

# Monitorização Vital e Ambiental com recurso a Redes de Sensores sem Fios

David Filipe Iglésias Ferraz



Universidade Fernando Pessoa

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Praça 9 de Abril, 349, 4249-004 Porto, Portugal

**Julho 2013**



# Monitorização Vital e Ambiental com recurso a Redes de Sensores sem Fios

David Filipe Iglésias Ferraz



Universidade Fernando Pessoa

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Praça 9 de Abril, 349, 4249-004 Porto, Portugal

**Julho 2013**

# Monitorização Vital e Ambiental com recurso a Redes de Sensores sem Fios

David Filipe Iglésias Ferraz

Licenciado em Engenharia Informática pela Universidade  
Fernando Pessoa

Dissertação apresentada à Universidade Fernando Pessoa como  
parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em  
Computação Móvel, orientada pelo Professor Doutor Pedro  
Sobral e coorientada pelo Professor Doutor José Torres.

Universidade Fernando Pessoa

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Praça 9 de Abril, 349, 4249-004 Porto, Portugal

Julho 2013

## Resumo

A constante evolução da tecnologia tem proporcionado o aparecimento de dispositivos de baixo custo, elevado poder de processamento e capacidade de comunicação sem fios. São exemplos destes dispositivos, o aparecimento de plataformas de computação embebida como a plataforma Arduino, a Raspberry Pi, entre outras. Estas plataformas permitem a aquisição de dados físicos das zonas circundantes à custa de sensores e permitem responder a variações dos valores lidos através de atuadores permitindo a implementação de espaços inteligentes. Estes espaços podem ser aplicados em diversos domínios, como por exemplo na monitorização ambiental (onde são utilizados dispositivos sensores para recolher parâmetros ambientais), na área da saúde (onde são usados diferentes tipos de sensores para acompanhar, em tempo real, parâmetros vitais de indivíduos) e na domótica de edifícios (onde a rede de sensores é utilizada para facilitar as rotinas do dia a dia das pessoas).

O sistema SSNS (*Smart Sensor Network System*), desenvolvido no contexto deste trabalho, representa uma solução baseada em tecnologia de código aberto, *hardware* de baixo custo, adaptável a diferentes cenários de aplicação e com algumas características diferenciadoras em relação a outros sistemas. Este sistema é composto por três tipos de dispositivos. Um dispositivo pessoal que permite recolher parâmetros vitais e monitorizar a atividade física dos indivíduos que o transportam. Um dispositivo ambiental que permite recolher dados do meio envolvente e também funciona como repetidor da rede de sensores sem fios. E finalmente, um dispositivo *gateway*, que efetua a ligação do sistema com a Internet e permite a interação bidirecional com o mundo exterior. Os dados são enviados e recolhidos num servidor, que agrega toda a informação para posterior consulta. O sistema está pensado para ter uma fácil adaptação a qualquer cenário de aplicação, uma vez que é baseado unicamente em redes de comunicação sem fios, o que permite a sua utilização em locais sem infraestrutura de rede. Está especialmente ajustado a cenários onde o baixo consumo energético seja um requisito fundamental. Foi também projetado um mecanismo de localização dentro de edifícios baseado no fun-

---

cionamento da rede de sensores em malha que é uma característica distintiva deste sistema em relação aos já existentes.

## Abstract

The technological evolution has allowed the creation of low-cost devices with high processing power and wireless communications. Examples of those devices are the Arduino platform, the Raspberry Pi, among others. Through sensors, these platforms acquire physical data from its surroundings and via actuators it can respond to variations of the values acquired. The same devices when applied in conventional areas make the so-called “smart spaces”. Those spaces can be used in several fields such as environmental monitoring (using sensors to collect environmental data), health care (monitoring condition of patients) and in domotics (sensor network used to help people on their daily tasks).

The system itself is an open source, low cost solution that can be adapted in many applications. The system has three devices all adapted to several scenarios. There is a personal device that collects vital parameters and monitors the physical activity. Also, an environmental device is set in order to gather data from the surroundings. It also works as a repeater. Another device *gateway* is used to connect the system to the Internet and provides a bidirectional interaction with the outside world. The system manager can access to a web page where all data can be consulted and the modules can be enquired. The system is designed to be integrated to any given scenario. In one hand, applied in the environmental monitoring, the device’s energy consumption is highly low. On the other hand, on the health care field, it includes indoor location mechanism which is quite an advantage and a significant breakthrough.

## Resumen

La constante evolucion de la tecnologia tiene proporcionado la aparición de dispositivos de bajo coste, alto poder de procesamiento y capacidad de comunicacion inalambrica. Son ejemplos de estos dispositivos, la aparicion de plataformas de computacion embebida como la plataforma Arduino, la Raspberry Pi, entre otras, Estas plataformas permiten la adquisicion de datos físicos de las zonas circundantes a costa de sensores y permiten responder a variaciones de los valores leidos por medio de atuadores permitiendo la implantacion de espáicios inteligentes. Estos espáicios pueden ser aplicados en diversos campos, como por ejemplo en el monitoreo ambiental (donde son utilizados dispositivos sensores para recoger parâmetros ambientales), en el área de la salud (donde son utilizados diferentes tipos de sensores para acompañar, en tiempo real, parâmetros vitales de las personas) y en la domótica de edificios (donde la red de sensores es utilizada para facilitar las rutinas del dia a dia de las personas).

El sistema SSNS, creado en el contexto de este trabajo, representa una solucion basada en tecnologia de código abierto, *hardware* de bajo coste, adaptable a diferentes escenarios de aplicacion y com algunas características diferentes en relacion a otros sistemas. Este sistema esta compuesto por três tipos de dispositivos. Un dispositivo personal que permite recoger parâmetros vitales y monitorizar la actividad física de los individuos que lo trasportan. Un dispositivo ambiental que permite recoger datos del medio envolvente y tambien funciona como repetidor de la red de sensores inalambricos. Y finalmente un dispositivo (gaterway), que efectua la ligacion del sistema com Internet y que permite la interacion bidericional com el mundo exterior. Los datos son enviados y recogidos en un servidor que almacena la informacion para posterior consulta. El sistema esta pensado para facilitar la adaptacion a cualquier escenario de aplicacion, una vez que esta basado unicamente en redes de comunicaciones inalambricas, lo que permite su utilizacion en locales no Infraestructurados. Esta especialmente adaptado a escenarios donde el bajo consumo energético, sea un requisito fundamental. Fue tambien adap-

---

tado un mecanismo de localizacion dentro de edificios basado en el funcionamiento de la red de sensores en cadena que es una característica especial de este sistema en relacion a las que ya existen.

Aos meus pais

## **Agradecimentos**

Ao Professor Doutor Pedro Sobral, orientador da dissertação, agradeço todo apoio, a partilha de conhecimento e as valiosas contribuições para o trabalho. Acima de tudo, obrigado pela paciência demonstrada.

Aos professores Doutor José Torres, co-orientador da dissertação, e Doutor Rui Silva Moreira agradeço pela partilha de conhecimento e pela ajuda prestada ao longo do projeto.

Aos meus pais Jaime Domingos Cardoso Ferraz e Clementina Iglésias Y Suarez por toda a paciência demonstrada durante a elaboração deste trabalho.

Um especial agradecimento à minha namorada Diana Isabel Moreira da Costa que também se mostrou muito paciente e que sempre me apoiou.

À minha família, amigos e professores que contribuíram para a minha formação académica e pessoal.

# Índice

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Contexto e Motivação . . . . .	3
1.2	Objetivos . . . . .	4
1.3	Estrutura do documento . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Sistemas de monitorização através de redes de sensores sem fios</b>	<b>6</b>
2.1	Tecnologias de rede sem fios . . . . .	7
2.1.1	ZigBee . . . . .	7
2.1.2	IEEE 802.15.1 (Bluetooth) . . . . .	9
2.1.3	RFID . . . . .	10
2.1.4	IEEE 802.11 (Wi-Fi) . . . . .	10
2.1.5	GPRS ( <i>General Packet Radio Service</i> ) . . . . .	11
2.1.6	Análise comparativa das tecnologias . . . . .	11
2.2	Módulos das redes de sensores . . . . .	12
2.2.1	Dispositivos pessoais . . . . .	12
2.2.2	Dispositivos ambientais . . . . .	13
2.2.3	Dispositivos <i>gateway</i> . . . . .	13
2.3	Sistemas de monitorização na área da saúde . . . . .	13
2.4	Estado da arte em sistemas de monitorização na área da saúde . . . . .	15
2.4.1	Sistema Lifeguard . . . . .	16
2.4.2	Sistema AICO . . . . .	16
2.4.3	Sistema AlarmNet . . . . .	17
2.4.4	Sistema HipGuard . . . . .	18
2.4.5	Sistema Medical Supervision . . . . .	19
2.4.6	Sistema CAALIX . . . . .	20
2.4.7	Análise comparativa dos sistemas de monitorização na área da saúde . . . . .	21
2.5	Sistemas de monitorização ambiental . . . . .	22
2.6	Estado da arte em sistemas de monitorização ambiental . . . . .	23
2.6.1	Sistema de monitorização de vinhas na Galiza . . . . .	23

2.6.2	Sistema de monitorização aérea e térrea numa vinha . . . . .	24
2.6.3	Sistema de monitorização de parâmetros ambientais . . . . .	25
2.6.4	Sistema de monitorização de uma estufa . . . . .	26
2.6.5	Sistema MasliNET . . . . .	27
2.6.6	Análise comparativa dos sistemas de monitorização ambiental . .	27
<b>3</b>	<b>Sistema SSNS (<i>Smart Sensor Network System</i>)</b>	<b>29</b>
3.1	Requisitos funcionais e não-funcionais . . . . .	30
3.2	Arquitetura do sistema SSNS . . . . .	31
3.3	Funcionamento do sistema SSNS . . . . .	32
3.3.1	Protocolo de mensagens do sistema SSNS . . . . .	33
3.3.2	Dispositivo ambiental . . . . .	36
3.3.2.1	Dispositivo ambiental genérico . . . . .	36
3.3.2.2	Dispositivo ambiental com poupança energética . . . . .	39
3.3.3	Dispositivo pessoal . . . . .	41
3.3.4	<i>Gateway</i> XBee / GPRS . . . . .	42
3.3.5	Servidor . . . . .	44
3.3.6	Sumário . . . . .	46
<b>4</b>	<b>Avaliação e Resultados</b>	<b>48</b>
4.1	Mapa de cobertura . . . . .	48
4.2	Mecanismo de localização baseado na topologia de rede em malha . . . .	49
4.3	Consumo energético . . . . .	55
4.4	Análise comparativa dos sistemas . . . . .	56
<b>5</b>	<b>Conclusão e Trabalho Futuro</b>	<b>59</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>61</b>

# Índice de figuras

1.1	Arquitetura genérica da rede de sensores sem fios . . . . .	4
2.1	Funcionamento do Bluetooth . . . . .	9
2.2	Sistema Lifeguard (Montgomery <i>et al.</i> , 2004) . . . . .	16
2.3	Sistema AlarmNet (Wood <i>et al.</i> , 2008) . . . . .	17
2.4	Sistema HipGuard (Iso-Ketola <i>et al.</i> , 2008) . . . . .	18
2.5	Arquitetura genérica do sistema medical supervision (Zhou <i>et al.</i> , 2007) .	19
2.6	Arquitetura genérica do sistema CAALYX (Boulos <i>et al.</i> , 2007) . . . . .	20
2.7	Diagrama genérico do sistema (Biesla, 2012) . . . . .	24
2.8	Arquitetura genérica do sistema (Valente <i>et al.</i> , 2011) . . . . .	24
2.9	Arquitetura do protótipo de monitorização de parâmetros ambientais (Gho- bakhlou <i>et al.</i> , 2011) . . . . .	25
2.10	Arquitetura do protótipo de monitorização de uma estufa (Liu <i>et al.</i> , 2007)	26
2.11	Arquitetura do sistema MasliNET (Jelicic <i>et al.</i> , 2011) . . . . .	27
3.1	Arquitetura modular do sistema SSNS . . . . .	32
3.2	Pilha protocolar do sistema SSNS . . . . .	33
3.3	Exemplo de mensagens com pedidos do servidor à rede de sensores . . .	34
3.4	Exemplo de mensagens com valores dos sensores . . . . .	35
3.5	Exemplo de mensagens de endereçamento . . . . .	36
3.6	Dispositivo Ambiental: a) Arduino Diecimila + XBee <i>shield</i> ; b) Rádio XBee Pro 2; c) Sensor analógico de temperatura. . . . .	37
3.7	Sensor analógico de temperatura . . . . .	38
3.8	Exemplo de uma trama API (Digi International Inc, 2009) . . . . .	38
3.9	Dispositivo ambiental (protótipo para poupança energética): a) Microcon- trolador ATMEL 328; b) Rádio XBee Pro 2; c) Botão para simular evento externo. . . . .	41
3.10	Dispositivo pessoal: a) Rádio XBee Pro 2; b) Acelerómetro 3D; c) Ar- duino FIO; d) Bateria de Lítio . . . . .	42
3.11	Gateway XBee-GPRS: a) Módulo GPRS Hilo SAGEM; b) Arduino Mega; c) Rádio XBee Pro 2. . . . .	43

3.12	Página Web para visualização dos dispositivos ativos . . . . .	45
3.13	Página Web para visualização dos dados recolhidos de um determinado dispositivo . . . . .	46
4.1	Mapa de medições RSSI para localização entre edifícios . . . . .	50
4.2	Mapa de medições RSSI para localização em diferentes pisos . . . . .	51
4.3	Mapa de medições RSSI para localização num determinado piso . . . . .	53

# Índice de tabelas

2.1	Tabela comparativa das diferentes tecnologias . . . . .	11
2.2	Tabela comparativa dos diferentes sistemas da área da saúde . . . . .	21
2.3	Tabela comparativa dos diferentes sistemas de monitorização ambiental . . . . .	28
3.1	Lista de requisitos do sistema . . . . .	31
3.2	Tabela comparativa das diferentes baterias (Buchmann, 1999) . . . . .	39
4.1	Deteção de vizinhos e respetivo RSSI entre edifícios . . . . .	50
4.2	Deteção de vizinhos e respetivo RSSI para localização em diferentes pisos . . . . .	52
4.3	Deteção de vizinhos e respetivo RSSI para localização num determinado pisso . . . . .	54
4.4	Medições de consumo energético . . . . .	55
4.5	Tabela comparativa dos diferentes sistemas . . . . .	56

## **Lista de Abreviaturas**

ADC - Analog to Digital Conversion  
BAN - Body Area Network  
BS - Base Station  
EEPROM - Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory  
GPRS - General Packet Radio Service  
GPS - Global Positioning System GSM - Global System for Mobile  
IP - Internet Protocol  
LCD - Liquid Crystal Display  
Li-On - Lithium Ion  
Li-polymer -Lithium Polymer  
NiCd - Nickel Cadmium  
NiMH - Nickel-Metal Hydride  
PAN - Personal Area Network  
PC - Personal Computer  
PDA - Personal Digital Assistant  
RAM - Random Access Memory  
ROM - Read Only Memory  
RFID - Radio Frequency Identification  
RSSI - Received Signal Strength Indicator  
SLA - Sealed Lead Acid  
SRAM - Static Random Access Memory  
SSNS - Smart Sensor Network System  
TCP - Transport Control Protocol  
UPS - Uninterruptible Power Supply  
WAN - Wide Area Network  
WPAN - Wireless Area Network  
WLAN - Wireless Local Area Network  
WWAN - Wireless Wide Area Network  
ZC - ZigBee Coordinator  
ZED - ZigBee End Device  
ZR - ZigBee Router

# Capítulo 1

## Introdução

A crescente evolução tecnológica tem proporcionado a criação de sistemas inteligentes baseados em dispositivos eletrônicos de baixo custo, reduzida dimensão, apreciável poder de processamento e incluindo capacidade de comunicação sem fios. A utilização destes sistemas pode acontecer em diversos contextos, tais como, na domótica de edifícios, indústria, ambiente, entre outros. Ao integrarmos estas tecnologias em espaços convencionais, convertemo-los no que chamamos espaços inteligentes. Nestes espaços existe um conjunto de sensores e atuadores interligados por uma rede de comunicação. Os sensores sentem o meio envolvente e reportam em tempo real os dados para um centro de comando. Este, por sua vez dá ordens aos atuadores para reagirem em determinadas situações. Mesmo em espaços sem infraestruturas, como terrenos agrícolas, casa antigas, etc, é possível criar estes espaços recorrendo a redes de sensores sem fios.

Uma rede de sensores sem fios é composta por um conjunto de dispositivos autónomos, que integram sensores capazes de monitorizar diferentes parâmetros físicos. Para além dos sensores, cada dispositivo está normalmente equipado com um ou mais rádios para comunicações sem fios, um microcontrolador para processamento e um módulo para alimentação. As redes de sensores podem ser usadas em múltiplos domínios de aplicação, tais como:

- **Monitorização Ambiental** - Neste cenário são utilizados dispositivos sensores para recolher parâmetros ambientais e monitorizar o estado de um ecossistema. Como exemplos de aplicações nesta área temos a deteção de incêndios florestais, o controlo da poluição do ar e a prevenção de terremotos.

- **Monitorização Agrícola** - Nesta área, através de um variado número de sensores pode controlar-se a produção agrícola, desde a plantação até à colheita. Como exemplos de aplicações nesta área temos as estações meteorológicas, a monitorização de vinhas e a monitorização de estufas.
- **Cidades Inteligentes** - Neste caso, recorrendo a diferentes tipos de sensores espalhados numa cidade, é possível facilitar e controlar o dia a dia dos cidadãos. Como exemplos nesta área temos o controlo de tráfego rodoviário, a deteção de ruído urbano e o controlo da iluminação pública.
- **Área da Saúde** - Neste domínio de aplicação são usados diferentes tipos de sensores para acompanhar, em tempo real, os parâmetros vitais de pacientes e também efetuar o controlo de ambientes de risco. Como por exemplos temos a deteção de quedas, a monitorização de parâmetros vitais e o controlo de radiação.
- **Domótica de Edifícios** - Neste contexto a rede de sensores é utilizada para facilitar as rotinas diárias em ambiente doméstico, acrescentando comodidade, aumentando a segurança e reduzindo os custos. Exemplos de aplicação são a deteção de intrusos, o controlo de consumos energéticos ou de água e o controlo remoto de aplicações.

Na utilização de redes de sensores sem fios em espaços abertos é necessário ter em consideração alguns requisitos adicionais tais como a exposição dos sensores aos elementos, autonomia energética e resistência mecânica do equipamento. Para aplicações na área da saúde é necessário um especial cuidado com usabilidade do equipamento. A utilização do equipamento deve ser o menos intrusiva possível para o paciente. Em resumo, é necessário ajustar as características físicas de cada rede de sensores ao cenário concreto de utilização.

Um dos aspetos importantes na implementação das redes de sensores sem fios é a sua gestão e manutenção eficiente. A utilização de sistemas de monitorização remotos evita a presença de equipas especializadas e permanentes nos locais supervisionados. Um único centro de comando pode recolher os dados de diversas redes de sensores remotas e registar essa informação numa base de dados onde poderá ser analisada por diferentes especialistas. Desta forma, pode aumentar-se significativamente a escalabilidade dos sistemas monitorizados, diminuindo o número de especialistas envolvidos e os respetivos custos associados. Pode ainda melhorar-se a eficiência das equipas de assistência, direcionando-as para o atendimento de situações críticas. Este aspeto é especialmente importante no contexto atual do envelhecimento populacional que colocará uma pressão crescente nos sistemas de saúde.

### 1.1 Contexto e Motivação

Como vimos, existem muitos cenários onde é útil a utilização de redes de sensores sem fios. No contexto do trabalho descrito neste documento, foi desenvolvida uma infraestrutura de rede genérica que pode ser aplicada em muitos dos cenários descritos anteriormente. Como exemplo de aplicação foram abordados os cenários da monitorização de parâmetros ambientais e desenvolvido um protótipo aplicado na área da saúde. A aplicação ao cenário da saúde está relacionada com a evolução demográfica dos últimos anos. Desde o início deste século, verifica-se que a proporção de idosos no mundo tem aumentado mais rapidamente do que qualquer outra faixa etária. A idade média em geral no mundo passou de 23,9 em 1950 para 26,8 em 2000 e prevê atingir 37,8 em 2050. Muitos países na Ásia e Europa enfrentam uma situação ainda pior, em breve, a maior faixa etária será de 65 e a média de idades será aproximadamente 50 (Liang *et al.*, 2012). Um aumento no envelhecimento global exige uma maior atenção na preparação de sistemas inteligentes capazes de auxiliar o tratamento dos idosos, o seu bem estar e garantir a sua independência na fase final da sua vida. Em resultado do envelhecimento populacional, aumentaram consideravelmente as necessidades de cuidados médicos, tanto em ambulatório como em assistência hospitalar. Uma forma de aliviar a pressão nos sistemas de saúde será a utilização generalizada de dispositivos de monitorização de parâmetros vitais que, em tempo real, reportam informação aos profissionais de saúde. Isso permite, como vimos, direcionar os cuidados de saúde para os pacientes mais necessitados.

Uma outra área em que os espaços inteligente podem dar um contributo relevante é a área da monitorização ambiental. Em particular, na área agrícola, é possível aumentar drasticamente a produtividade reduzindo o custo com recursos a redes de sensores que permitem calibrar o processo produtivo em função das condições ambientais tais como a humidade, temperatura, etc. No contexto deste trabalho foi também desenvolvido um protótipo com aplicação na área da monitorização de uma vinha, com o objetivo de determinar em tempo real a humidade do solo, exposição solar, temperatura, entre outros parâmetros ambientais, para serem usados no controlo das regas automáticas e mesmo determinar em tempo real o melhor momento da colheita da uva.

Como resulta evidente do apresentado nesta secção, será crescente a necessidade de utilização de espaços inteligente, infraestruturados com rede de sensores sem fios para os mais diversos fins e aplicações. Este tipo de redes oferece uma elevada flexibilidade, reduzindo significativamente o esforço de instalação e manutenção, tornando-se por isso uma mais-valia nestes ambientes heterogéneos.

## 1.2 Objetivos

Neste trabalho é proposto um sistema de monitorização vital e ambiental recorrendo a redes de sensores inteligentes, com objetivo de, acompanhar em tempo real, os parâmetros vitais e ambientais de diversos indivíduos armazenando-os numa base de dados remota. Este sistema permitirá analisar os dados recolhidos de forma a otimizar os encargos do sistema de saúde e personalizar o tipo de assistência em função das necessidades concretas de cada indivíduo.

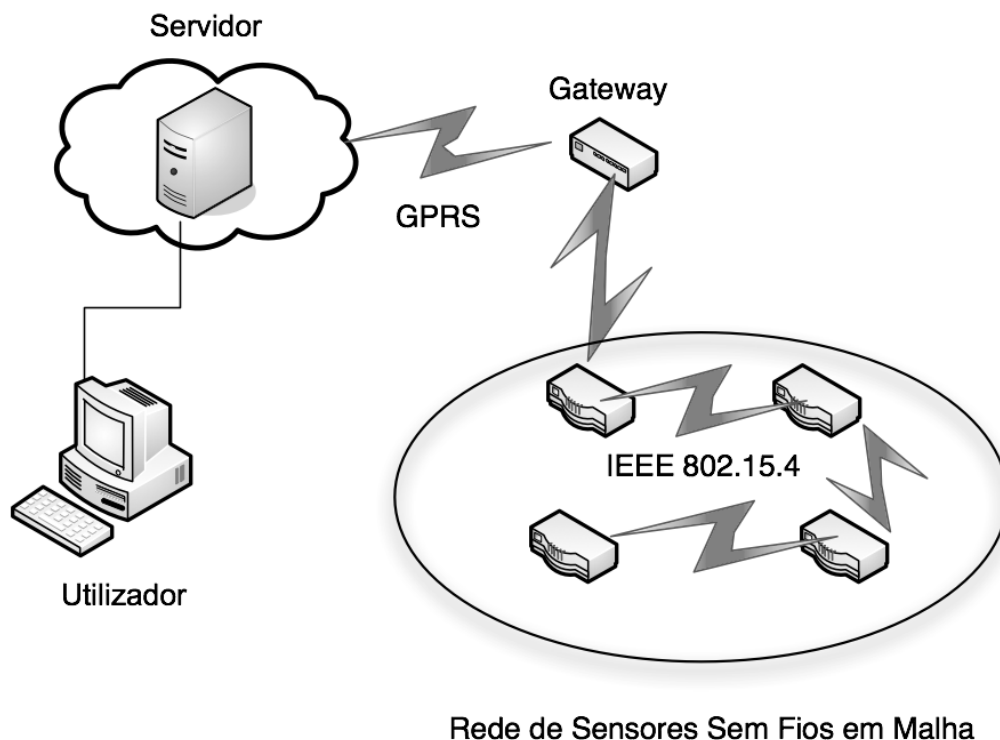


Figura 1.1: Arquitetura genérica da rede de sensores sem fios

Este projeto foi desenvolvido recorrendo a *hardware* de baixo custo, software de código aberto e implementado usando diversas tecnologias sem fios. Inclui vários dispositivos ajustados aos diferentes cenários de aplicação, comunicando entre si e estabelecendo uma rede de sensores sem fios. A figura 1.1 apresenta uma arquitetura genérica do sistema desenvolvido. O protótipo criado (Ferraz *et al.*, 2010), é composto por dispositivos que incluem microcontroladores e sensores de baixo custo. Os dados obtidos através da rede de sensores sem fios são transmitidos para uma *gateway* que os reencaminha para um servidor. Os dados recebidos são processados e armazenados para mais tarde serem apresentados ao utilizador através de um sistema de informação disponível na internet. Um protótipo deste sistema foi posteriormente instalado num espaço de teste com objetivo de avaliar as suas potencialidades de aplicação num cenário real.

### 1.3 Estrutura do documento

O resto deste documento encontra-se estruturado em quatro capítulos. No capítulo 2, intitulado "sistemas de monitorização usando redes de sensores", é feita uma revisão bibliográfica, onde é apresentado o estado da arte e efetuado um enquadramento do trabalho. Neste capítulo descrevem-se as principais tecnologias utilizadas no desenvolvimento do projeto e é efetuado uma comparação com sistemas análogos. No capítulo 3, "sistema SSNS (*Smart Sensor Network System*)", é descrito o processo de desenvolvimento do protótipo, especificando os dispositivos existentes e as suas principais funcionalidades. É também efetuada uma análise detalhada do protocolo de mensagens usado para troca de informação na rede de sensores sem fios. No capítulo 4, é efetuada a avaliação do funcionamento do sistema e são apresentados os resultados dos testes realizados. É também elaborada uma comparação funcional com os sistemas analisados no capítulo 2. Na conclusão é efetuada uma análise crítica das vantagens e desvantagens das redes de sensores sem fios e realizada uma discussão dos resultados obtidos e dos objetivos atingidos neste trabalho. Finalmente são apresentadas direções para trabalho futuro.

## Capítulo 2

# Sistemas de monitorização através de redes de sensores sem fios

Nos últimos anos têm surgido dispositivos com elevada capacidade de processamento, baixo consumo energético, pequenas dimensões e com um baixo custo. Os microcontroladores, que incluem capacidade de processamento e memória, interfaces para sensores e atuadores analógicos e digitais, portas de comunicação e com um baixo consumo energético são um exemplo claro desta evolução. A integração dos microcontroladores em placas de desenvolvimento deu origem ao aparecimento de plataformas de computação embebida como é o caso, por exemplo, da plataforma Arduino (Arduino, 2013). Muitos destes dispositivos possuem nativamente capacidade para recolher dados de sensores (temperatura, pressão, etc.) e governar atuadores (como motores, relés e outros) possibilitando a automatização simples de processos outrora controlados manualmente. Atualmente estes dispositivos estão a ser integrados em plataformas de desenvolvimento de redes de sensores ajustados aos mais variados domínios de aplicação como veremos mais à frente. Algumas destas plataformas de redes de sensores incluem *hardware* e *software* de código aberto necessários ao desenvolvimento dos espaços inteligentes. Podemos definir um espaço inteligente como uma região geográfica ou um local de um edifício, em que um número de parâmetros físicos é monitorizado em tempo real, por um sistema de computação que reage de forma apropriada às suas variações.

### 2.1 Tecnologias de rede sem fios

Uma característica fundamental das redes de sensores é a capacidade de comunicação entre os elementos da rede. As tecnologias de comunicação sem fios permitem a instalação rápida dos sistemas em locais sem infraestruturas de comunicação instaladas. Existem diferentes tecnologias de comunicação sem fios que são relevantes no contexto das redes de sensores. Elas diferem essencialmente no alcance, no débito, no consumo energético, na organização topológica e nos mecanismos de encaminhamento. Algumas das tecnologias mais utilizadas neste âmbito são por exemplo o ZigBee, o Bluetooth e o GPRS.

#### 2.1.1 ZigBee

O ZigBee, baseia-se na camada física e de ligação do padrão de rede IEEE 802.15.4 adicionando certas funcionalidades à camada de ligação. Este consiste num conjunto de protocolos de comunicação de rede criados para rádios de pequeno porte. O ZigBee pretende associar a transmissão de dados sem fios a um reduzido consumo energético com elevada fiabilidade. Uma das propriedades é o facto dos dispositivos do sistema ficarem a maior parte do tempo em repouso, reduzindo o consumo energético do sistema. Em condições ótimas, a taxa de transmissão máxima é de 250 Kbps e é possível ter mais de 65000 dispositivos ativos (Zigbee Alliance, 2013).

Um dos objetivos desta norma é uniformizar o desenvolvimento de aplicações e dispositivos, trazendo uma boa alternativa aos restantes sistemas. Algumas das vantagens deste tipo de redes são a comunicação com múltiplos saltos muito robusta, grande flexibilidade topológica da rede e baixa latência. Existem três tipos de dispositivos ZigBee, o “ZigBee coordinator” (ZC), o “ZigBee Router” (ZR) e o “ZigBee End Device”. (ZED):

- *ZC -ZigBee Coordinator* - O coordenador é responsável pelo reconhecimento de todos os dispositivos, distribuição de endereços e inicialização / manutenção da rede. Pode também servir como ponte entre várias redes ZigBee.
- *ZR - ZigBee Router* - Tem as características de um dispositivo normal na rede, mas com a capacidade de reencaminhar informação entre dispositivos, sem coordenador.
- *ZED - ZigBee End Device* – O dispositivo terminal apenas comunica com o ZR ou o ZC. Este é o dispositivo que consome menos energia, visto que na maioria das

## 2. Sistemas de monitorização através de redes de sensores sem fios

---

vezes poderá ficar em repouso. Tipicamente é nestes dispositivos que são ligados os sensores para monitorização.

Uma rede ZigBee pode ser organizado em três tipos de topologias: em estrela (*star*), ponto-a-ponto (*peer-to-peer*) e malha (*mesh*).

- **Ponto-a-Ponto** - Nesta topologia, apenas dois dispositivos comunicam entre si.
- **Estrela** - É uma das topologias de rede ZigBee mais simples de serem implementadas, é composta por um dispositivo coordenador e vários dispositivos terminais. Este tipo de rede deve ser instalado em locais com poucos obstáculos à transmissão e receção dos sinais, uma vez que toda a comunicação tem que passar pelo coordenador.
- **Malha** - Esta topologia de rede é dinâmica, ajustando-se à presença ou ausência de dispositivos na rede. A topologia de rede em malha inclui um coordenador da rede, que é o organizador da topologia. No entanto, o paradigma de comunicação na malha não é centralizado, porque cada dispositivo pode comunicar diretamente com outros que estejam no seu alcance e usá-los como próximos saltos para atingir outros dispositivos sem alcance direto (Sun & Zhang, 2009).

Existem vários produtores de *hardware* que desenvolveram rádios com estas características. Uns dos mais usados no contexto das redes de sensores sem fios são os rádios XBee da empresa DIGI (Digi, 2013). Estes rádios para além do protocolo ZigBee suportam um protocolo proprietário de rede de sensores sem fios em malha DigiMesh (Digi, 2010). Este protocolo distingue-se do ZigBee pelo facto de prever mecanismos de organização automática da rede, ao dispensar a existência obrigatória de um nó coordenador. Algumas vantagens deste protocolo são:

- Uma rede em malha mais robusta;
- Um consumo energético otimizado permitindo aos encaminhadores colocarem-se em repouso (*sleep mode*) em cenários onde a poupança energética é crucial;

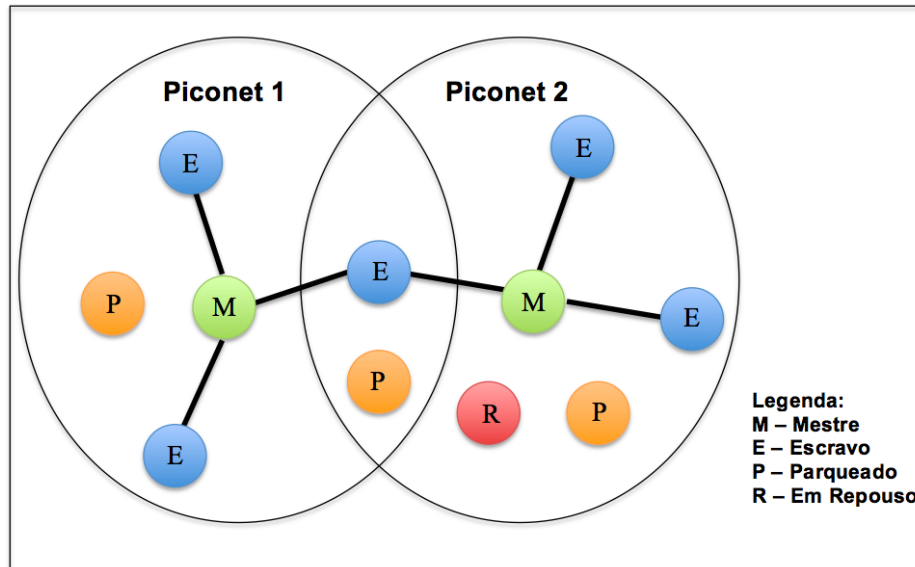


Figura 2.1: Funcionamento do Bluetooth

### 2.1.2 IEEE 802.15.1 (Bluetooth)

A norma do IEEE 802.15.1, mais conhecida por Bluetooth, é um padrão de comunicações sem fios de baixo consumo energético. A transmissão de dados é feita através de rádio frequência. Esta norma baseia-se num modo de funcionamento mestre / escravo. Chama-se piconet à rede formada por um periférico principal (mestre) e todos os restantes periféricos presentes no seu raio de alcance (escravos) (figura 2.1). Podem coexistir até dez piconets na mesma zona de cobertura. Um mestre pode estar conectado simultaneamente até um máximo de sete escravos ativos. Os periféricos de uma piconet possuem um endereço lógico de 3 bits, o que permite um máximo de 8 dispositivos ativos em cada piconet. O Bluetooth também permite ter mais dois tipos de dispositivos, em repouso e parquoados. Os dispositivos em repouso estão inativos para reduzir os consumos energéticos, mas devem de vez em quando ligar-se para efetuar as comunicações. Os dispositivos parquoados são aqueles que estão sincronizados com o mestre mas não têm endereço de rede atribuído. O Bluetooth pode ser classificado em três classes no que diz respeito à sua potência de transmissão: classe 1, classe 2 ou classe 3. Os da classe 1 tem um alcance de rede de 100 metros. Os da classe 2 tem um alcance de 10 metros. Os da classe 3 tem um alcance de 1 metro. Os dispositivos com Bluetooth também se podem classificar em três versões: versão 1.2, versão 2.0 + EDR, e versão 3.0 com taxas de transmissão de 1 Mbit/s, 2 Mbit/s e 24 Mbit/s respetivamente (Bluetooth SIG, 2013).

### 2.1.3 RFID

O RFID (*Radio Frequency Identification*) é uma tecnologia que identifica automaticamente objetos através de sinais de rádio. Esta tecnologia recupera e armazena os dados remotamente, através de dispositivos chamados etiquetas RFID. Uma etiqueta RFID é um transmissor que pode ser colocado em pessoas, objetos, entre outros. Uma etiqueta RFID é colocada num determinado objeto e de seguida, usa-se um leitor com uma ou mais antenas para ler dados do *chip*. O leitor passa as informações para um computador, de modo a que os dados possam ser usados. A grande maioria das etiquetas RFID usa um microcontrolador para armazenar um único número de série. Existem duas grandes categorias de sistemas RFID: RFID passivo e RFID ativo. As etiquetas RFID passivas não têm um transmissor ativo, simplesmente usam a energia do leitor RFID para emitirem o respetivo identificador. As etiquetas ativas têm o seu próprio transmissor e uma fonte de energia própria, em geral uma bateria (as etiquetas ativas podem usar energia solar ou outras fontes energéticas). O RFID também opera com baixos consumos energéticos e tem um alcance máximo de 10 metros (RFID passivo) e 100 metros (RFID ativo) (RFID JOURNAL, 2013).

### 2.1.4 IEEE 802.11 (Wi-Fi)

O Wi-Fi baseia-se na norma do IEEE 802.11 e é uma tecnologia de rede sem fios que usa ondas de rádio para estabelecer ligações de rede a alta velocidade. O Wi-Fi é um protocolo para implementar redes de área local sem fios (WLAN - *Wireless Local Area Network*). As redes wifi podem funcionar em modo ad-hoc ou infraestruturado. No modo infraestruturado existe um ponto de acesso (AP - *Access Point*) que funciona como coordenador. A principal função de um AP é transmitir um sinal sem fios, que os computadores possam detetar, para tal, os computadores e os dispositivos devem ser equipados com adaptadores de rede sem fios. O Wi-Fi, em condições ótimas, tem taxas de transmissão máximas que vão dos 11Mbps (na normal 802.11b) até aos 450Mbps (na norma 802.11n)(Wi-Fi Alliance, 2013). Nesta tecnologia é possível estarem ligados milhares dispositivos por célula (Lee *et al.*, 2007). O Wi-Fi é suportado por várias aplicações e dispositivos, que incluem redes domésticas, PDAs, telefones, entre outros. Todos os produtos são testados e aprovados por uma entidade certificada (Wi-Fi Alliance, 2013), de forma a garantir interoperabilidade entre os diferentes fabricantes.

### 2.1.5 GPRS (*General Packet Radio Service*)

O GPRS baseia-se nas comunicações GSM (*Global System for Mobile Communications*). O GPRS é um serviço de transmissão de dados em pacotes nas redes celulares, que, dependendo da classe da rede e das condições de transmissão, pode ter débitos entre 56Kbps e vários Mbps. Esta tecnologia opera com consumos energético altos. É utilizada para ligações à Internet em dispositivos móveis e fixos (Schiller, 2003).

O custo da utilização do GPRS, ao contrário do que acontece nas chamadas de voz não depende da duração da comunicação mas na quantidade de dados transmitidos. O serviço GPRS está disponível genericamente a nível mundial com o serviço 2.5G. Os utilizadores destes serviços podem aceder a Internet independentemente da sua localização, desde que em local com cobertura de rede. O GPRS é uma tecnologia apropriada para interligar redes de sensores sem fios que se encontrem em funcionamento em localizações remotas, devido à sua cobertura global e baixo custo de utilização para pequenos volumes de dados.

### 2.1.6 Análise comparativa das tecnologias

Tabela 2.1: Tabela comparativa das diferentes tecnologias

Tecnologias	Alcance Máximo (metros)	Consumo Energético	Tipo de rede	Taxa de Transmissão Máxima	Módulos ativos (por célula)
IEEE 802.15.4 (ZigBee)	100m	Baixo	WPAN	250 Kbps	>65000
IEEE 802.15.1 (Bluetooth)	Classe 1 100m Classe 2 10m Classe 3 1m	Baixo	WPAN	Versão 1.2 1 Mbit/s Versão 2.0 2 Mbit/s Versão 3.0 24 Mbit/s	8
RFID	RFID passivo - 10m RFID ativo - 100m	Baixo	WPAN	-	-
IEEE 802.11 (Wi-Fi)		Alto	WLAN	802.11b - 11Mbps 802.11n - 450Mbps	>2000
GPRS	40000m (por célula)	Alto	WWAN	56Kbps	-

Podemos organizar as tecnologias de redes sem fios em três classes: redes sem fios de área pessoal (WPAN - *Wireless Personal Area Network*), redes sem fios de área local (WLAN) e redes sem fios de área alargada (WWAN - *Wireless Wide Area Network*). Ao analisar a tabela 2.1, onde se efetua a comparação das diferentes tecnologias de rede, é possível verificar que a tecnologia mais adequada para WPANs em redes de sensores sem

fios é a tecnologia ZigBee. A escolha desta tecnologia é justificada pelo facto de o número de dispositivos da rede ser muito superior ao da tecnologia Bluetooth, o baixo consumo energético e a possibilidade de ser utilizada a topologia de rede em malha. O ZigBee tem um débito binário de transmissão relativamente baixo, contudo para a quantidade de dados transmitida em redes de sensores sem fios é perfeitamente apropriado. Em relação as tecnologias de redes de área alargada WWAN, uma vez que as redes de sensores sem fios são implementadas em muitos cenários sem qualquer infraestrutura rede disponível ou em locais de difícil acesso, verificamos que o GPRS é a melhor escolha. Não são necessários mecanismos de suporte na implementação deste sistema na medida em que abrange uma vasta área de cobertura.

## 2.2 Módulos das redes de sensores

A maioria das redes de sensores sem fios pode possuir alguns de três tipos de dispositivos: dispositivos pessoais (módulos que interagem com um indivíduo em particular), dispositivos ambientais (módulos que interagem com o ambiente onde estão inseridos) e *gateways* (módulos para interligação entre tecnologias de rede).

### 2.2.1 Dispositivos pessoais

Os dispositivos pessoais utilizam, para comunicar, protocolos de redes de área pessoal (*PAN - Personal Area Network*), que neste contexto são designadas por BANs (*Body Area Network*), uma vez que estes dispositivos se encontram colocados junto ao corpo ou na roupa dos indivíduos. No contexto da área da saúde, estas redes são usadas em pacientes ou em idosos. Algumas utilizações típicas deste tipo de dispositivos são: eletrocardiograma (ECG), diversos sensores de parâmetros vitais (temperatura, batimento cardíaco, etc) e acelerómetros. Uma das limitações destes equipamentos é o consumo energético (Alemdar & Ersoy, 2010). A usabilidade destes dispositivos é um aspeto importante a ter em conta, uma vez que são transportados junto ao corpo. É crucial que não se tornem incómodos ou impeçam a realização de tarefas diárias (Seo *et al.*, 2007). Estes módulos devem ter uma elevada disponibilidade assegurando um acompanhamento contínuo do indivíduo em questão.

### 2.2.2 Dispositivos ambientais

Os dispositivos ambientais incluem tipicamente sensores de parâmetros físicos, tais como, os sensores de pressão atmosférica, temperatura, luminosidade e humidade. São colocados estrategicamente no espaço a monitorizar fornecendo, em tempo real, informação sobre parâmetros ambientais na vizinhança da sua localização. Este dispositivos também recorrem a tecnologias de rede de área pessoal para comunicarem com os restantes equipamentos da rede de sensores (Alemdar & Ersoy, 2010). No caso de uma topologia de rede em malha, estes dispositivos podem servir como encaminhadores, uma vez que tipicamente possuem uma maior autonomia energética. Além disso, podem garantir uma melhor cobertura de rede, ao serem posicionados estrategicamente no espaço (Gao *et al.*, 2008).

### 2.2.3 Dispositivos *gateway*

Os dispositivos do tipo *gateway* são responsáveis pela interligação de várias tecnologias de rede. Podem garantir que os dados trocados numa rede de curto alcance (PAN) possam ser enviados através de uma rede de área alargada para um servidor remoto. A *gateway* tem capacidade de comunicação bidirecional, permitindo consulta remota da rede de sensores sem fios. Uma *gateway* pode ser um dispositivo sensor inserido no ambiente, bem como um computador portátil ou um servidor (Alemdar & Ersoy, 2010). Um dos requisitos deste dispositivo é garantir a segurança das comunicações efetuadas de forma a assegurar a confidencialidade dos dados recolhidos pela rede de sensores sem fios (Leister *et al.*, 2008).

## 2.3 Sistemas de monitorização na área da saúde

Uma área de aplicação bastante importante das redes de sensores sem fios, é a monitorização de parâmetros vitais em pacientes e o acompanhamento de idosos. O crescente envelhecimento da população cria uma enorme pressão sobre os sistemas de saúde, tanto nos ambientes hospitalares como sobre os lares de idosos. A generalidade dos locais onde as pessoas se movimentam não se encontra preparado para a monitorização e assistência vital. O que obriga à existência de equipas especializadas e multidisciplinares em per-

manência. Uma vez que não é economicamente viável aumentar o número de profissionais de saúde para cobrir as necessidades do sistema, é importante recorrer a dispositivos inteligentes que permitam monitorizar os mais variados parâmetros vitais e ambientais, de forma a garantir um acompanhamento próximo dos pacientes ou idosos. Os profissionais de saúde podem controlar a informação vital de cada paciente em tempo real através de uma interface gráfica. As situações de emergência podem ser notificadas aos profissionais de saúde através de dispositivos móveis, por exemplo (Alemdar & Ersoy, 2010).

Existem vários protótipos e aplicações comerciais, para o acompanhamento de idosos, crianças e doentes crónicos. As capacidades de monitorização destes sistemas podem ser subdivididas em cinco categorias: monitorização das atividades diárias, deteção de quedas, localização de pacientes, acompanhamento da toma de medicamentos e monitorização do estado de saúde.

### **Monitorização das atividades diárias**

Este tipo de aplicações tem como objetivo principal identificar e reportar as diferentes atividades executadas pelos indivíduos ao longo do dia. Estas aplicações podem ser usadas em indivíduos em períodos de convalescença ou então no acompanhamento de idosos. Deve ser possível identificar tarefas como ver televisão, dormir ou mesmo passear. Também devem ser capazes de detetar condições estranhas ou problemas que possam surgir no dia a dia dos indivíduos. A análise deve ser feita em tempo real de forma a socorrer rapidamente os indivíduos em situações de emergência.

### **Deteção de quedas**

Este tipo de aplicações está focado nas condições fisiológicas dos pacientes. Em particular, pretende-se acompanhar a postura e efetuar a deteção de quedas em pessoas com necessidades de cuidados especiais. Um grupo especialmente vulnerável são os idosos uma vez que são suscetíveis a este tipo de acidentes. Neste tipo aplicação deve ser garantido um curto tempo de resposta aquando da verificação de uma queda. Os tipos de sensores mais usados neste cenário são os acelerómetros, cujos dados, com um processamento adequado, permitem determinar a postura do indivíduo em tempo real.

### **Localização de pacientes**

Este tipo de aplicações tem como objetivo principal determinar a localização de um

paciente, mais uma vez em tempo real. É possível garantir que o indivíduo se encontra posicionado dentro de um perímetro seguro pré-estabelecido, sendo possível socorrê-lo de forma rápida no caso de alguma situação de emergência surgir, uma vez que a sua posição exata é conhecida.

### **Acompanhamento da dosagem de medicamentos**

Nos dias de hoje cada vez mais pacientes têm de tomar medicamentos para a sua sobrevivência. De forma a garantir a toma atempada nas quantidades adequadas, é importante a existência de aplicações que os possam ajudar nestas tarefas. Para impedir enganos a nível de dosagem, na escolha do medicamento ou mesmo em que horas o devem tomar. Nestas aplicações pretende-se assegurar que não ocorra a interrupção do tratamento, sobredosagem ou troca de medicamentos. Por vezes enganos na medicação podem provocar problemas graves no estado de saúde dos pacientes.

### **Monitorização de parâmetros vitais**

Este tipo de aplicações faz uso de sensores fisiológicos e ambientais. O objetivo é obter informações sobre o estado de saúde dos pacientes, recorrendo a sensores de frequência cardíaca, pressão arterial, temperatura, oxigenação, entre outros. Condições anormais devem ser reportadas em tempo real aos profissionais de saúde.

Podemos concluir da descrição efetuada, que um sistema de monitorização para a área da saúde deverá conjugar vários pontos dos acima mencionados. Na secção seguinte apresentaremos um conjunto de sistemas e efetuaremos o seu estudo comparativo.

## **2.4 Estado da arte em sistemas de monitorização na área da saúde**

Na área da saúde já existem vários sistemas de redes de sensores para a monitorização de parâmetros, tanto ambientais como fisiológicos. Muitos destes sistemas já se encontram implementados ou em vias de concretização. Iremos de seguida destacar alguns dos mais relevantes.

### 2.4.1 Sistema Lifeguard

O sistema Lifeguard (Montgomery *et al.*, 2004), é um sistema que visa ter uma constante monitorização de uma determinada pessoa com fins medicinais. Consiste num sistema corporal discreto, eficaz, fácil de usar e capaz de armazenar dados de sinais vitais durante várias horas. Permite transmiti-los a pedido e em tempo real, com uso de tecnologias sem fios seguras. Este sistema está a ser desenvolvido pela NASA Ames Research Center e pela Universidade de Stanford. Foi inicialmente concebido para astronautas, mas é também aplicável a clínicas, casas de saúde, socorristas e aplicações militares.

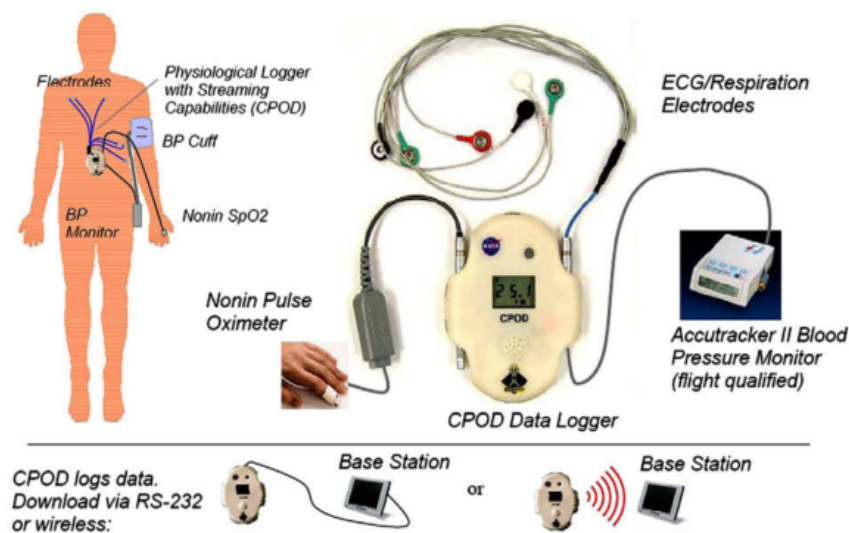


Figura 2.2: Sistema Lifeguard (Montgomery *et al.*, 2004)

Este sistema usa vários sensores para registar diversos sinais vitais de pacientes, como por exemplo, a temperatura, o batimento cardíaco, a respiração, entre outros. Estes sensores encontram-se ligados a um dispositivo, que foi desenvolvido pelos criadores deste projeto. O dispositivo fica ligado ao corpo do paciente e envia a informação via Bluetooth para um tablet pc. Este trata, armazena os dados como se pode ver na figura 2.2.

### 2.4.2 Sistema AICO

O Sistema denominado por AICO (Lu & Fu, 2009), é um projeto que se enquadra na monitorização do dia a dia das pessoas. Este trabalho apresenta uma abordagem de reconhecimento da localização e da atividade dos pacientes com recurso a um motor de fusão

Bayesiano. Este motor correlaciona estatisticamente os dados de diferentes tipos de sensores para identificar estados particulares de forma a melhorar a robustez e o desempenho geral. Este projeto tem a sua principal contribuição científica em dois pontos cruciais. Em primeiro lugar, como alternativa à utilização de hardware existente no mercado, foi criado um protótipo cujo nome é AICO. O sistema AICO foi usado para facilitar a interação natural com os utilizadores. Além disso, é integrado numa arquitetura bastante flexível o que permite haver uma interoperabilidade entre outras tecnologias semelhantes. Em segundo lugar, o sistema necessita de um número mínimo de sensores (ultrassom, acelerómetro) para executar o reconhecimento de atividade de uma forma precisa. Os resultados do reconhecimento de atividade são estatisticamente exibidos num mapa de atividade de uma maneira mais agradável e intuitiva.

### 2.4.3 Sistema AlarmNet

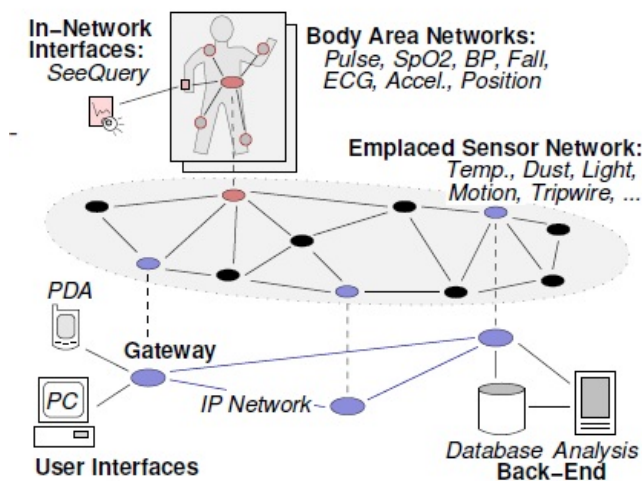


Figura 2.3: Sistema AlarmNet (Wood *et al.*, 2008)

O AlarmNet (Wood *et al.*, 2008), é um sistema composto por uma rede de sensores sem fios projetada para uma contínua monitorização do estado de saúde de pacientes. O AlarmNet é utilizado em ambientes onde é necessária a intervenção de auxiliares de saúde, como por exemplo lares, hospitais ou casas de saúde. Este sistema tem dois objetivos principais, em primeiro lugar, o sistema deve adaptar-se aos seus utilizadores e ao ambiente que os rodeia, permitindo uma melhor perceção do meio e uma melhor avaliação do estado de saúde de um determinado paciente. Outra vertente da adaptação ao meio é a gestão de energia, ou seja, de acordo com o meio é feita uma análise para saber se é

## 2. Sistemas de monitorização através de redes de sensores sem fios

necessário mais ou menos energia para os dispositivos (análise comportamental dos utilizadores). Em segundo lugar, o sistema tem um grande número de sensores, de modo a facilitar a análise do meio e dos pacientes envolvidos.

O AlarmNet (figura 2.3) é constituído por redes de sensores corporais, redes de sensores ambientais, uma *gateway*, uma unidade de processamento de dados (*Back End*) e uma interface gráfica. A rede de sensores corporal é composta por alguns sensores como: ECG, oxímetro, acelerómetro, entre outros. Tem como objetivo medir os dados vitais de pacientes para emitir alertas caso seja necessário. As redes de sensores ambientais são inseridas no meio ambiente para analisar determinados parâmetros, como temperatura, poeira e luz. Além disso, possuem sensores de movimento que fornecem a localização dos pacientes. A *gateway* serve de interface entre as redes de sensores sem fios e a Internet. A unidade de processamento efetua a análise de dados provenientes dos sensores com a criação de perfis de utilização. Finalmente, a interface gráfica permite aos médicos, enfermeiros, ou familiares analisar os dados provenientes da rede de sensores.

### 2.4.4 Sistema HipGuard



Figura 2.4: Sistema HipGuard (Iso-Ketola *et al.*, 2008)

O sistema HipGuard (Iso-Ketola *et al.*, 2008), é um sistema de medição portátil para pacientes em recobro (operações à anca). A necessidade de tal sistema invalida uma longa recuperação a que os pacientes estão sujeitos. Esta recuperação em muitos casos é feita em casa. Para evitar o seu deslocamento, o paciente deve seguir estritamente

## 2. Sistemas de monitorização através de redes de sensores sem fios

recomendações dos auxiliares de saúde durante esse período. O HipGuard, permite que os pacientes possam exercer as suas atividades normais de forma livre e sem incómodos. Aqui, o paciente veste umas roupas que permitam uma melhor monitorização de possíveis quedas ou problemas que possam aparecer. Este sistema é constituído por uma rede de sensores sem fios, alguns acelerómetros e sensores magnéticos capazes de medir a postura da cintura do paciente e das suas pernas. O sistema também mede a carga colocada sobre a perna operada com um sensor. A comunicação sem fios entre os dispositivos e a unidade de controlo é realizada por rádio frequência (protocolo proprietário de rede de sensores sem fios ANT).

O sistema HipGuard (figura 2.4), é constituído por uma peça de roupa composta por sensores, um dispositivo para colocar no pulso para medir parâmetros vitais (pulsação) e um telemóvel. Todos os dados provenientes dos sensores são processados numa unidade central, que os analisa e envia via Bluetooth para um telemóvel que os reencaminha para a internet através de uma ligação GSM.

### 2.4.5 Sistema Medical Supervision

Medical Supervision (Zhou *et al.*, 2007), é um sistema que consiste numa rede de sensores sem fios para monitorização médica de pacientes. Este sistema consiste numa rede corporal de sensores sem fios para medição de parâmetros biométricos para fornecer informações importantes sobre pacientes (pressão sanguínea, pulsação, etc).

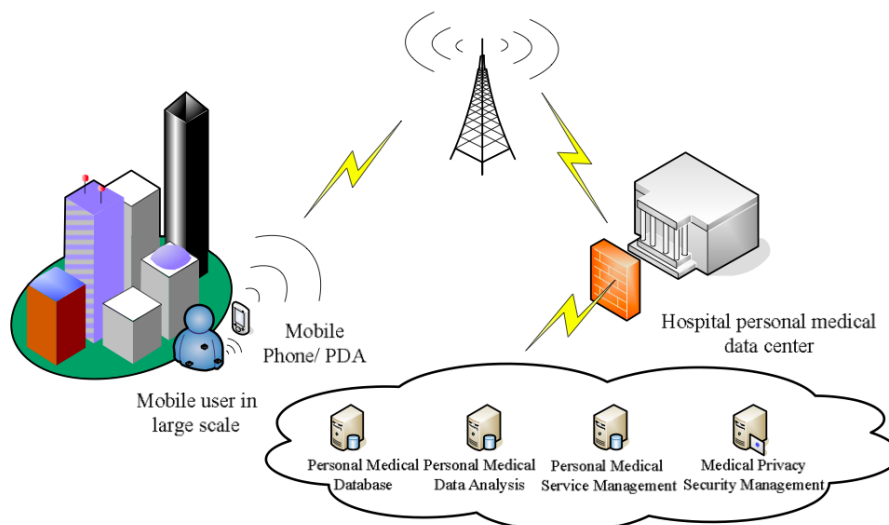


Figura 2.5: Arquitetura genérica do sistema medical supervision (Zhou *et al.*, 2007)

## 2. Sistemas de monitorização através de redes de sensores sem fios

A figura 2.5 ilustra a arquitetura genérica do sistema, que é constituído por três camadas diferentes. A primeira camada consiste numa rede de sensores corporais, que tem como objetivo a monitorização dos parâmetros vitais de pacientes. A segunda camada trata de enviar todos os dados, tanto para os computadores locais como para a Internet via Wi-Fi. Na terceira camada, toda a informação dos pacientes é agregada no centro de dados médico. Esses dados têm de ser armazenados e analisados para ajudar os médicos a determinar o estado de saúde do paciente. Com base nas informações fisiológicas, os médicos podem fazer um diagnóstico inicial adequado e aconselhar o paciente com o envio dos resultados para o telemóvel / PDA ou serviços Web.

### 2.4.6 Sistema CAALIX

O sistema CAALYX (Boulos *et al.*, 2007), é um sistema de monitorização para a área de saúde. Este sistema subdivide-se em três categorias distintas: sistema de monitorização móvel, sistema de monitorização doméstica e sistema de monitorização central (figura 2.6).

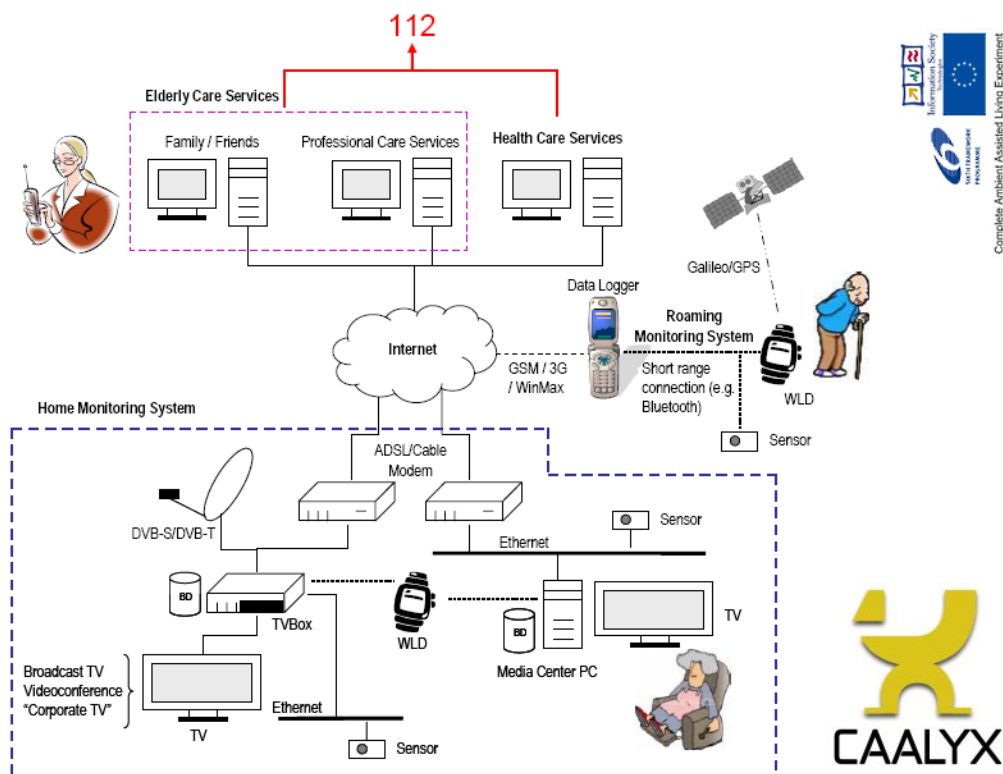


Figura 2.6: Arquitetura genérica do sistema CAALYX (Boulos *et al.*, 2007)

## 2. Sistemas de monitorização através de redes de sensores sem fios

O sistema de monitorização móvel pretende monitorizar idosos durante as suas atividades diárias, tanto no interior como no exterior. Este sistema permite a deteção de quedas e posição geográfica dos pacientes para emergências. O sistema de monitorização doméstica pretende fornecer um serviço de vídeo que servirá para comunicar com os pacientes. Este serviço tem como objetivo ajudar os idosos nas suas tarefas domésticas (compra de mercearias, limpeza, jardinagem, consultas periódicas com médicos ou auxiliares de saúde). O sistema de monitorização central tem como função receber alertas de idosos, para que os auxiliares de saúde possam avaliar os alertas recebidos, se de facto é necessária a intervenção de um serviço de emergência (112). Neste caso a posição geográfica e os dados sobre o tipo de emergência provável (queda, trombose, etc.) serão transmitidos, para que uma equipa de emergência devidamente equipada possa ser enviada rapidamente ao local onde se encontra o paciente.

### 2.4.7 Análise comparativa dos sistemas de monitorização na área da saúde

Na tabela seguinte (tabela 2.2), apresentamos um estudo comparativo das diferentes características de cada um dos sistemas de monitorização para a saúde analisados nas secções anteriores.

Tabela 2.2: Tabela comparativa dos diferentes sistemas da área da saúde

Sistemas / Características	B A N	P A N	W A N	Localização de Pacientes	Tecnologias sem fios	Domínios de Aplicação	Sensores	Requer InfraEstrutura de Rede
Lifeguard	+	-	-	-	Bluetooth	Monitorização de parâmetros vitais	ECG Oxímetro Acelerómetro Pressão Sanguínea	-
AICO	+	+	-	+	RFID	Monitorização de atividades diárias	Acelerómetro Ultrassom	+
AlarmNet	+	+	+	+	Protocolos Proprietários	Monitorização de parâmetros vitais	ECG Oxímetro Acelerómetro	+
HipGuard	+	+	+	+	GSM Bluetooth ANT	Deteção de Quedas e Postura	Sensor de Carga Acelerómetro Giroscópio	-
Medical Supervision	+	+	+	+	Wi-Fi	Monitorização de parâmetros vitais	Temperatura Oxímetro Pressão Sanguínea	+
CAALYX	+	-	+	+	ZigBee Wi-Fi Bluetooth GPRS	Monitorização de Parâmetros vitais Deteção de quedas	Acelerómetro Temperatura	+

Todos os sistemas analisados têm como principal objetivo melhorar os sistemas de saúde, facilitar a vida dos auxiliares de saúde e melhorar o bem-estar dos pacientes. Estes projetos enquadram-se em três tipos de aplicações: monitorização das atividades diárias dos pacientes, deteção de quedas e monitorização de parâmetros vitais. Todos estes sistemas possuem dispositivos inseridos numa BAN, isto é, aparelhos ligados aos pacientes para determinar todo o tipo de parâmetros fisiológicos. Por outro lado, apenas alguns usam redes de área pessoal, ou seja, uma rede que permita também analisar o ambiente que rodeia os pacientes. Nem todos os sistemas fazem uso de *gateways*, uma vez que alguns deles apenas reportam os dados dos pacientes para um servidor local. Nos sistemas analisados, a tecnologia de redes sem fios mais presente é o Bluetooth, no entanto, o sistema CAALYX também faz uso da tecnologia ZigBee. Esta tecnologia possui características que a tornam apelativa para este tipo de sistemas e no futuro deverá ser predominante neste contexto. Ao compararmos os sensores utilizados nos sistemas mencionados, verificamos que são muito semelhantes entre eles. A este nível destaca-se o sistema LifeGuard, que é o que permite recolher um maior número de parâmetros vitais. Verifica-se também que alguns dos sistemas possuem funcionalidades que permitem a localização dos pacientes em estudo, o que pode ser visto como uma mais-valia para o tempo de resposta em caso de alerta. Por fim, é relevante notar que quase todos os sistemas carecem de alguma infraestrutura de rede pré-instalada nos locais de aplicação.

### 2.5 Sistemas de monitorização ambiental

As redes de sensores sem fio podem ser usadas para monitorizar diferentes parâmetros ambientais tais como: a temperatura do ambiente, humidade do ar, temperatura do solo, humidade do solo, entre outros. Em diversas áreas, como por exemplo na agricultura, a monitorização desses parâmetros permite minimizar o tempo de resposta a situações de alterações meteorológicas, aumentando a produtividade e prevenindo o agravamento de problemas nos locais monitorizados. Podem ainda ser usadas na determinação do momento ótimo para a colheita e da aplicação de pesticidas (Biesla, 2012).

Tal como na área da saúde, existem vários protótipos e aplicações comerciais para a monitorização ambiental. Estas aplicações podem ser classificadas em três categorias: levantamento de parâmetros ambientais, radiação solar / ultravioleta e temperatura do solo.

### **Determinação da intensidade da Radiação Solar / Ultravioleta**

Neste caso o sistemas efetua a medição dos valores de radiação solar incluindo a intensidade dos raios ultravioleta. Estes parâmetros são relevantes, uma vez que, podem ter um impacto bastante negativo tanto a no solo como a nível das plantações.

### **Levantamento de outros parâmetros meteorológicos**

Esta classe de aplicações permite analisar, em tempo real, diversos parâmetros que visam interpretar o estado do ambiente num determinado momento. São basicamente estações meteorológicas que permitem aferir os valores da temperatura, humidade, pressão atmosférica e pluviosidade, entre outros.

### **Levantamento de parâmetros do solo**

Aqui, o objetivo é determinar, em tempo real, o estado do solo, com a análise de diversos parâmetros que visam interpretar as reações do solo às diferentes condições climáticas. Tipicamente são recolhidos valores, da temperatura e humidade do solo a diferentes profundidades.

## **2.6 Estado da arte em sistemas de monitorização ambiental**

Nesta secção, vamos apresentar alguns dos sistemas de monitorização ambientais, usados em contexto real.

### **2.6.1 Sistema de monitorização de vinhas na Galiza**

Neste projeto foi implementado um sistemas de monitorização de uma vinha, na zona de Galiza, com recurso a redes de sensores sem fios. O sistema desenvolvido baseia-se na utilização de WASPMOTES (hardware proprietário da Libelium) (Libelium, 2013).

## 2. Sistemas de monitorização através de redes de sensores sem fios

O esquema da figura 2.7 mostra a arquitetura do sistema em causa. Este sistema é capaz de monitorizar parâmetros ambientais como a temperatura do solo e do ar, a humidade relativa do ar e do solo, entre outros.



Figura 2.7: Diagrama genérico do sistema (Biesla, 2012)

A monitorização das condições da vinha em tempo real pode ser usada para prevenir o aparecimento de pragas e para controlar o processo de desenvolvimento e maturação da uva. A utilização deste sistema permite que os técnicos possam responder rapidamente a alterações das condições atmosféricas no local da vinha. Assim, há controlo dos processos de maturação da uva desde a sua plantação até a sua recolha (Biesla, 2012).

### 2.6.2 Sistema de monitorização aérea e térrea numa vinha

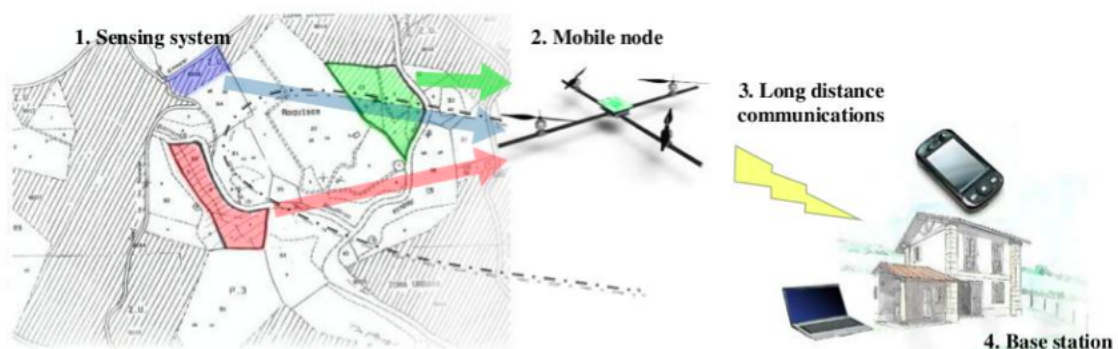


Figura 2.8: Arquitetura genérica do sistema (Valente *et al.*, 2011)

Este projeto consiste num sistema de monitorização de vinhas e visa o controlo dos campos de cultivo, com a obtenção de dados, tanto de forma aérea como térrea (figura 2.8). O sistema é composto por três módulos.

## 2. Sistemas de monitorização através de redes de sensores sem fios

Um sistema de deteção, constituído por uma rede de sensores sem fios, que visa recolher de forma inteligente os dados (temperatura, humidade, entre outros) das vinhas. Um módulo móvel composto por uma pequena aeronave telecomandada, usada para propagar os dados entre módulos fixos. Finalmente, um terceiro módulo que faz de ponte entre a rede móvel e a Internet. Este módulo possui uma antena XBee que recebe os dados da rede de sensores, assim como, uma antena GPRS, que permite a difusão de dados para redes de longo alcance (Valente *et al.*, 2011).

### 2.6.3 Sistema de monitorização de parâmetros ambientais

Este projeto consiste num sistema de monitorização de parâmetros ambientais. Este sistema utiliza uma rede de sensores sem fios. A arquitetura do sistema compreende um conjunto de dispositivos sensores localizados em áreas críticas de uma vinha, para a recolha periódica de dados atmosféricos e ambientais.

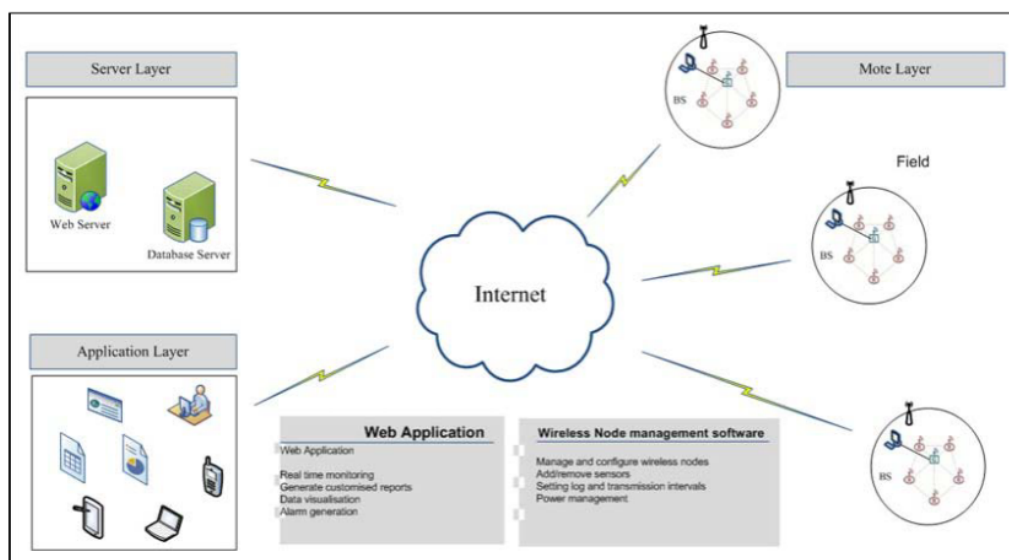


Figura 2.9: Arquitetura do protótipo de monitorização de parâmetros ambientais (Ghobakhlou *et al.*, 2011)

O sistema está subdividido em três camadas (figura 2.9): a camada de sensores, a do servidor e a de aplicação. A camada de sensores é constituída por vários dispositivos compostos por microcontroladores e diversos sensores, que comunicam via *gateway*, denominada de BS (*Base Station*). Esta BS recolhe a informação vinda dos sensores e envia-a para um servidor. A camada de Servidor tem como principal função receber os dados provenientes da rede de sensores e colocá-los numa Base de Dados para posteriormente

serem disponibilizados na internet. A camada de aplicação permite que os utilizadores do sistema tenham acesso remoto aos dados da rede de sensores, através de uma página Web. Aqui pode-se consultar em tempo real o estado da vinha (Ghobakhlou *et al.*, 2011).

### 2.6.4 Sistema de monitorização de uma estufa

Este sistema (Liu *et al.*, 2007), consiste num protótipo desenvolvido e devidamente testado para medição de parâmetros ambientais numa estufa.

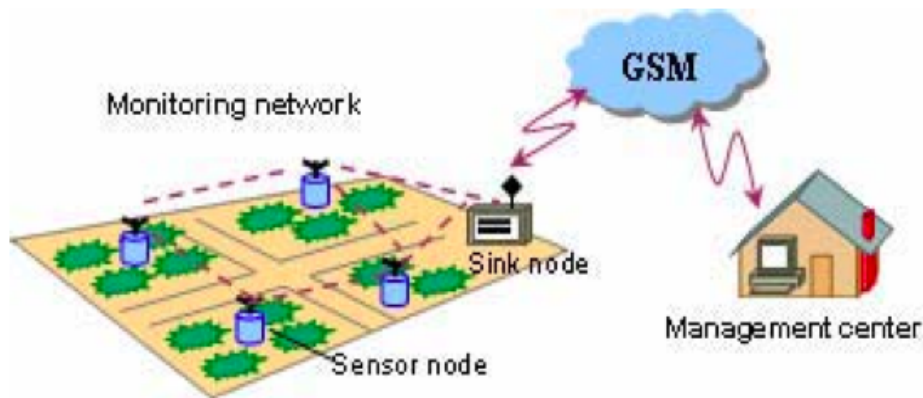


Figura 2.10: Arquitetura do protótipo de monitorização de uma estufa (Liu *et al.*, 2007)

O sistema subdivide-se em três partes fundamentais (figura 2.10). A primeira parte é composta por uma rede de sensores sem fios em malha. Os parâmetros recolhidos pelos sensores são: temperatura, humidade e estado do solo. A segunda parte é um dispositivo central denominado de *Sink Node*. Este módulo recolhe toda a informação da rede para depois a enviar a um servidor. Além do envio dos dados, também permite a visualização dos mesmos através de um LCD. A terceira parte, denominada de *Management Center*, recebe todos os dados provenientes da rede via GSM, onde são armazenados e analisados.

### 2.6.5 Sistema MasliNET

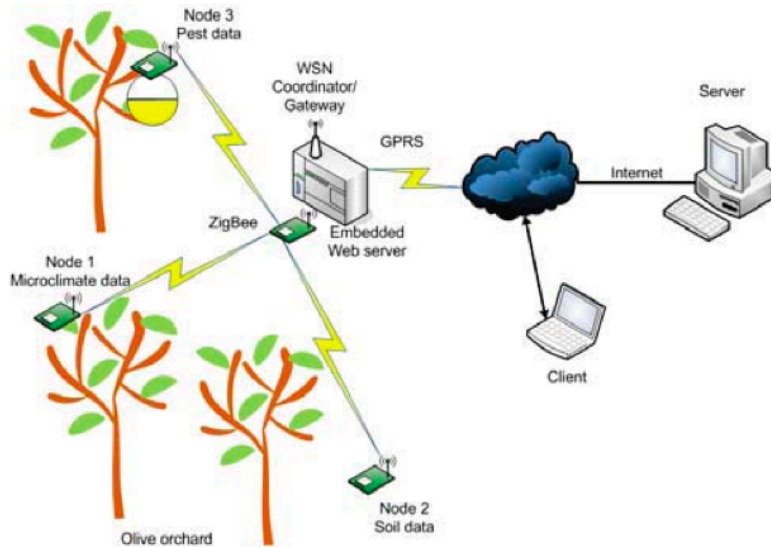


Figura 2.11: Arquitetura do sistema MasliNET (Jelicic *et al.*, 2011)

O sistema MasliNET (Jelicic *et al.*, 2011), desenvolvido numa universidade da Croácia, é composto por uma rede de sensores sem fios. Este protótipo foi criado para monitorizar as condições climáticas, de forma a evitar o possível aparecimento de pragas em oliveiras. Cada módulo do sistema, tem uma câmara integrada, que reúne informações visuais de alta resolução. Como podemos ver na figura 2.11, esta informação é recolhida através de uma rede sem fios, utilizando a norma ZigBee, para uma *gateway* que a envia para a Internet via GPRS. Para além da informação visual, permite ainda recolher dados tais como: a temperatura e humidade do ar, pressão barométrica, intensidade da luz e temperatura do solo. Cada módulo é construído com base num microcontrolador da atmel (ATMEL) e rádios com tecnologia ZigBee. O funcionamento do sistema garante consumos energéticos muito baixos, o que permite uma maior autonomia dos módulos.

### 2.6.6 Análise comparativa dos sistemas de monitorização ambiental

Na secção anterior foram apresentados alguns sistemas que usam redes de sensores sem fios para efetuarem monitorização ambiental. Embora sendo um pequeno subconjunto de todos os projetos existentes, na tabela 2.3 é feito um estudo comparativo das diferentes características de cada um deles.

## 2. Sistemas de monitorização através de redes de sensores sem fios

Tabela 2.3: Tabela comparativa dos diferentes sistemas de monitorização ambiental

<b>Sistemas / Características</b>	<b>Gateway</b>	<b>Tecnologias sem fios</b>	<b>Domínios de Aplicação</b>	<b>Sensores</b>	<b>Mecanismo de poupança Energética</b>
Monitorização de uma vinha	Sim	ZigBee RFID	Agricultura	Temperatura Humidade	Sim
Monitorização aérea e térrea de uma vinha	Sim	ZigBee GPRS	Agricultura	Temperatura Humidade Pressão Atmosférica	Sim
Monitorização ambiental	Sim	GPRS	Ambiente	Temperatura Humidade	Sim
Monitorização de uma estufa	Sim	GSM ZigBee	Agricultura	Temperatura Humidade	Não
Maslinet	Sim	ZigBee GPRS	Agricultura	Temperatura Humidade Pressão Atmosférica Luminosidade	Sim

Na comparação dos sistemas, podemos verificar que todos eles fazem uso de *gateways*, para a recolha de toda a informação da rede e propagação dos dados para um servidor central. Verifica-se também que quase todos recorrem a utilização da tecnologia ZigBee, o que se compreende neste cenário de aplicação, devido ao longo alcance que permite e a existência de uma topologia de rede em malha. Em termos de sensores utilizados e de parâmetros ambientais monitorizados, são também bastante equivalentes entre eles, quer ao nível da recolha de dados do ar como do solo. Alguns destes sistemas evidenciam preocupação com o consumo energético dos módulos de forma a maximizar a sua autonomia.

## Capítulo 3

### Sistema SSNS (*Smart Sensor Network System*)

Como mencionado anteriormente, existem muitos cenários onde é vantajoso utilizar as redes de sensores sem fios. Em concreto neste trabalho, foi desenvolvido um protótipo que implementa uma infraestrutura de rede genérica capaz de ser adaptada à generalidade das áreas de aplicação das rede de sensores sem fios. Contudo, este protótipo foi demonstrado em duas áreas de aplicação concretas, a área da saúde e a área da monitorização de parâmetros ambientais.

O protótipo desenvolvido (Sobral *et al.*, 2011), é composto por dispositivos que incluem microcontroladores e sensores que recolhem dados físicos do ambiente, estes por sua vez são transmitidos para uma *gateway* que os reencaminha para um servidor. Os dados recebidos são armazenados numa base de dados e posteriormente apresentados ao utilizador através de uma página na Internet . Estes dispositivos foram ajustados a diferentes cenários de aplicação e implementados usando tecnologia sem fios, *hardware* de baixo custo e *software* livre.

## 3.1 Requisitos funcionais e não-funcionais

Durante a fase de levantamentos de requisitos deste sistema, identificaram-se diversos pontos a ter em consideração na elaboração do protótipo.

- **Flexibilidade** - O sistema deve reduzir significativamente o esforço de instalação e manutenção.
- **Fiabilidade** - O sistema deve ser tolerante a falhas garantindo que o desaparecimento de um determinado módulo não origina o colapso do sistema.
- **Recolha de dados em tempo real** - O sistema deve funcionar em modo contínuo recolhendo periodicamente os dados dos sensores e disponibilizando-os ao servidor central.
- **Precisão da informação** - A informação recolhida pelos dispositivos deve ser a mais precisa possível de forma a garantir fiabilidade nas decisões desencadeadas pelo sistema.
- **Troca de Informação Rápida** - Os tempos de resposta do sistema devem ser baixos, de forma a reduzir o tempo de reação a situações de emergência.
- **Escalabilidade** - Este sistema deve poder crescer e ser capaz de acomodar um elevado número de dispositivos dependendo da aplicação em concreto.

Tendo em conta os diversos requisitos, foi possível definir o seguinte quadro (tabela 3.1).

Tabela 3.1: Lista de requisitos do sistema

Requisitos	Exemplos
Funcionais	F1. O sistema deve recolher dados vitais como por exemplo batimento cardíaco, temperatura F2. O sistema deve recolher dados ambientais como por exemplo humidade, luz, temperatura F3. O sistema deve agregar num servidor todos os dados recolhidos F4. Os dispositivos devem reportar leituras periodicamente F5. O sistema deverá disponibilizar interfaces de administração e visualização F6. O sistema deve gerar alertas em situações de emergência F7. O sistema deve gerar uma localização aproximada dos dispositivos móveis
Não-Funcionais	NF1. Deve ser utilizado <i>hardware</i> de baixo custo NF2. Não deverá ser necessária infraestrutura de rede pre-existente NF3. O sistema deve operar em tempo real NF4. O <i>software</i> desenvolvido deverá ser de código aberto

## 3.2 Arquitetura do sistema SSNS

O sistema proposto tem como objetivo monitorizar parâmetros, tanto vitais como ambientais. Para tal, foram criados três dispositivos distintos, um dispositivo ambiental, uma *gateway* e um dispositivo pessoal. Estes dispositivos permitem a recolha de dados ambientais e vitais com o objetivo de determinar o estado do objeto de estudo em tempo real. A informação é enviada pela *gateway* a um servidor remoto, que tem como objetivo processar, analisar e armazenar os dados.

A figura 3.1 apresenta um diagrama de referência dos dispositivos que compõem o sistema. O sistema é composto por três tipos de dispositivos e um servidor. Um dispositivo pessoal, que tem como principal função monitorizar dados vitais dos pacientes e obter uma aproximação da sua localização. Um dispositivo ambiental, que faz de repetidor e também recolhe dados ambientais do espaço envolvente. Uma *gateway* que tem como objetivo fazer a ponte entre a rede de sensores e a Internet. Por fim, um servidor que armazena todos os dados obtidos.

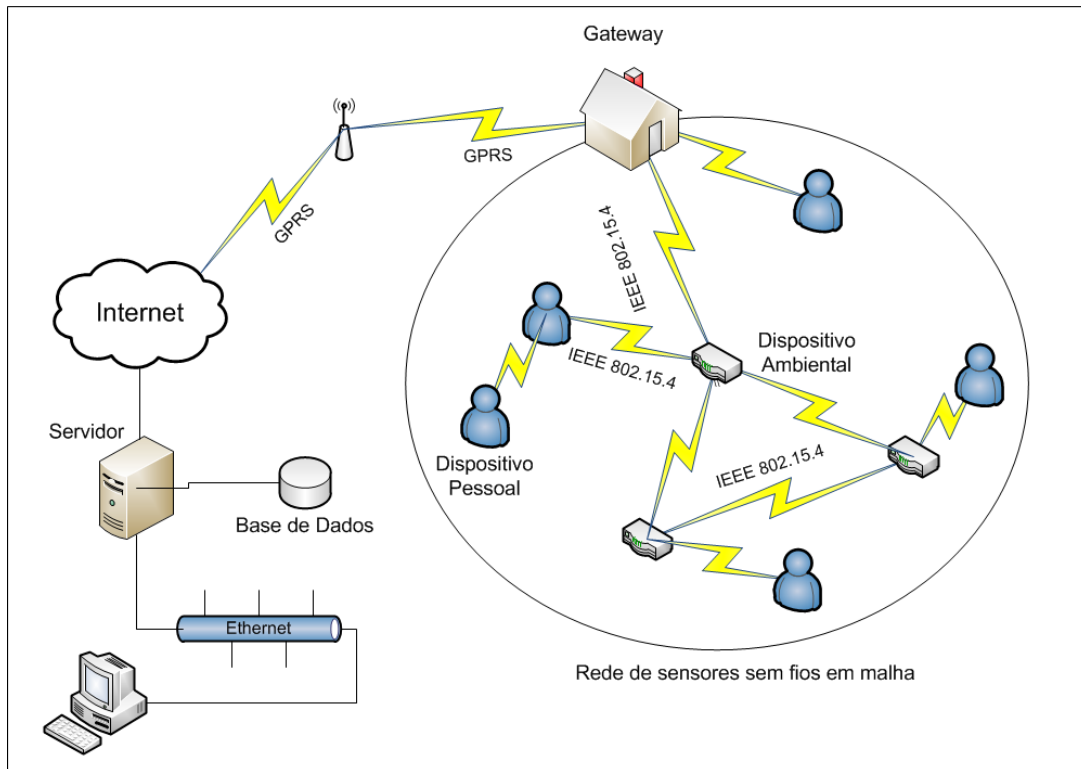


Figura 3.1: Arquitetura modular do sistema SSNS

Na figura é possível ver a rede em malha, que serve para recolher toda a informação tanto dos pacientes como do ambiente que os rodeia, o que facilita o uso de vários dispositivos espalhados pelo ambiente. Está também presente a *gateway*, que funciona como coordenador da rede em malha e reencaminha os dados para o servidor remoto que os processa.

### 3.3 Funcionamento do sistema SSNS

A figura 3.2 mostra a pilha protocolar de todo o sistema, evidenciando as diversas camadas de *hardware* e *software* presentes em cada um dos dispositivos. Nas secções seguintes serão detalhados cada um dos dispositivos e a sua estrutura interna.

### 3. Sistema SSNS (Smart Sensor Network System)

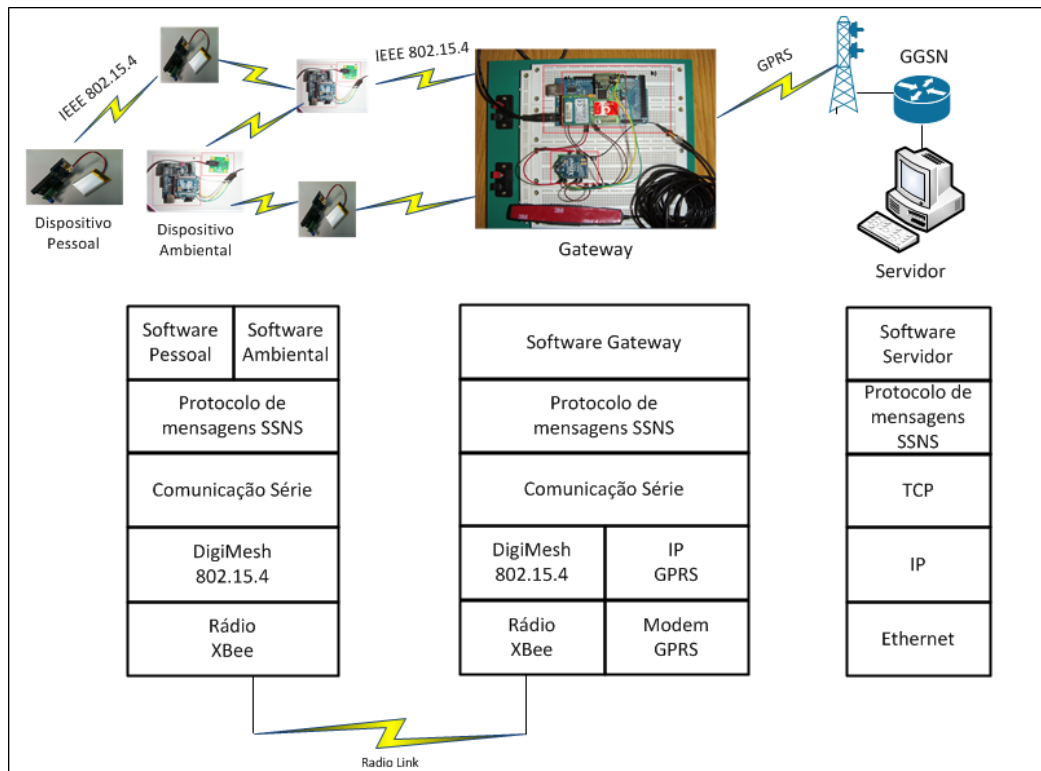


Figura 3.2: Pilha protocolar do sistema SSNS

#### 3.3.1 Protocolo de mensagens do sistema SSNS

Os dispositivos do sistemas SSNS trocam mensagens entre si de acordo com um protocolo específico que foi desenhado no desenvolvimento do sistema. Na camada de aplicação as mensagens são trocadas entre o servidor e os dispositivos do sistema.

Existem dois tipos de mensagens enviadas pelo servidor. As mensagens a solicitar as leituras dos valores dos sensores dos dispositivos e as mensagens com pedidos dos vizinhos dos dispositivos. É possível questionar cada dispositivo acerca dos seus vizinhos mais próximos. Esta proximidade é obtida com base nos valores do RSSI medido entre o dispositivo questionado e os seus vizinhos diretos (a um salto de distância na rede em malha). Esta funcionalidade é particularmente importante no processo de localização. Na figura 3.3 é apresentada a estrutura de uma mensagem usada para efetuar pedidos à rede de sensores.

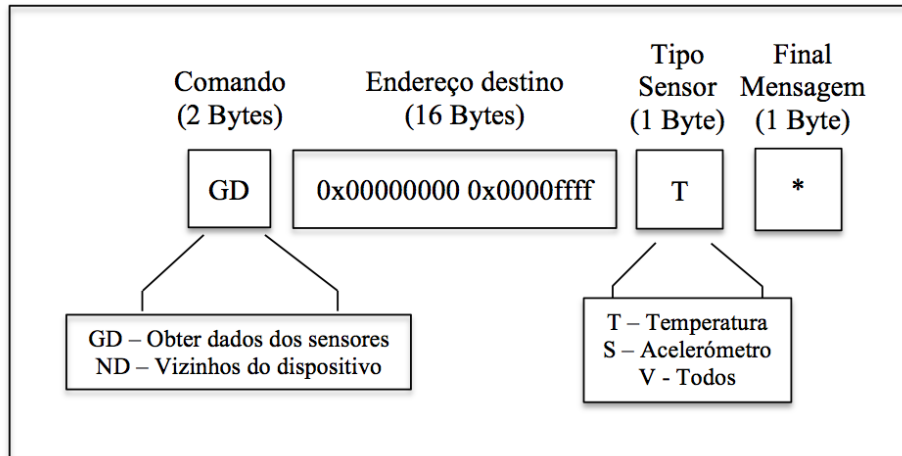


Figura 3.3: Exemplo de mensagens com pedidos do servidor à rede de sensores

Cada mensagem é composta por quatro campos:

- **Comando** - Função da mensagem (GD ou ND). As mensagens do tipo GD, representam um pedido de valores de um determinado sensor aos dispositivos. As mensagens do tipo ND são usadas para efetuar pedidos de informação dos vizinhos e respetivo RSSI do dispositivo (definido no campo dois).
- **Endereço destino** - Endereço físico do dispositivo (valor em hexadecimal) a ser questionado. Caso queiramos questionar todos os dispositivos usamos o endereço de *broadcast* (0x000000 0x0000FFFF).
- **Tipo Sensor** - Indicação do sensor a ser questionado (este valor é opcional, na medida em que apenas se aplica a mensagens do tipo GD). Para questionar todos os sensores de uma vez usamos o valor V.
- **Final Mensagem** - Caracter de fim da mensagem.

Existem dois tipos de mensagens enviadas da rede de sensores para o servidor: as que reportam os valores lidos pelos sensores de um determinado dispositivo e as que são usadas para reportar a localização relativa dos dispositivos. Na figura 3.4 é apresentada a estrutura de uma mensagem do primeiro tipo. A mensagem é composta por cinco campos:

- **Tipo Dispositivo** - Tipo do dispositivo que envia a mensagem.
- **ID Dispositivo** - Identificação do dispositivo no caso de existirem vários do mesmo tipo (até 99 dispositivos por tipo).

### 3. Sistema SSNS (Smart Sensor Network System)

- **Tipo Sensor** - Indicação do tipo de sensor que estamos a reportar.
- **Valor Sensor** - Valor associado ao sensor indicado anteriormente (retorna um valor inteiro).
- **Final Mensagem** - Caracter que indica o fim da mensagem.

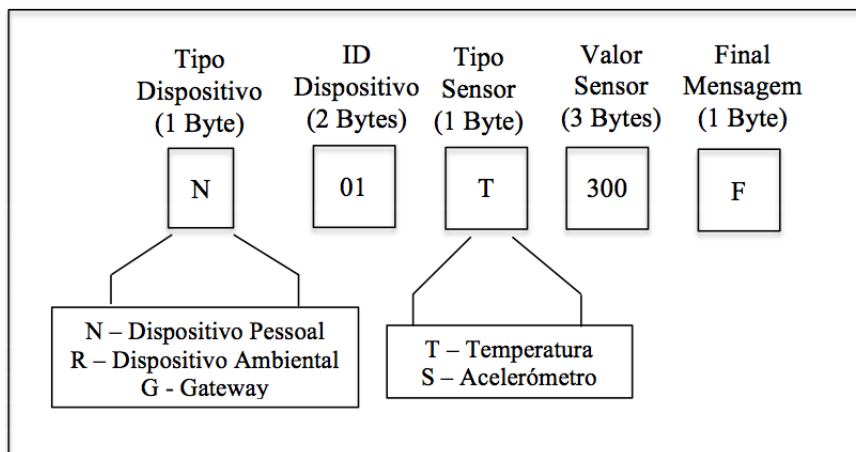


Figura 3.4: Exemplo de mensagens com valores dos sensores

Na figura 3.5 é apresentada a estrutura de uma mensagem usada para reportar a localização relativa dos dispositivos. Cada mensagem é também composta por cinco campos:

- **Tipo Dispositivo** - Tipo do dispositivo que envia a mensagem.
- **ID Dispositivo** - Identificação do dispositivo no caso de existirem vários do mesmo tipo (até 99 dispositivos por tipo).
- **Comando** - Função da mensagem (ND ou NR). As mensagens do tipo NR, definem o registo de um dispositivo no servidor, isto é, cada dispositivo quando iniciado envia para o servidor uma mensagem com o seu endereço físico. As mensagens do tipo ND, são usadas para enviar a informação dos vizinhos e respetivo RSSI do dispositivo (definido nos campos um e dois).
- **Valor Comando** - Endereço físico do dispositivo. Caso se tratem de mensagens do tipo NR, este parâmetro representa o endereço físico do dispositivo (valor em ASCII). No caso de mensagens do tipo, ND, este parâmetro representa o endereço físico do dispositivo vizinho (valor em ASCII) e o respetivo RSSI (valor em hexadecimal).
- **Final Mensagem** - Caracter que indica o fim da mensagem.

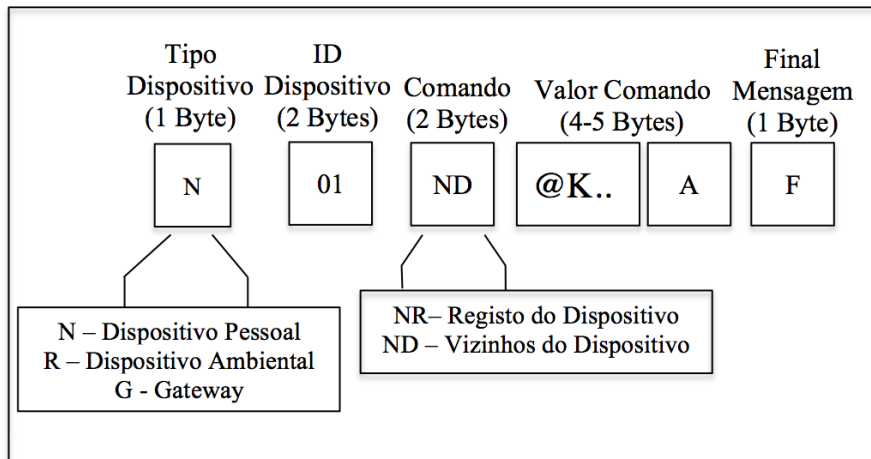


Figura 3.5: Exemplo de mensagens de endereçamento

### 3.3.2 Dispositivo ambiental

O dispositivo ambiental foi pensado para funcionar em dois cenários distintos. O primeiro, onde não existem restrições de consumo energético e o segundo para casos onde a poupança energética é fundamental.

#### 3.3.2.1 Dispositivo ambiental genérico

O dispositivo ambiental genérico (figura 3.6) tem uma dupla função. Por um lado é usado como repetidor para aumentar o alcance da rede de comunicações sem fios, essa função é imposta pela topologia do espaço a cobrir pelo sistema (verificada durante o processo de teste do alcance dos sinais de rádio no local de instalação – *site survey* (secção 4.1)), por outro lado é usado para enviar parâmetros ambientais do local monitorizado (e.g., temperatura, humidade, luminosidade, etc.) que podem ser correlacionados com a informação obtida dos dispositivos pessoais na tomada de decisões. Este dispositivo tem como finalidade ser inserido em pontos estratégicos, para receber a informação dos vários dispositivos pessoais atribuídos a diversos pacientes. Além disso, serve também para repetir os dados da rede em malha, tanto para a *gateway* como para outro dispositivo mais próximo, criando assim um caminho para o servidor.

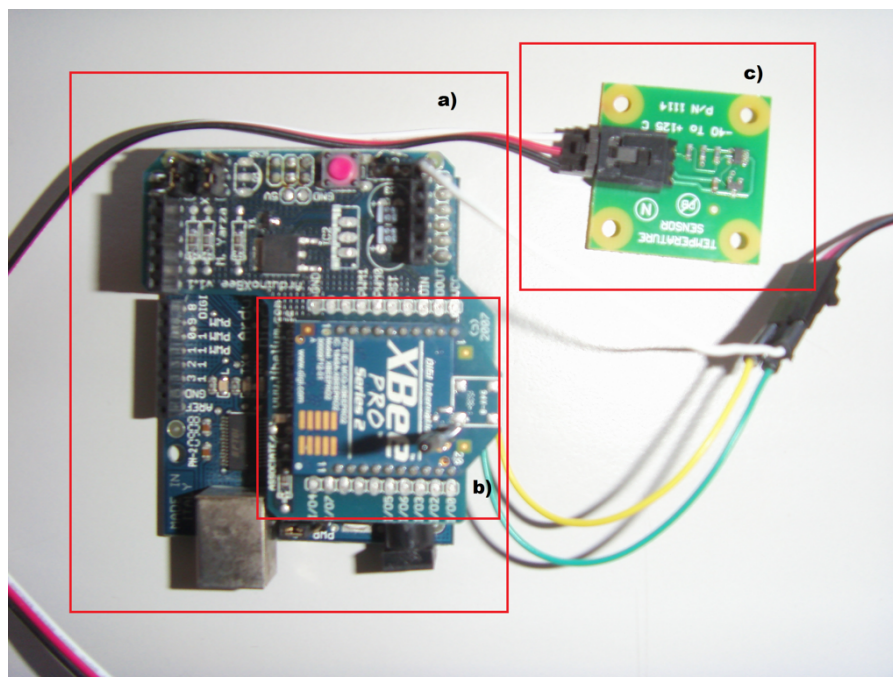


Figura 3.6: Dispositivo Ambiental: a) Arduino Diecimila + XBee *shield*; b) Rádio XBee Pro 2; c) Sensor analógico de temperatura.

As cinco camadas que constituem o funcionamento do dispositivo ambiental podem ser analisadas na figura 3.2. A primeira camada representa os componentes físicos do dispositivo ambiental, neste caso, uma placa de desenvolvimento Arduino Diecimila, que inclui um microcontrolador ATmega168 com 16 KB de memória *flash*, para armazenamento de código, 1 KB de SRAM e 512 bytes de EEPROM, diversas entradas/saídas analógicas e digitais que possibilitam a aquisição de dados de diferentes tipos de sensores, bem como o comando de diversos tipos de atuadores. Possui ainda uma ligação USB pela qual é efetuada a ligação série ao ambiente de programação, o que é muito conveniente na fase de desenvolvimento do protótipo inicial. Este microcontrolador está ligado a um *shield* XBee que permite ligar um modem XBee a um Arduino para comunicação sem fios através da tecnologia Digimesh. Neste sistema foram usados rádios XBee desenvolvidos pela DIGI. Para medir os parâmetros da temperatura ambiente foi utilizado um sensor analógico de temperatura da PHIDGETS. Este sensor mede temperaturas que vão dos  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  aos  $125\text{ }^{\circ}\text{C}$  (figura 3.7). Cada entrada analógica utiliza um conector de 3 pinos, um para ligar a massa (*ground*), outra para ligar ao *vcc*.

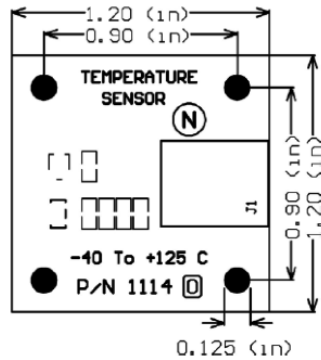


Figura 3.7: Sensor analógico de temperatura

A segunda camada (802.15.4 Digimesh), é responsável pelo funcionamento da rede do sistema. De forma a garantir a melhor cobertura possível da rede Digimesh no local de instalação, é usada uma topologia de rede em malha. Nesta topologia de rede não é necessário que todos os dispositivos se encontrem no alcance do coordenador da rede para poderem comunicar com entre si. Podem ser usados dispositivos intermédios (a funcionar como encaminhadores) que repetirão a informação de modo a conseguir alcançar o seu destino. Cada nó da rede, para além de efetuar o seu trabalho específico de aquisição e processamento de dados dos seus próprios sensores, é também um potencial repetidor para as mensagens com origem e destino noutros dispositivos da rede. Para garantir este tipo de topologia foi usado o DigiMesh (Digi, 2010). Os módulos XBee possuem três modos de funcionamento: o modo transparente (os rádios simulam simplesmente uma porta série sem fios), o modo comando (comunicação com recurso a comandos AT para configuração e Tx/Rx) e o modo API (comunicação baseada na troca de tramas com um formato específico (figura 3.8)) para o envio e receção de mensagens da aplicação, usando a porta de série). Em concreto, na implementação do mecanismo de comunicação foram configurados os módulos XBee em modo API. Este modo permite por exemplo alterar parâmetros do rádio sem entrar no modo de comando, ver o RSSI (*Received Signal Strength Indication*) e o endereço do dispositivo de origem no pacote recebido e receber confirmações de entrega de mensagens. Se um dispositivo se afastar de outro, a força de sinal diminui (MAXSTREAM, 2004).

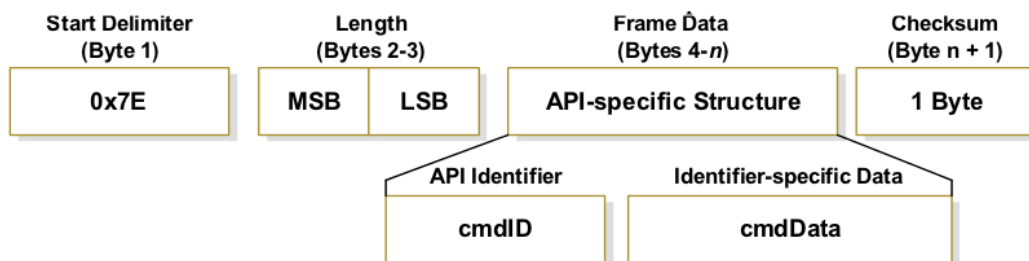


Figura 3.8: Exemplo de uma trama API (Digi International Inc, 2009)

Na terceira camada (comunicação série) são processadas todas as comunicações de dados entre o microcontrolador (Arduino) e outros dispositivos. Todos os microcontroladores da gama Arduino têm pelo menos uma porta de série (também conhecida por UART - *Universal Asynchronous Receiver / Transmitter* e USART - *Universal Synchronous / Asynchronous*). Estas portas utilizam os pinos digitais 0 (para RX) e 1 (para TX) assim como USB para comunicar com o computador. O funcionamento da quarta camada é explicado na secção anterior. Por último, a quinta camada (*software*), representa a aplicação em execução nos dispositivos. Para tratamento de mensagens em modo API nos dispositivos pessoais e ambientais, é usada a biblioteca XBee-Arduino (Rapp, 2009).

#### 3.3.2.2 Dispositivo ambiental com poupança energética

O dispositivo ambiental foi também pensado para poder ser utilizado em cenários onde a duração da bateria é crucial. Neste sentido foi criado um outro protótipo com algumas diferenças em relação ao *hardware* e *software* utilizado no dispositivo genérico, de forma a preservar a duração da bateria. O consumo energético deste dispositivo é consideravelmente inferior ao dispositivo ambiental original.

Antes da criação do protótipo foi necessário analisar qual o tipo bateria mais adequado para um dispositivo que tivesse de operar com baixos consumos energéticos. Quando é efetuada a escolha de uma bateria existem diversos parâmetros a ter em conta: a sua autonomia, o seu peso, o seu tamanho, entre outros (Buchmann, 1999). Atualmente existem vários tipos de baterias com diferentes características ajustadas a diversos cenários de utilização. Os tipos de bateria mais utilizados e as suas características são apresentados na tabela 3.2.

Tabela 3.2: Tabela comparativa das diferentes baterias (Buchmann, 1999)

	NiCD	NiMH	SLA	Li-on	Reusable alkaline
Ciclos de vida	1500	500	200-300	500-1000	50
Descarga (mensal)	20%	30%	5%	10%	0,30%
Voltagem	1,2V	1,2V	2V	3,6V	1,5V

As Baterias do tipo NiCd (*Nickel Cadmium*) são baterias de baixa densidade energética e têm um ciclo de vida elevado (número máximo de recargas). São normalmente usadas

em rádios, câmaras profissionais e instrumentos biomédicos. As baterias do tipo NiMH (*Nickel-Metal Hydride*), são uma evolução das NiCD. Estas baterias têm uma maior autonomia, mas perdem ciclos de vida em relação as NiCD. Antigamente eram usadas em telemóveis e computadores portáteis. As baterias do tipo SLA (*Sealed Lead Acid*) são muito económicas, mas são usadas em cenários onde o peso não é um problema e onde é necessária muita energia. Este tipo de baterias são normalmente usadas em equipamentos hospitalares, cadeiras de rodas, UPS, entre outros. As baterias do tipo Li-On (*Lithium Ion*) são usadas onde é necessária muita energia, embora tenham um custo mais elevado. Este tipo é muito usado em telemóveis, computadores portáteis e equipamentos militares. As baterias alcalinas reutilizáveis são usadas em aplicações de baixo custo e que não necessitem de muita energia. Este tipo de pilhas tem descarga mensal muito baixa (Buchmann, 1999).

Para além da escolha da bateria adequada a um determinado sistema, é importante introduzir mecanismos de poupança energética no seu funcionamento. Para obter uma melhor poupança energética no Arduino, existem alguns modos de funcionamento no microcontrolador que permitem garantir um consumo energético reduzido. O microcontrolador pode encontra-se em um dos seguintes modos de funcionamento: SLEEP MODE IDLE, SLEEP MODE ADC, SLEEP MODE PWR SAVE, SLEEP MODE STANDBY e SLEEP MODE PWR DOWN. O primeiro é o que garante uma menor poupança de energia, enquanto que o último é aquele que permite a maior poupança no consumo energético do microcontrolador (Arduino, 2013). Os consumos dos diferentes modos do microcontrolador estão relacionados com as funcionalidades ativas em cada momento. Para garantir um menor consumo energético, um bom número das funcionalidade é desativado. Dependendo da aplicação em concreto poderá ser viável ou não usar os modos de poupança energética mais agressivos. Todos os dispositivos do sistema SSNS têm por base a família de microcontroladores AVR desenvolvida pela Atmel (ATMEL, 2013). Duas das funcionalidades que podem ser manipuladas para garantir poupança energética são: a desativação do conversor analógico digital (ADC) e o *brown-out detection*. O *brown-out detection* é um mecanismo de deteção de uma queda de tensão num sistema elétrico, usada para prevenção em casos de excesso de energia (Blume, 2007). Este mecanismo de proteção requer um consumo adicional de energia. Tanto o ADC como o *brown-out detection* estão ativos por defeito no Arduino. Nem sempre é fundamental a sua utilização, por isso, verificamos que ao desativar estas funcionalidades os consumos energéticos do dispositivo obtiveram uma diminuição significativa (secção 4.3).

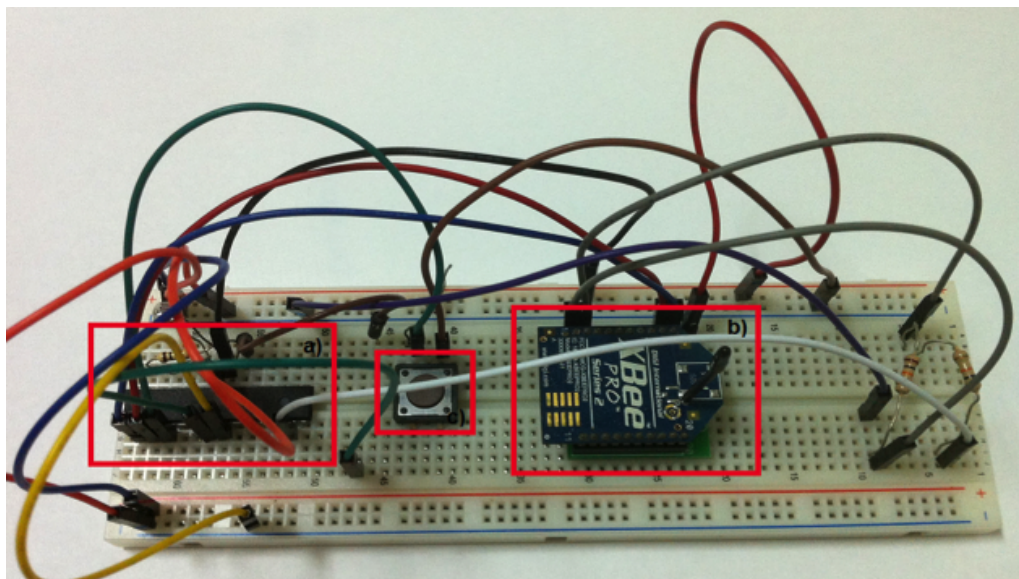


Figura 3.9: Dispositivo ambiental (protótipo para poupança energética): a) Microcontrolador ATMEL 328; b) Rádio XBee Pro 2; c) Botão para simular evento externo.

A figura 3.9 apresenta a montagem do microcontrolador, anteriormente ligado na placa Arduino, e do rádio XBee numa placa de montagem. Este protótipo usa mecanismos de *software* para ficar sempre em repouso, apenas é ativado quando ocorre um evento externo. Esse evento foi aqui simulado com a introdução de um botão. Sempre que pressionado o microcontrolador e o rádio XBee saem do repouso, enviam a informação para o coordenador e voltam a entrar em repouso.

#### 3.3.3 Dispositivo pessoal

O dispositivo pessoal, representado na figura 3.10, é transportado por cada indivíduo em acompanhamento e tem a capacidade de monitorizar a sua postura corporal. Consegue determinar, por exemplo, se o indivíduo se encontra deitado, sentado, a caminhar ou a correr. Permite ainda detetar eventuais quedas, fazendo uso de um acelerómetro. Um sensor de temperatura é usado para reportar periodicamente a temperatura corporal do indivíduo. Este dispositivo, inicialmente desenvolvido em (Goncalves *et al.*, 2009), foi alterado de forma a poder interagir com o restante sistema. As principais características ajustadas foram o modo de funcionamento do rádio XBee (passou a operar em modo API) e a respetiva topologia da rede (passou para uma topologia em malha) bem como os protocolos de comunicação.

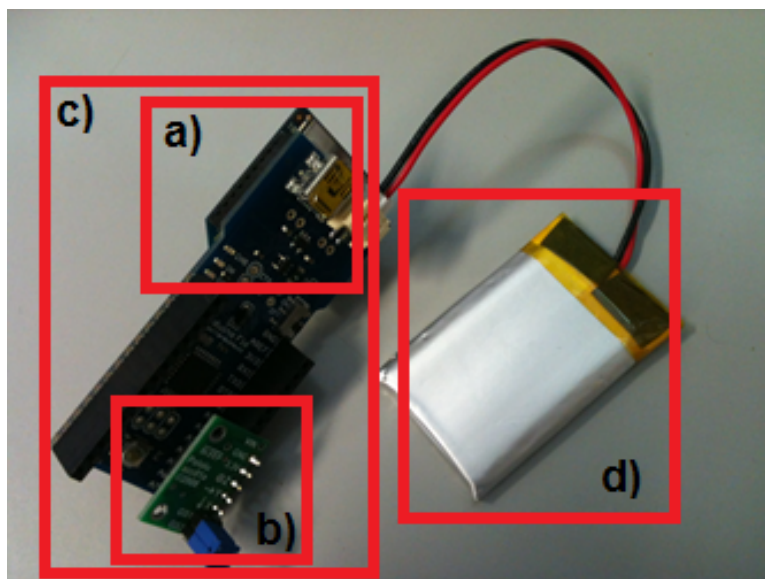


Figura 3.10: Dispositivo pessoal: a) Rádio XBee Pro 2; b) Acelerômetro 3D; c) Arduino FIO; d) Bateria de Lítio

A arquitetura do dispositivo pessoal é também composta por cinco camadas (figura 3.2). Na primeira camada (camada física), existem diferenças para o dispositivo ambiental. Neste caso, é usado uma placa de desenvolvimento do tipo Arduino FIO que inclui um microcontrolador ATmega328P, com 32 KB de memória *flash*, para armazenamento de código, 2 KB de SRAM e 1KB EEPROM. Possui também diversas portas analógicas e digitais que possibilitam a aquisição de dados de diferentes tipos de sensores. Este microcontrolador já vem preparado com um *socket* de ligação a um rádio XBee. Para determinação da postura dos indivíduos é utilizado um acelerômetro de três eixos. Para alimentação é utilizada uma bateria de lítio de 850mah. As segunda, terceira e quarta camadas são idênticas às anteriormente descritas para o dispositivo ambiental. Na quinta camada (*software*), para além das funcionalidades já existentes no dispositivo ambiental, existem ainda algoritmos para processar os dados do acelerômetro com objetivo determinar a postura do indivíduo (Goncalves *et al.*, 2009).

#### 3.3.4 Gateway XBee / GPRS

A *gateway* XBee/GPRS (figura 3.11) tem como função fazer a ponte entre a rede de sensores em malha e a Internet. Este dispositivo é responsável por iniciar a rede Digimesh, da qual é o coordenador, e manter aberta uma ligação TCP/IP (*Transmission Control*

### 3. Sistema SSNS (Smart Sensor Network System)

*Protocol / Internet Protocol*) com o servidor. Através dessa ligação são reportados periodicamente os dados obtidos pelos dispositivos pessoais e ambientais presentes na rede. Esta ligação ao servidor é bidirecional e permite a interrogação das unidades pessoais e ambientais, através de página na Internet alojada no servidor.

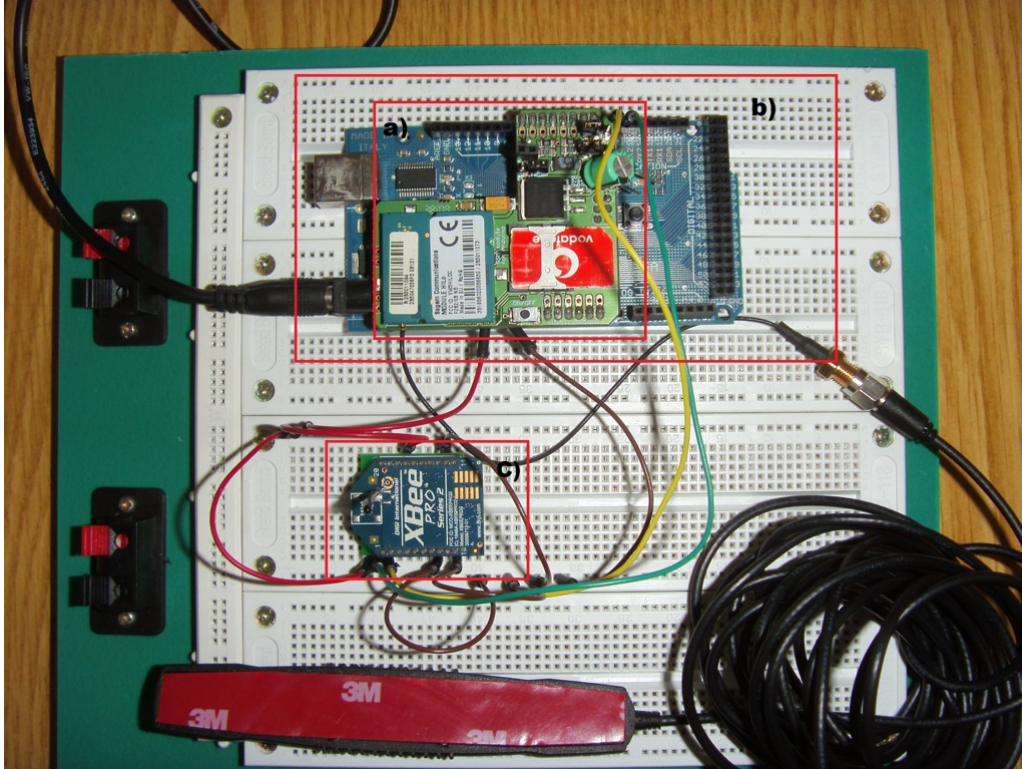


Figura 3.11: *Gateway XBee-GPRS*: a) Módulo GPRS Hilo SAGEM; b) Arduino Mega; c) Rádio XBee Pro 2.

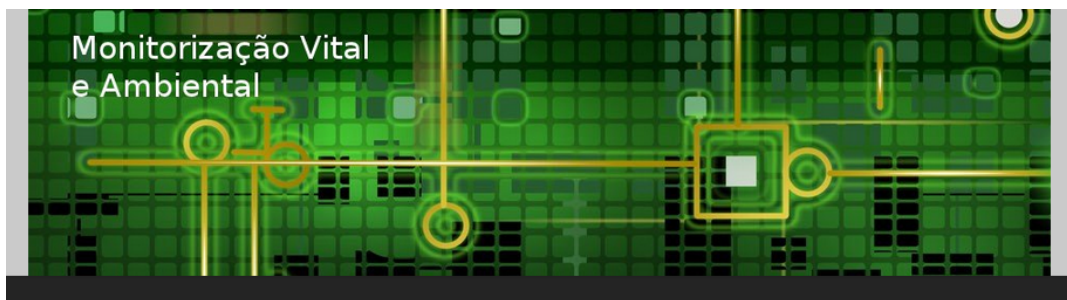
A *gateway XBee/GPRS*, está também dividida em cinco camadas (figura 3.2). A primeira camada encontra-se dividida em duas subcamadas rádio XBee e modem GPRS. É nesta primeira subcamada que temos um modem XBee idêntico ao presente nos restantes dispositivos. Neste caso encontra-se configurado como coordenador da rede. O dispositivo é constituído por um Arduino Mega cujo microcontrolador possui maior capacidade de processamento (ATmega1280), mais memória (128KB *flash*, 8KB de SRAM e 4KB EEPROM) e quatro portas série, necessárias para as tarefas de encaminhamento. Numa das portas série são recebidos os dados da rede de sensores através do módulo XBee e na outra são encaminhados para a Internet usando um modem GPRS. A segunda subcamada é composta por um módulo GPRS desenvolvido pela LIBELIUM compatível com as placas de desenvolvimento Arduino. A segunda camada, também ela se encontra dividida em duas partes, uma para a gestão da rede em malha (DigiMesh), cujo funcionamento é o mesmo do dispositivo ambiental e outra para o estabelecimento da conexão via GPRS para o servidor (IP). A terceira camada (comunicação série) funciona de forma idêntica às dos restantes dispositivos. A quarta camada é idêntica ao dispositivo ambiental. A

quinta e última camada (*software*) tem dois tipos de funcionamento distintos, um para gerir as mensagens provenientes da rede de sensores sem fios (processo de envio e receção de informação dos dispositivos da rede em malha via Digimesh) e outra para interagir com o servidor (configuração, estabelecimento, manutenção da ligação TCP/IP e troca de pacotes IP com o servidor via GPRS). Uma vez que a *gateway* é o ponto de contacto do exterior com a rede de sensores sem fios deve encontrar-se sempre disponível, por essa razão foi pensada para ser alimentada diretamente da rede elétrica. A *gateway* encontra-se sempre disponível para contactar um dispositivo específico e reportar os valores dos seus sensores. Se esse dispositivo se encontrar em descanso será primeiramente ativado.

#### 3.3.5 Servidor

Toda a informação recolhida pela malha é enviada para o servidor e finalmente disponibilizada numa página na Internet. Esta página serve para a consulta dos dados de cada dispositivo e para interagir com a rede de sensores. Os dados recolhidos ficam apenas disponíveis a utilizadores com permissões apropriadas. Ao visualizar a figura 3.12 podemos verificar quais os dispositivos ativos num determinado momento para posterior consulta.

O servidor, tal como os outros dispositivos, é composto por cinco camadas (figura 3.2). Na primeira camada temos os componentes de *hardware* e meios físicos de comunicação. Os requisitos de *hardware* do servidor não são muito exigentes, uma vez que para o processamento efetuado não são necessários grandes recursos. No servidor encontra-se instalado o sistema operativo LINUX com uma ligação à Internet para poder recolher os dados provenientes do módulo GPRS. A segunda camada trata da comunicação via IP com a *gateway*. Sobre esta ligação IP, na terceira camada é usado o protocolo de transporte TCP que permite a troca das mensagens protocolares entre a *gateway* e o servidor. A quarta camada é comum a todos os dispositivos. Finalmente, na última camada é usado o protocolo HTTP para recolher dados e enviar comandos por parte do servidor à *gateway*.










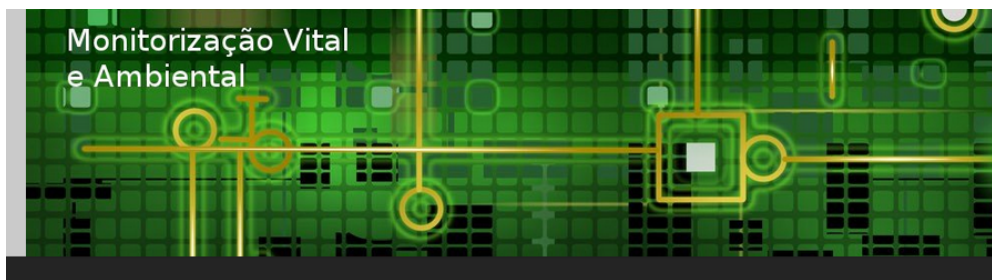
Status	ID Modulo	Serial High	Serial Low	
●	G1	0013A200	404bfed5	
●	N1	0013A200	404bfe88	
●	N2	0013A200	404bfede	
●	R1	0013A200	404bfeda	
●	R2	0013A200	405c2c78	
●	R3	0013A200	405c2b76	
●	R4	0013A200	405c2c7e	

Figura 3.12: Página Web para visualização dos dispositivos ativos

O servidor efetua a decomposição das mensagens recebidas e obtém informação sobre o dispositivo que a enviou e o valor reportado pelo respetivo sensor e convertidos nas medidas internacionais. A maior carga de processamento é efetuada pelo servidor, de forma a diminuir o tratamento de dados nos dispositivos, uma vez que estes possuem capacidade de processamento e energia limitados Outra função do servidor é a de armazenar todos os dados recebidos numa base de dados MYSQL. Através de uma interface gráfica o servidor possibilita a visualização dos dados aos responsáveis do sistema.

É possível questionar cada dispositivo acerca dos seus vizinhos mais próximos. Esta funcionalidade é particularmente importante no processo de localização. Pode também ser usada para alertar os indivíduos mais próximos em caso de situações de emergência. A figura 3.13 apresenta uma página na Internet, onde o valor dos sensores (temperatura e acelerómetro) e da posição de um determinado dispositivo é exibido. Nesta página, além de consultar os dados recolhidos podemos solicitar uma nova recolha de dados ao dispositivo.



ID_Modulo	Nome Modulo	Serial High	Serial Low
N1	Modulo Corporal 1	0013A200	404bfeB

Sensor	
S1	Atualizar
T1	Atualizar

Historico

Sensor	Valor	Data e Hora
S1	DEITADOBARRIGA	2012-07-30 16:18:40
S1	SENTADO	2012-07-30 15:02:24
S1	ANDAR	2012-07-30 13:38:16
S1	DEITADOLADO	2012-07-30 13:35:27
S1	DEITADOLADO	2012-07-30 12:59:40
S1	ANDAR	2012-07-30 12:58:56
S1	DEITADOBARRIGA	2012-07-30 12:55:49

Vizinhos:

Modulo	Localizacao	RSSI	Atualizado	
R2 - 405c2c78	PISO 0	28	2012-10-22 11:08:44	RSSI
R3 - 405c2b76	PISO 1	31	2012-10-22 11:08:44	RSSI
R1 - 404bfeda	PISO 2	28	2012-10-22 11:08:44	RSSI

Atualizar

Figura 3.13: Página Web para visualização dos dados recolhidos de um determinado dispositivo

### 3.3.6 Sumário

O sistema SSNS é composto por diferentes tipos de dispositivos ajustados a vários cenários. O protótipo criado é composto por um dispositivo *gateway* que permite a interligação entre a rede de sensores e garante a bidirecionalidade na interação com cada dispositivo da rede. Existe também um dispositivo ambiental, com versões ajustadas a diferentes cenários de aplicação, que pode ser usado como um dispositivo sensor e também como encaminhador da rede em malha. Finalmente, foi incluído um dispositivo pessoal, que é uma evolução do trabalho efetuado em (Goncalves *et al.*, 2009). Este dispositivo é transportado por cada um dos elementos a monitorizar e permite a recolha de diversos parâmetros vitais e dados do indivíduo. Este sistema inclui ainda um servidor que efetua a recolha, o processamento e o armazenamento de todos os dados gerados pela rede de sensores sem fios. Estes dados são posteriormente disponibilizados numa página Web, que permite efetuar pedidos específicos a cada dispositivo da rede de sensores.

O sistema SSNS pode ser usado em diferentes áreas de aplicação, uma vez que tem uma elevado nível de versatilidade. Para cenários de monitorização ambiental foi apresentado um tipo de dispositivo com elevada autonomia. O sistema inclui um mecanismo

### **3. Sistema SSNS (Smart Sensor Network System)**

---

de localização dentro de edifícios que se traduz numa mais valia neste domínio. No próximo capítulo apresentada uma avaliação do funcionamento do sistema e um estudo comparativo entre o sistema SSNS e alguns dos mais relevantes apresentados no capítulo 2.

# Capítulo 4

## Avaliação e Resultados

De forma a podermos avaliar o sistema SSNS, foi efetuada uma implementação do protótipo num cenário concreto, com o objetivo de verificar se correspondia aos requisitos inicialmente propostos. A avaliação do protótipo foi organizada em quatro pontos principais. No primeiro ponto foi estudado o mapa de cobertura do sinal rádio para implementar o sistema num edifício de uma organização. No segundo ponto foi analisada a precisão dos mecanismos de localização baseados na topologia de rede em malha. No terceiro ponto, foi feito um estudo do consumo energético do dispositivo ambiental com o objetivo de testar a sua autonomia. Por fim, foi efetuado um estudo comparativo entre o sistema SSNS e alguns dos sistemas apresentados no capítulo 2.

### 4.1 Mapa de cobertura

Para que o sistema seja útil no local de implementação é importante que sejam minimizadas as regiões sem cobertura da rede sem fios. Apesar da rede em malha ser bastante robusta, uma vez que todos os dispositivos são potencialmente encaminhadores, é necessário garantir que todos possuem conectividade com o coordenador da rede. Por outro lado, a precisão da localização dos diferentes dispositivos está dependente da densidade dos dispositivos que existem no espaço. Contudo, por razões económicas, pode não ser viável garantir uma cobertura muito densa do espaço de implementação do sistema. É sempre necessário obter um compromisso entre a fiabilidade da localização, o custo associado e a potência de rádio emitida por cada um dos dispositivos. Este último tópico

condiciona inclusivamente a autonomia da bateria dos dispositivos móveis. As características construtivas de qualquer edifício influenciam a propagação do sinal rádio entre dispositivos.

Numa primeira fase os testes do protótipo foram efetuados no edifício pedagógico da Universidade Fernando Pessoa. A zona de teste foi realizada nos quatro pisos superiores desse edifício. Com o dispositivo *gateway* estrategicamente colocado no centro geográfico do edifício, a generalidade dos dispositivos pessoais conseguiam estabelecer uma comunicação direta sem necessidade de saltos adicionais. No entanto, por vezes em locais mais isolados, verificamos que poderia existir perda de conectividade. Para resolver este problema colocaram-se estrategicamente dois dispositivos ambientais fixos, o que aumentou a cobertura de rede e eliminou as perdas de conectividade dos dispositivos pessoais nesses locais. Nessas situações os dispositivos ambientais funcionavam como encaminhadores para os dispositivos móveis na sua vizinhança. Ao tentar alargar a região de cobertura a mais do que um edifício verificamos que era necessário posicionar estrategicamente dispositivos fixos, de forma a garantir a existência de uma ponte entre edifícios que permitisse garantir a conectividade. Isto foi possível graças a topologia de rede em malha implementada no sistema SSNS.

### 4.2 Mecanismo de localização baseado na topologia de rede em malha

O protocolo usado para implementar a topologia de rede em malha do sistema, permite que cada dispositivo obtenha a identificação dos seus vizinhos diretos (outros dispositivos a um salto do dispositivo em questão). Uma vez que existem dispositivos fixos presentes na rede cuja localização é previamente conhecida (dispositivos ambientais e *gateway*), é possível obter informação de localização aproximada dos dispositivos móveis quando estes se encontram na vizinhança dos primeiros. Para além da informação de vizinhança, é obtida também informação da força do sinal (RSSI) medida na comunicação com os vizinhos diretos. Uma vez que o valor deste parâmetro está diretamente relacionado com a distância entre o dispositivo e os seus vizinhos (em espaço aberto), é possível, em muitos dos casos, estabelecer relações de proximidade entre os dispositivos da rede. Este mecanismo não conduz a informações tão precisas quando existem obstáculos (paredes, placas de piso, etc.) entre um dispositivo e os seus vizinhos diretos, uma vez que estes obstáculos afetam o valor do RSSI medido.

### Localização de dispositivos em diferentes edifícios

O cenário inicial de testes foi concebido para conseguir uma localização aproximada de um dispositivo móvel em vários edifícios.

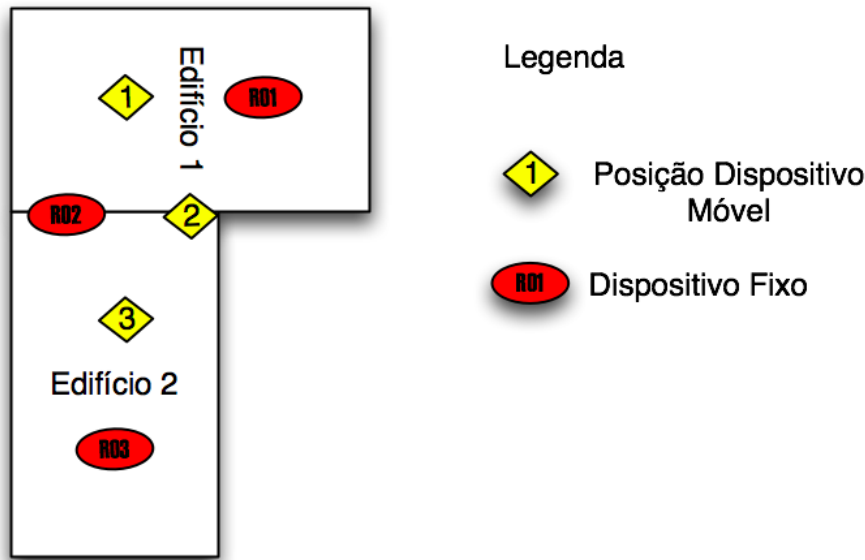


Figura 4.1: Mapa de medições RSSI para localização entre edifícios

Neste cenário é possível determinar em que edifício se encontra o dispositivo móvel, se ao consultar a sua lista de vizinhos o dispositivo fixo do outro edifício não estiver presente. Na figura 4.1 quando o dispositivo móvel se encontra na posição 1 tem como vizinhos os dispositivos fixos R01 e R02. Nesta posição, uma vez que o dispositivo fixo R03 não se encontra no alcance rádio do dispositivo móvel, como se pode ver na tabela 4.1, é possível inferir que este se encontra a movimentar no edifício 1.

Tabela 4.1: Deteção de vizinhos e respetivo RSSI entre edifícios

Local Mapa	dispositivo - Endereço Vizinho	RSSI (dBm)
1	R01 - 404bfeda	-38
	R02 - 405c2c78	-58
2	R01 - 404bfeda	-64
	R02 - 405c2c78	-32
	R03 - 405c2b76	-58
3	R02 - 405c2c78	-66
	R03 - 405c2b76	-44

Quando o dispositivo móvel se encontra na posição 2, a sua tabela de vizinhança apresenta todos os dispositivos fixos visíveis, isso é uma indicação de que ele se movimenta na zona de fronteira entre os edifícios 1 e 2. A situação do dispositivo móvel na posição 3 é semelhante a já apresentada para a posição 1. Neste caso é o dispositivo fixo R01 que não

é visível, o que sugere a presença do dispositivo móvel no edifício 2. Nesta experiência obtivemos os testes mais conclusivos na medida em que todas as vezes conseguimos localizar o dispositivo.

### Localização de dispositivos em diferentes pisos

Edifício dos Laboratórios da Universidade Fernando Pessoa

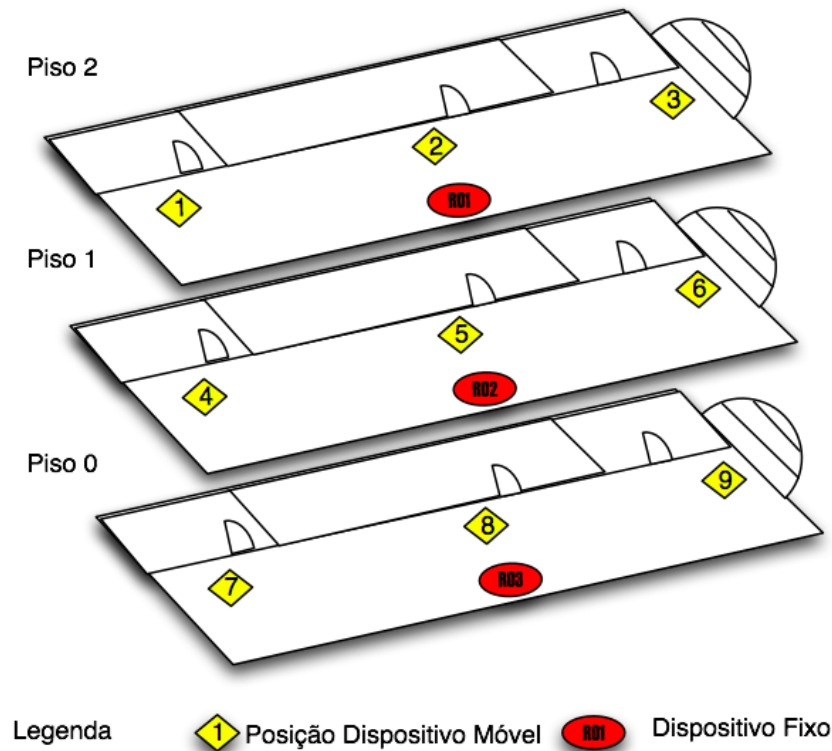


Figura 4.2: Mapa de medições RSSI para localização em diferentes pisos

Quando os dispositivos móveis se movimentam entre os diferentes pisos de um edifício, a indicação da vizinhança dos dispositivos fixos por si só, não é suficiente para determinar com alguma precisão o piso em que estes se encontram. Para tentar obter uma localização mais precisa dos dispositivos móveis, introduzimos a utilização do valor da força de sinal do rádio (RSSI) para ajudar no processo de estimação. No edifício em que foram efetuados os testes, foi colocado um dispositivo fixo por piso posicionado verticalmente na mesma posição, conforme se pode ver na figura 4.2. O dispositivo móvel movimentou-se entre as posições 1 e 9, locais onde foi efetuada a recolha dos dispositivos vizinhos e respetiva força de sinal rádio. Na tabela 4.2, é exibida a média dos valores obtidos ao longo das várias experiências, esta tabela apresenta os vizinhos visíveis em cada uma das posições do dispositivo móvel e os valores da força de sinal medidos em cada caso.

Tabela 4.2: Detecção de vizinhos e respetivo RSSI para localização em diferentes pisos

Local Mapa	Dispositivo - Endereço Vizinho	RSSI (dBm)
1	R01 - 404bfeda	-51
	R02 - 405c2c78	-52
	R03 - 405c2b76	-78
2	R01 - 404bfeda	-49
	R02 - 405c2c78	-34
	R03 - 405c2b76	-48
3	R01 - 404bfeda	-46
	R02 - 405c2c78	-47
	R03 - 405c2b76	-61
4	R01 - 404bfeda	-53
	R02 - 405c2c78	-51
	R03 - 405c2b76	-64
5	R01 - 404bfeda	-34
	R02 - 405c2c78	-39
	R03 - 405c2b76	-37
6	R01 - 404bfeda	-66
	R02 - 405c2c78	-55
	R03 - 405c2b76	-46
7	R01 - 404bfeda	-59
	R02 - 405c2c78	-47
	R03 - 405c2b76	-38
8	R01 - 404bfeda	-56
	R02 - 405c2c78	-52
	R03 - 405c2b76	-44
9	R01 - 404bfeda	-58
	R02 - 405c2c78	-54
	R03 - 405c2b76	-36

Por exemplo, o dispositivo móvel na posição 7, tem como vizinhos R01, R02 e R03. A ligação a R01 tem o valor de RSSI -59dBm, para R02 de -47dBm e para R03 de -38dBm. Considerando que os valores do RSSI diminuem com o aumento da distância, conseguimos ter a ideia que, na posição 7 estamos mais próximos do dispositivo R03 e verifica-se também que o dispositivo R02 esta mais próximo que o dispositivo R01. Como temos um dispositivo por piso conseguimos determinar que o dispositivo móvel se encontra no piso 0. Analisando outro exemplo, o dispositivo móvel na posição 5, tem como vizinhos R01, R02 e R03. A ligação a R01 tem o valor de RSSI de -34dBm, para R02 de -39dBm e para R03 de -37dBm. Os valores do RSSI medidos são muito próximos, o que torna impossível determinar com alguma precisão o piso onde se encontra o dispositivo móvel. Nesta experiência a taxa de sucessos para cada posição é baixa e rondou os 40%. É importante referir que os valores do RSSI nem sempre são conclusivos, como mencionado anteriormente, as paredes e outros obstáculos podem ter um impacto na coerência destes valores.

## Localização de dispositivos num determinado piso

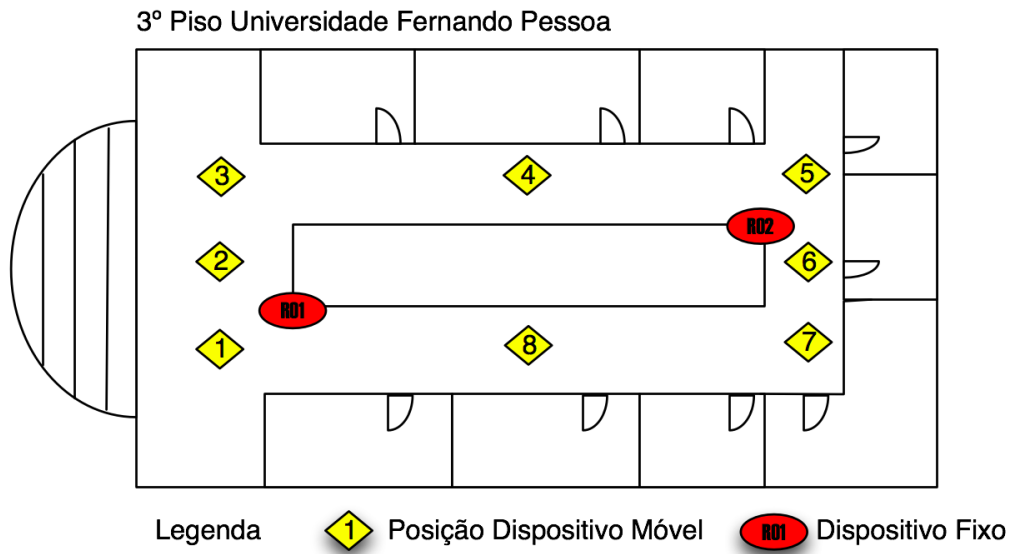


Figura 4.3: Mapa de medições RSSI para localização num determinado piso

Quando os dispositivos móveis se movimentam apenas num piso, a indicação dos vizinhos dos dispositivos fixos também deve ser conjugada com a utilização do valor da força de sinal do rádio (RSSI). No piso testado, foram colocados dois dispositivos fixos conforme se pode ver na figura 4.3. O dispositivo móvel movimentou-se entre as posições 1 e 9, locais onde se efetuou a recolha dos dispositivos vizinhos e respetiva força de sinal rádio. A tabela 4.3, apresenta a média dos valores obtidos ao longo das diversas medições dos vizinhos visíveis em cada uma das posições do dispositivo móvel e os respetivos valores da força de sinal medidos em cada caso.

Tabela 4.3: Detecção de vizinhos e respetivo RSSI para localização num determinado piso

Local Mapa	Dispositivo - Endereço Vizinho	RSSI (dBm)
1	R01 - 404bfeda	-27
	R02 - 405c2c78	-58
2	R01 - 404bfeda	-39
	R02 - 405c2c78	-57
3	R01 - 404bfeda	-48
	R02 - 405c2c78	-60
4	R01 - 404bfeda	-46
	R02 - 405c2c78	-49
5	R01 - 404bfeda	-66
	R02 - 405c2c78	-28
6	R01 - 404bfeda	-59
	R02 - 405c2c78	-36
7	R01 - 404bfeda	-47
	R02 - 405c2c78	-37
8	R01 - 404bfeda	-40
	R02 - 405c2c78	-47

Por exemplo, o dispositivo móvel na posição 1, tem como vizinhos R01 e R02. A ligação a R01 tem o valor de RSSI de -27dBm e para R02 de -58dBm. Considerando novamente que os valores do RSSI diminuem com o aumento da distância, é possível verificar que, na posição 1, estamos mais próximos do dispositivo R01 e mais afastados do dispositivo R02. Analisando outro exemplo, o dispositivo móvel na posição 4, tem como vizinhos R01 e R02. A ligação a R01 tem o valor de RSSI de -46dBm e para R02 de -49dBm. Aqui, verificamos que o valor do RSSI de ambos os dispositivos móveis é muito próximo, logo, o dispositivo deverá estar algures entre ambos os dispositivos fixos. A taxa de sucessos da localização dos dispositivos móveis nestas condições teve um valor aceitável de 79%.

Como vimos nos exemplos apresentados, a precisão dos mecanismos de localização com base nos vizinhos diretos do dispositivo móvel e da respetiva força de sinal, está altamente dependente da topologia do local onde o sistema é implementado, bem como dos materiais de construção utilizados no mesmo. Estes fatores têm impacto nas medidas de RSSI efetuadas. Este mecanismo, combinado com outros mecanismos de localização *indoor* através de fusão sensorial podem permitir uma maior fiabilidade na determinação da localização dos dispositivos móveis. Contudo, a simples indicação do edifício onde um determinado dispositivo se movimenta e de outros dispositivos que possam estar junto a ele (os seus vizinhos), podem fornecer informação relevante em caso de situações de emergência.

### 4.3 Consumo energético

Tabela 4.4: Medições de consumo energético

Placa Arduino	Sleep Power Mode Down	Brown-out detection	ADC	Consumo Energético Transmitindo	Consumo Energético Não Transmitindo
Sim	Não	Ligado	Ligado	11,8mA	9,29mA
Não	Não	Ligado	Ligado	5,72mA	5,59mA
Não	Sim	Ligado	Ligado	5,72mA	0,45mA
Não	Sim	Desligado	Ligado	5,24mA	0,39mA
Não	Sim	Desligado	Desligado	5,07mA	0,17mA

Como vimos anteriormente, em certos cenários, a poupança energética é fundamental. Para isso foi criado um outro protótipo que introduzisse mecanismos para preservar a duração da bateria. Para testar o consumo energético do dispositivo, foi realizada uma experiência composta por 5 etapas com 2 medições por etapa. Uma das medidas foi obtida com o dispositivo a transmitir enquanto que na outra o rádio encontrava-se em repouso. Os resultados do consumo energético medido em cada um dos casos encontram-se na tabela 4.4.

Na primeira etapa utilizamos o dispositivo ambiental original. Com o auxílio de um multímetro digital, obtivemos os valores da corrente gasta pelo microcontrolador. Aqui, verificamos que o consumo era de 11,8mA quando estava a transmitir e 9,29mA quando não estava. A segunda medição foi efetuada após remover o microcontrolador da placa de desenvolvimento Arduino e colocá-lo numa placa de montagem, fazendo as respetivas ligações. Nesta etapa, os resultados obtidos foram consideravelmente melhores, uma vez que reduzimos o consumo energético para cerca de metade do valor original. Na terceira experiência, o objetivo foi de programar o microcontrolador para entrar em repouso, sempre que não precisasse de efetuar nenhuma ação (colocando-o no modo SLEEP MODE PWR DOWN). Neste caso, reduzimos ainda mais o consumo energético quando o rádio do dispositivo se encontra desligado. No quarto teste foi desativado o *brown-out detection*, o resultado obtido em repouso (0,39mA) e em transmissão (5,24mA) é ainda melhor que o obtido na experiência anterior. Na quinta e última medição desativamos o ADC, neste ponto obtivemos os valores mais baixos, com valores de 0,17mA em repouso e 5,07mA quando estava a transmitir. É importante mencionar que o ADC pode ser ativado sempre que necessária a sua utilização (recolha de dados de um sensor analógico).

Este novo protótipo do dispositivo ambiental, encontra-se ajustado a cenários onde a duração da bateria é fundamental. Neste caso, para maximizar autonomia é importante

combinar os mecanismos de poupança energética do microcontrolador que vimos, com a utilização de uma bateria alcalina reutilizável. Nestas condições poderemos ter uma autonomia de vários meses para o dispositivo ambiental, uma vez que o consumo do dispositivo é bastante reduzido, o número de leituras não é muito frequente e a descarga mensal da bateria é reduzida.

#### 4.4 Análise comparativa dos sistemas

Após ter sido apresentada de forma aprofundada o sistema SSNS, é possível efetuar uma análise comparativa entre as funcionalidades deste sistemas e alguns dos mais relevantes que foram apresentados no capítulo 2. Na tabela 4.5 são exibidos alguns dos sistemas e suas respetivas características para efeitos de comparação.

Tabela 4.5: Tabela comparativa dos diferentes sistemas

Sistemas / Características	Domínios de Aplicação	Tecnologias sem fios	Sensores	Requer InfraEstrutura de Rede	Mecanismo de poupança Energética	Localização
Lifeguard	Saúde	Bluetooth	ECG Oxímetro Acelerómetro Pressão Sanguínea	Não	-	Não
AICO	Saúde	RFID	Acelerómetro Ultra-som	Sim	-	Sim
AlarmNet	Saúde	RFID	ECG Oxímetro Acelerómetro	Sim	-	Sim
CAALYX	Saúde	ZigBee Wi-F Bluetooth GPRS	Acelerómetro Temperatura	Sim	-	Sim
Monitorização de uma estufa	Monitorização Ambiental	GSM ZigBee	Temperatura Humidade	Não	Não	Não
Monitorização de uma vinha	Monitorização Ambiental	ZigBee RFID	Temperatura Humidade	Não	Sim	Não
Maslinet	Monitorização Ambiental	ZigBee GPRS	Temperatura Humidade Pressão Atmosférica Luminosidade	Não	Sim	Não
SSNS	Saúde / Monitorização Ambiental	Digimesh GPRS	Acelerómetro Temperatura	Não	Sim	Sim

Analisando a tabela 4.5, é possível verificar que o protótipo desenvolvido para o sistema SSNS é bastante versátil. De facto, com pouco esforço, é possível ajustar este sistema para ser usado em praticamente todos os cenários onde as redes de sensores sem fios são aplicáveis. Este foi aliás um dos requisitos iniciais que foi tido em consideração de forma a desenvolver um sistema o mais genérico e adaptável possível. Isto resultou de uma abordagem modular e da sua elaboração à custa de *hardware* de baixo custo e

*software* de código aberto. Os restantes sistemas apresentados na tabela são consideravelmente mais específicos e ajustados a domínios de aplicação muito concretos. Não possuem portanto a versatilidade do sistema SSNS.

No caso das tecnologias de comunicação sem fios usadas pelos diferentes sistemas, pode verificar-se que são sensivelmente equivalentes entre eles. O mesmo se pode constatar em relação aos tipos de sensores presentes em cada um dos sistemas. Obviamente que cada sistema recolhe informação sensorial relacionada com o fim a que se destina, mas o número de sensores usados é genericamente equivalente.

Em termos de infraestrutura de rede no local de instalação, existem alguns sistemas que a requerem e outros que são baseados exclusivamente em tecnologia sem fios. Portanto, não requerem, a partida, nenhuma infraestrutura presente no local de instalação. O sistema SSNS enquadra-se nesta segunda classe de sistemas. Este ponto pode ser especialmente útil quando é necessário instalar o sistema, por exemplo, em domicílios de idosos que genericamente não tem sensibilidade tecnológica, visto que, não possuem as suas casas equipadas com infraestrutura de rede.

Como vimos, existem cenários onde a poupança de energia é fundamental. O dispositivo ambiental do sistema SSNS foi ajustado para garantir um consumo muito baixo, permitindo que o dispositivo possua uma autonomia que pode chegar a diversos meses sem trocas de baterias. Este ponto é especialmente importante em cenários de monitorização ambiental, uma vez que os dispositivos se encontram disseminados remotamente no local a monitorizar que muitas vezes de é de difícil acesso. Não é de estranhar que as generalidade dos sistemas, que se dedicam a monitorização ambiental, possuem preocupações deste género, como resulta evidente da tabela 4.5.

Por fim, um último ponto a referir é a existência de mecanismo de localização nos sistemas apresentados. A generalidade dos sistemas com aplicações na área da saúde, possuem informação de localização uma vez que esta é especialmente relevante neste domínios. Contudo, nos sistemas analisados a informação de localização é obtida à custa de um sensor GPS (*Global Positioning System*) específico. Para além de aumentar o custo e o consumo energético dos dispositivos a utilização de um sensor GPS é pouco útil quando se trata de determinar localização dentro de edifícios. Na realidade, a grande maioria dos locais onde seria necessário efetuar a localização de pessoas idosas, pacientes, etc, não são apropriados para o uso de GPS. O sistema SSNS procurou desenvolver um mecanismo de localização dentro de edifícios fazendo uso da topologia de rede em malha da rede de sensores sem fios. Embora esta funcionalidade ainda tenha uma fiabilidade

limitada e necessite de trabalho adicional, já permite uma localização de granularidade alargada que pode ser muito útil em situações de emergência.

## Capítulo 5

### Conclusão e Trabalho Futuro

Ao longo deste documento procuramos apresentar as condições que levaram ao crescente desenvolvimento dos espaços inteligentes. Cada vez mais se verifica que todos edifícios são crescentemente infraestruturados com diferentes tipos de sensores e atuadores. Isto, para automatizar um conjunto de atividades rotineiras e essencialmente facilitar a gestão do espaço, reduzindo drasticamente os custos da sua utilização (energia, água, etc.). Mesmo a nível industrial a utilização destes sistemas inteligentes tem vantagens em termos de produtividade. A área da saúde é outro domínio onde a monitorização de parâmetros vitais e a reação de situações de emergência é uma mais valia, para a população em geral e para a eficiência dos sistemas de saúde em particular.

O sistema SSNS procurou responder aos desafios colocados por estas e outras áreas de aplicação ao longo do seu desenvolvimento. O sistema possui dispositivos de diferentes tipos ajustados a diversos cenários de aplicação. Foi desenvolvido um dispositivo *gateway* que permite a interligação do sistema inteligente com a Internet e que garante bidirecionalidade na interação com a rede de sensores sem fios. Foi também criado um dispositivo ambiental, com versões ajustadas a diferentes cenários de aplicação, que pode ser usado como um dispositivo sensor e também como encaminhador da rede em malha, permitindo aumentar o alcance da rede de sensores sem fios. Por fim, foi incluído um dispositivo pessoal, que é uma evolução do trabalho efetuado em (Goncalves *et al.*, 2009), apropriado para ser transportado por cada um dos elementos a monitorizar e que permite a recolha da temperatura e postura dos indivíduos. Este sistema inclui ainda uma aplicação servidora, onde é efetuada a recolha, o processamento e o armazenamento de todos os dados gerados pela rede de sensores sem fios, que são posteriormente disponibilizados,

de forma autenticada, numa página Web onde podem ser consultados.

O sistema SSNS, disponibiliza a infraestrutura genérica para o desenvolvimento de um espaço inteligente. Pode ser usado em diferentes áreas de aplicação, uma vez que tem uma elevada capacidade de adaptação e um sistema muito modular. Para cenários de monitorização ambiental podemos destacar um dispositivo com muito baixo consumo energético, que lhe garante uma elevada autonomia e portanto um baixo custo de operação. Para aplicações na área da saúde, o sistema inclui um mecanismo de localização dentro de edifícios que não é muito comum nos sistemas deste tipo e que se traduz numa mais valia neste domínio de aplicação.

Embora o sistemas SSNS esteja já funcional, trata-se de um protótipo que carece de algum trabalho adicional de aperfeiçoamento. Uma das áreas em que pode evoluir, é o teste do sistema em situações reais com um elevado número de dispositivo, de forma a determinar, em situações práticas, a escalabilidade do sistema. Outro fator a considerar, tem a ver com a redundância e tolerância a falhas do sistema. As redes de sensores em malha são inerentemente robustas, no entanto, o sistema é vulnerável a falha do dispositivo *gateway*. Seria importante analisar a possibilidade de descentralizar o dispositivo *gateway* aumentando assim a robustez do sistema. Seria também relevante dotar a *gateway* de outras tecnologias de comunicação sem fios, como por exemplo wifi, bluetooth, aumentando a versatilidade do equipamento. É também necessário efetuar, para o dispositivo pessoal, testes de usabilidade em cenário real. O ideal seria a realização de um teste piloto num lar de idosos ou numa unidade de saúde, para poder obter dados mais significativos neste aspeto. Uma das mais valias do sistemas SSNS, é a possibilidade de permitir a localização dentro de edifícios, embora esta funcionalidade careça de trabalho adicional. De facto, como vimos, a utilização dos valores do RSSI e dos vizinhos diretos dos dispositivos para inferir informação de localização, está sujeita a constrangimentos relacionados com a topologia e materiais de construção usados nos edifícios. No futuro, seria interessante combinar estes valores com outros dados de localização, que fosse possível, obter à custa de um sistema de fusão sensorial que pudesse ter uma fiabilidade acrescida.

# Bibliografia

- ALEMDAR, H. & ERSOY (2010). Wireless sensor networks for healthcare: A survey. *Computer Networks*, **54**, 2688 – 2710.
- ARDUINO (2013). Arduino Homepage. Disponível em <http://www.arduino.cc/>, Consultado em 19/05/2013.
- ATMEL (2013). ATMEL Homepage. Disponível em <http://www.atmel.com/>, Consultado em 19/05/2013.
- BIESLA, A. (2012). Smart agriculture project in galicia to monitor a vineyard with wasp-mote. Disponível em [http://www.libelium.com/smart\\_agriculture\\_vineyard\\_sensors\\_waspmote](http://www.libelium.com/smart_agriculture_vineyard_sensors_waspmote), Consultado em 22/08/2012.
- BLUETOOTH SIG (2013). Bluetooth basics. Disponível em <http://www.bluetooth.com/Pages/Basics.aspx>, Consultado em 19/05/2013.
- BLUME, S. (2007). *Electric power system basics: for the nonelectrical professional*, chap. 8, 198–199. John Wiley and Sons.
- BOULOS, M., ROCHA, A., MARTINS, A., VICENTE, M., BOLZ, A., FELD, R., TCHOUDOVSKI, I., BRAECKLEIN, M., NELSON, J., LAIGHIN, G., SDOGATI, C., CESARONI, F., AN TOMARINI, M., JOBES, A. & KINIRONS, M. (2007). Caalyx: a new generation of location based services in healthcare. *International Journal of Health Geographics*, **6**, 9.
- BUCHMANN, I. (1999). *Batteries in a portable world*, chap. 2, 369–373. Cadex Electronics Inc., 2nd edn.
- DIGI (2010). The DigiMesh networking protocol - digi international. <http://www.digi.com/technology/digimesh/>, disponível em <http://www.digi.com/technology/digimesh/>, Consultado em 22/08/2012.
- DIGI (2013). Digi international inc. Disponível em <http://www.digi.com>, Consultado em 19/05/2013.

- DIGI INTERNATIONAL INC (2009). *XBee/XBee-PRO RF Modules, Product Manual v1.xEx - 802.15.4 Protocol. IEEE 802.15.4 RF Modules.*
- FERRAZ, D., SOBRAL, P., TORRES, J.M. & MOREIRA, R.S. (2010). Sistema de Monitorização Vital e Ambiental Recorrendo a Redes de Sensores Sem Fios. *CISTI'2010 (5th Iberian Conference on Information Systems and Technologies).*
- GAO, T., PESTO, C., SELAVO, L., CHEN, Y., KO, J., LIM, J., TERZIS, A., WATT, A., JENG, J., CHEN, B.R., LORINCZ, K. & WELSH, M. (2008). Wireless medical sensor networks in emergency response: Implementation and pilot results. *2008 IEEE Conference on Technologies for Homeland Security*, 187–192.
- GHOBAKHLOU, A., ZANDI, S. & SALLIS, P. (2011). Development of environmental monitoring system with wireless sensor networks. *19th International Congress on Modelling and Simulation*, 12–16.
- GONCALVES, P., TORRES, J., SOBRAL, P. & MOREIRA, R. (2009). Remote patient monitoring in home environments. *Proceedings of MobiHealthInf 2009 – First International Workshop on Mobilizing Health Information to Support Healthcare-related Knowledge Work.*
- ISO-KETOLA, P., KARINSALO, T. & VANHALA, J. (2008). HipGuard: a wearable measurement system for patients recovering from a hip operation. *2008 Second International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, 196–199.
- JELICIC, V., RAZOV, T., OLETIC, D., KURI, M. & BILAS, V. (2011). MasliNET: a wireless sensor network based environmental monitoring system. In *MIPRO, 2011 Proceedings of the 34th International Convention*, 150–155.
- LEE, J., SU, Y. & SHEN, C. (2007). A comparative study of wireless protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi. *Industrial Electronics Society*, 46–51.
- LEISTER, W., ABIE, H., GROVEN, A.K., FRET LAND, T. & BALASINGHAM, I. (2008). Threat assessment of wireless patient monitoring systems. *2008 3rd International Conference on Information and Communication Technologies: From Theory to Applications*, 1–6.
- LIANG, X., BARUA, M., CHEN, L. & LU, R. (2012). Enabling pervasive healthcare through continuous remote health monitoring. *Wireless Idiots*, 10–18.
- LIBELIUM (2013). Libelium Homepage. Disponível em <http://www.libelium.com/>, Consultado em 19/05/2013.

- LIU, H., MENG, Z. & CUI, S. (2007). A wireless sensor network prototype for environmental monitoring in greenhouses. *2007 International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, 2344–2347.
- LU, C.H. & FU, L.C. (2009). Robust location-aware activity recognition using wireless sensor network in an attentive home. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, **6**, 598–609.
- MAXSTREAM (2004). *Received signal strength indicator*. February 2004, MAXSTREAM.
- MONTGOMERY, K., MUNDT, C., THONIER, G., TELLIER, A., UDOH, U., BARKER, V., RICKS, R., GIOVANGRANDI, L., DAVIES, P., CAGLE, Y., SWAIN, J., HINES, J. & KOVACS, G. (2004). Lifeguard—a personal physiological monitor for extreme environments. *Conference proceedings : Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Conference*, **3**, 2192–5.
- RAPP, A. (2009). xbee-arduino - arduino library for communicating with XBees in API mode. Disponível em <http://code.google.com/p/xbee-arduino/>, Consultado em 19/02/2011.
- RFID JOURNAL (2013). The basics of rfid technology. Disponível em <http://www.rfidjournal.com/articles/view?1337/2>, Consultado em 19/05/2013.
- SCHILLER, J. (2003). *Mobile Communications*, chap. 4, 124–130. Addison Wesley.
- SEO, J., HEO, J., LIM, S., AHN, J. & KIM, W. (2007). A study on the implementation of a portable u-healthcare system using SNMP and AODV. *Conference proceedings : Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Conference*, **2007**, 1519–22.
- SOBRAL, P., FERRAZ, D., TORRES, J.M., MOREIRA, R.S. & GONÇALVES, P. (2011). *Sistemas e Tecnologias de Informação na Saúde*, chap. 11, 157 –168. Edições Universidade Fernando Pessoa.
- SUN, J. & ZHANG, X. (2009). Study of ZigBee wireless mesh networks. *2009 Ninth International Conference on Hybrid Intelligent Systems*, **2**.
- VALENTE, J., SANZ, D., BARRIENTOS, A., CERRO, J., RIBEIRO, A. & ROSSI, C. (2011). An air ground wireless sensor network for crop monitoring. *Sensors* **11**, 6088–6108.

WI-FI ALLIANCE (2013). Discover and learn. Disponível em <http://www.wi-fi.org/discover-and-learn>, Consultado em 19/05/2013.

WOOD, A., STANKOVIC, J., VIRONE, G., SELAVO, L., HE, Z., CAO, Q., DOAN, T., WU, Y., FANG, L. & STOLERU, R. (2008). Context-aware wireless sensor networks for assisted living and residential monitoring. *IEEE Network*, **22**, 26–33.

ZHOU, B., HU, C., WANG, H., GUO, R. & MENG, M.Q.H. (2007). A wireless sensor network for pervasive medical supervision. *2007 IEEE International Conference on Integration Technology*, 740–744.

ZIGBEE ALLIANCE (2013). Zigbee specification overview. Disponível em <http://www.zigbee.org/Specifications/ZigBee/Overview.aspx>, Consultado em 19/05/2013.