchport allowed vlan add 4 untagged
switchport native vlan 4
switchport allowed vlan remove 1
spanning-tree edge-port
!
interface ethernet 1/21
description VOIP
no switchport broadcast
switchport allowed vlan add 30 untagged
switchport native vlan 30
switchport allowed vlan remove 1
spanning-tree edge-port
!
interface ethernet 1/22
description VOIP
no switchport broadcast
```

```
switchport allowed vlan add 4 untagged
switchport native vlan 4
switchport allowed vlan remove 1
spanning-tree edge-port
!
interface ethernet 1/23
description RADIO
no switchport broadcast
switchport allowed vlan add 1,14 untagged
switchport native vlan 14
switchport allowed vlan add 1-13,15-20 tagged
spanning-tree edge-port
ip access-group RADIO in
!
interface ethernet 1/24
description RADIO - Conectado Casa_Infovia
shutdown
switchport allowed vlan add 1,14 untagged
switchport native vlan 14
switchport allowed vlan add 1-13,15-30 tagged
spanning-tree edge-port
ip access-group RADIO in
!
interface ethernet 1/25
shutdown
no switchport broadcast
switchport allowed vlan add 1 untagged
switchport native vlan 1
switchport mode trunk
switchport allowed vlan add 1-11 tagged
!
interface ethernet 1/26
shutdown
no switchport broadcast
switchport allowed vlan add 1 untagged
switchport native vlan 1
!
!
interface VLAN 2
IP address 10.19.2.90 255.255.255.0
!
!
management HTTP-client 10.19.10.2 10.19.10.4
```

```
management telnet-client 10.19.10.2 10.19.10.4
!
!
IP default-gateway 10.19.2.5
!
!
no map IP precedence
no map IP DSCP
!
!
line console
!
!
line VTY
!
!
end
!
SW90_INFOVIA-0#
```