

# Sistema de Sensorização Móvel e Controlo baseado em ZigBee para Bicicletas Elétricas

Paulo Ferreira, José A. Afonso

Centre Algoritmi/Dept. of Industrial Electronics  
University of Minho  
Guimarães, Portugal  
jose.afonso@dei.uminho.pt

Helena Fernandez-Lopez

Life and Health Sciences Research Institute ICVS  
University of Minho  
Braga, Portugal  
hlopez@dei.uminho.pt

**Resumo** — Este artigo apresenta um sistema de monitorização e controlo centrado em dispositivos móveis concebido para aplicação em cenários que permitem tirar partido de uma bicicleta eléctrica. A bicicleta, para além de um meio de transporte, é uma excelente ferramenta para a promoção do exercício físico, podendo contribuir para melhorar a aptidão física de utilizadores de diversas faixas etárias. O sistema proposto, baseado numa rede ZigBee, permite recolher sinais fisiológicos dos utilizadores e controlar o motor eléctrico da bicicleta de modo a possibilitar a implementação de diversos modos de utilização. Este trabalho descreve a solução utilizada para implementar a comunicação sem fios entre os sensores ZigBee e um smartphone Android, bem como os sensores para monitorização de sinais fisiológicos que foram desenvolvidos. De modo a ajudar a perceber onde este trabalho pode ser aplicado, são explicados alguns modos de utilização baseados no controlo do esforço físico, bem como as vantagens do sistema em relação às bicicletas convencionais e bicicletas estáticas.

**Palavras-chave:** ZigBee; sensorização móvel; bicicleta eléctrica, monitorização de sinais fisiológicos.

## I. INTRODUÇÃO

A sensorização móvel consiste na recolha de dados sensoriais centrada nas pessoas [1], com recurso aos seus dispositivos móveis. Os dados sensoriais podem ser provenientes de sensores embebidos nos dispositivos móveis (smartphones ou PDAs) ou podem ser recolhidos de sensores na proximidade do utilizador, utilizando uma rede de sensores sem fios [2]. A participação de pessoas é essencial neste tipo de sistema, e abre um leque de novos domínios de aplicação [3][4], impulsionado pela expansão da utilização das redes sociais e das aplicações baseadas na web.

A mobilidade e a sensorização são aspetos centrais nestes sistemas, mas existem vários desafios relacionados com o desempenho, a autonomia, a facilidade de utilização e a integração com outros sistemas que também devem ser considerados. Os dados a serem recolhidos pelos sensores podem ser dos mais diversos tipos, como parâmetros ambientais (temperatura, humidade, poluição, níveis de ruído), parâmetros fisiológicos (temperatura, ritmo cardíaco, respiração, entre outros) e parâmetros de mobilidade (velocidade, posição, aceleração, inclinação e orientação).

O sistema descrito neste artigo visa tirar partido das potencialidades das bicicletas eléctricas como meio de

transporte, desporto e lazer, e transformá-las numa ferramenta capaz de trazer benefícios acrescidos para o utilizador final. Para esse fim, além de um motor eléctrico que pode ser adaptado a uma bicicleta convencional, o sistema integra um dispositivo móvel e diversos sensores (e atuadores) instalados no próprio dispositivo, no corpo do utilizador e na bicicleta, bem como uma rede sem fios para comunicação entre as partes.

Um dos objetivos deste sistema consiste em promover a atividade física saudável através da união da vantagem do controlo total do esforço físico efetuado, que é característico das bicicletas estáticas utilizadas em casa e em ginásios, com a vantagem da prática da atividade física ao ar livre proporcionada pelas bicicletas convencionais, que no entanto sujeitam o utilizador a um nível de esforço variável consoante a topologia do terreno. Em ambientes exteriores aos ginásios os pavimentos (asfalto, gravilha, paralelo ou terra batida) variam regularmente consoante a localidade ou zona geográfica, sendo a trepidação e a inclinação características intrínsecas a cada tipo de terreno. Através da análise de sensores é possível determinar a rugosidade das superfícies de modo a escolher ou evitar certas zonas nos percursos. Os utilizadores deste sistema também podem, de um modo transparente, partilhar os seus dados através de uma plataforma web.

Em alguns trabalhos existentes na literatura, a bicicleta é um elemento importante na arquitetura do sistema de sensorização móvel. Em [5], os autores descrevem o projecto BikeNet, que efetua o mapeamento da experiência dos utilizadores com base em diversos sensores integrados nas bicicletas dos ciclistas. Este trabalho utiliza uma bicicleta convencional na qual são adaptados os diferentes sensores. O sistema é formado por uma rede de sensores sem fios (que os autores denominaram de “*bicycle area network*”) baseada em IEEE 802.15.4. Este sistema integra um dispositivo *gateway* IEEE 802.15.4/Bluetooth que proporciona a interface entre a rede de sensores e o smartphone. Esta solução aumenta a complexidade do sistema ao requerer a utilização de duas tecnologias de rede de área pessoal sem fios em conjunto. A utilização do Bluetooth implica um consumo superior comparado com o do IEEE 802.15.4/ZigBee [6]. A recolha de dados incide sobre parâmetros como os níveis de ruído e dióxido de carbono, a velocidade, a localização geográfica e o nível de estresse do utilizador. A transmissão de dados do smartphone para a Internet é feita via rede GSM ou recorrendo a pontos de acesso 802.11a/b/g.

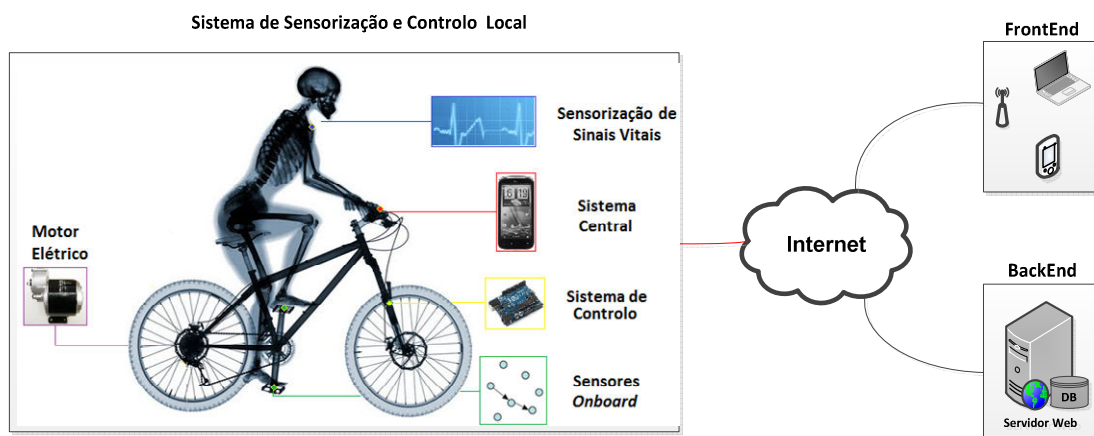


Figura 1. Arquitetura conceptual do sistema.

O projecto Copenhagen Wheel [7] visa o desenvolvimento de uma roda que pode ser adaptada numa bicicleta convencional de modo a transformá-la numa bicicleta elétrica com recursos de sensorização móvel. A parte central da roda (*hub*) integra o motor elétrico, a bateria e engrenagens internas, assim como sensores ambientais de CO, NO<sub>x</sub>, temperatura, ruído (dB) e humidade. O dispositivo móvel utilizado é um smartphone iPhone e a comunicação sem fios com o *hub* baseada em Bluetooth. O smartphone permite obter a localização geográfica, bloquear e desbloquear a bicicleta, controlar a mudanças de engrenagens e definir o nível de ajuda do motor. Este sistema não prevê a recolha de sinais fisiológicos do utilizador.

Em [8], os autores descrevem um sistema para monitorização de sinais recolhidos de um ciclista e de uma bicicleta convencional, sendo que a ênfase é dada aos nós sensoriais desenvolvidos. O sistema está equipado com vários nós sensoriais sem fios baseados em ZigBee, denominados BioTe. Cada nó sensorial contém um transceiver RF CC2420, da Texas Instruments, e um microcontrolador MSP430. O equipamento desenvolvido é utilizado para recolher dados como a temperatura e o ritmo cardíaco do ciclista, a temperatura do ambiente e as rotações por minuto (RPM) da roda da bicicleta. O sistema não faz uso de um dispositivo móvel, mas sim de um computador portátil, instalado no guidão da bicicleta, que recebe do coordenador ZigBee, via Bluetooth, os dados recolhidos de todos os nós sensoriais.

Em [9], é apresentado um sistema de monitorização que efetua a medição do ritmo cardíaco e do nível de saturação de oxigénio (SpO<sub>2</sub>), com o objectivo de trabalhar diferentes zonas corporais. As fórmulas usadas determinam quais são os valores ideais para proporcionar um treino adaptado às necessidades de cada indivíduo consoante a idade e o género. Esta informação é útil na criação de algoritmos que tenham em consideração os limites físicos de cada pessoa.

Este artigo descreve um sistema de sensorização móvel aplicado a bicicletas elétricas que integra sensores para monitorização de sinais no corpo do utilizador e na bicicleta. Para comunicação entre os componentes do sistema implementou-se uma rede sem fios baseada nas normas ZigBee e IEEE 802.15.4. O foco deste artigo abrange a solução

encontrada para a integração da interface de comunicação ZigBee no dispositivo móvel, de forma a este poder comunicar com os sensores, bem como os sensores ZigBee que foram desenvolvidos.

As próximas secções estão organizadas da seguinte forma. A secção II apresenta uma descrição do sistema proposto em termos conceptuais, enquanto a secção III descreve com maior detalhe as opções de implementação a nível tecnológico tomadas para concretizar o sistema descrito na secção anterior. A secção IV descreve a solução encontrada para integração do ZigBee no dispositivo móvel, enquanto a secção V descreve os sensores ZigBee implementados. Finalmente, a secção VI apresenta as conclusões.

## II. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

A Figura 1 ilustra a arquitetura conceptual do sistema, que integra um sistema local e um sistema remoto. O sistema remoto é constituído por uma *frontend* e um *backend*. O *frontend* é essencialmente uma página web onde os utilizadores podem consultar diversas informações recolhidas pelo sistema, como por exemplo o histórico de monitorização do seu estado físico e mapas dos percursos efectuados. Há a possibilidade de partilhar esta informação com um grupo de amigos, ou visualizar em tempo real o desempenho dos ciclistas. O *backend* é onde estão registados todos os dados e onde é feita a gestão do conteúdo enviado ao *frontend*.

Relativamente ao sistema local, este é constituído pelos seguintes componentes:

- Sistema de Sensorização;
- Sistema Central;
- Sistema de Controlo;
- Motor elétrico.

O Sistema de Sensorização, composto por sensores de sinais vitais colocados no utilizador e por sensores instalados na bicicleta (*onboard*), é responsável pela aquisição e transmissão sem fios de diferentes tipos de dados sensoriais. Estes dados sensoriais incluem ainda os dados recolhidos dos sensores do próprio dispositivo móvel. O Sistema Central, instalado no dispositivo móvel, é o software responsável pela

análise dos dados e pela comunicação sem fios com o Sistema de Controlo e com o Sistema de Sensorização. Dependendo da conectividade e do tipo de dados sensoriais, estes podem ser armazenados localmente no Sistema Central ou enviados para um local remoto. O Sistema de Controlo, instalado na bicicleta, faz atuar o motor elétrico consoante as instruções dadas pelo Sistema Central. O sistema do motor elétrico encontra-se em fase de desenvolvimento, sendo que está planeado para permitir o carregamento da bateria pelo mecanismo de travagem regenerativa, podendo ser usado também para recarregar o dispositivo móvel.

#### A. Controlo de Esforço

O controlo de esforço está relacionado com a capacidade de ajuste da intensidade de esforço físico para os níveis desejados a cada instante, de modo a obter um desempenho similar ao proporcionado pelas bicicletas estáticas presentes em ginásios. No caso de um percurso exterior efetuado com recurso a uma bicicleta convencional, que pode abranger subidas e descidas, essa capacidade pode ser adicionada através da regulação automática do nível de ajuda (ou resistência) proporcionada pelo motor elétrico consoante a inclinação do terreno. Este conceito de regulação de esforço tem como vantagem principal a capacidade de proporcionar atividade física com programas pré-definidos utilizando uma bicicleta convencional. Quando as condições climáticas não são as mais favoráveis, o mesmo sistema pode ser utilizado em espaços interiores, com recurso a um suporte para suspender as rodas, permitindo manter os demais benefícios do sistema e evitando a necessidade de aquisição de outro equipamento para utilização dentro de casa.

Existem vários modos de funcionamento que podem ser comparados com os sistemas utilizados em ginásios. Destacam-se os seguintes modos:

- Modo Constante;
- Modo Programado;
- Modo Cardíaco.

No Modo Constante, a bicicleta é usada para proporcionar um regime de treino de esforço constante. Neste modo, o sistema atua no motor de forma automática, de forma a garantir que o esforço aplicado pelo ciclista seja aproximadamente constante, independentemente do grau de inclinação do terreno. Um dos desafios associados a este modo é o aumento do consumo energético em subidas acentuadas, pois estas exigem o fornecimento de maior potência mecânica por parte do motor. Por outro lado existe uma vantagem quando o percurso é desceite pois é possível recuperar a carga da bateria com a funcionalidade regenerativa do motor.

O Modo Programado permite utilizar um plano de treino pré-programado. Neste modo é possível definir o nível de esforço a cada instante de tempo. A variabilidade da inclinação do piso e a capacidade de atuação do motor são dois fatores importantes pois influenciam a qualidade do resultado obtido neste modo.

No Modo Cardíaco, o esforço é controlado através do ritmo cardíaco do ciclista. Este modo é o mais indicado para quem necessita de ter cuidado com o seu estado cardíaco, ou para quem pretende fazer um exercício cardíaco controlado. O

Modo Cardíaco pode ser combinado com o Modo Constante ou com o Modo Programado, de modo a permitir a programação de exercícios com ritmo cardíaco constante ou variável no tempo, respetivamente.

### III. IMPLEMENTAÇÃO

Esta secção apresenta detalhes de implementação, a nível tecnológico, referentes ao sistema que foi descrito conceptualmente na secção anterior.

#### A. Diagrama de Blocos do Sistema

A Figura 2 ilustra os principais blocos do sistema concebido e a respetiva interligação entre os mesmos. O bloco central de sistema é o Smartphone (dispositivo móvel). Este bloco abriga o Sistema Central e uma base de dados local, possuindo também diversas interfaces de comunicação (Bluetooth, ZigBee, WiFi, 3G) e sensores incorporados. A implementação deste sistema é baseada no sistema operativo Android [10]. Como plataforma de desenvolvimento, está a ser utilizado um smartphone HTC Sensation.

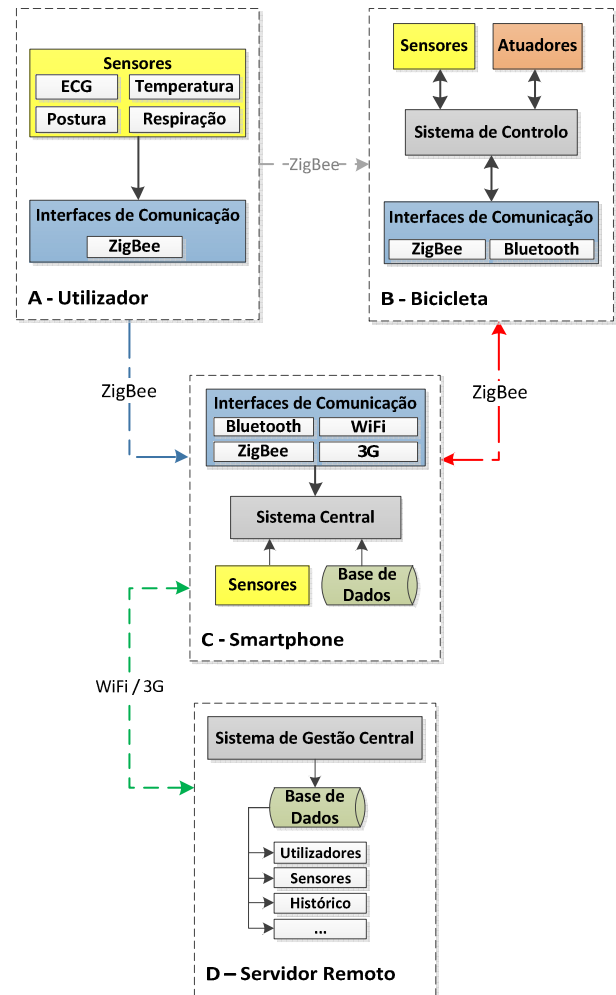


Figura 2. Diagrama de blocos do sistema.

A comunicação sem fios entre os blocos locais do sistema é efetuada com recurso à tecnologia ZigBee [11]. Os smartphones disponíveis no mercado não disponibilizam esta

interface de comunicação. Sendo assim, a solução encontrada para o desenvolvimento do sistema recorre à utilização de um cartão microSD ZigBee, conforme descrito na secção IV.

O bloco Utilizador é composto por diversos sensores para monitorização de sinais vitais compatíveis com a tecnologia ZigBee que foram desenvolvidos pelos autores. Estes sensores são descritos na secção V. O bloco Bicicleta contém o Sistema de Controlo, instalado na bicicleta, que comunica com os demais blocos utilizando ZigBee, bem como sensores e atuadores, incluindo o motor elétrico e a bateria. O Smartphone comunica com o Servidor Remoto (*backend* da Figura 1) utilizando WiFi, quando disponível, ou 3G em alternativa.

### B. Rede de Sensores sem Fios

A rede de sensores sem fios implementada no sistema a nível local é baseada no protocolo ZigBee. O ZigBee assenta sobre a norma IEEE 802.15.4 [12], que é responsável por definir a camada física (PHY) e a camada (MAC). A camada física utiliza espalhamento espectral por sequência direta (DSSS - Direct Sequence Spread Spectrum) e especifica diferentes taxas de transmissão e bandas de operação: 250 kbps para a banda de frequências de 2.4 GHz e 20/40 kbps para a banda de 868/915 MHz, além de outras configurações opcionais. A camada MAC é baseada no protocolo de acesso aleatório CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Access - Collision Avoidance).

A pilha protocolar do ZigBee é baseada no modelo OSI, em que cada camada presta um conjunto específico de serviços à camada superior. O ZigBee define, entre outros, os serviços prestados pela camada de rede (NWK) e de aplicação (APL). O ZigBee pode operar em topologia estrela (*star*), malha (*mesh*) ou árvore (*tree*). Em qualquer topologia é obrigatória a presença de um coordenador ZigBee, que tem a responsabilidade de formar a rede. Existem mais dois tipos de dispositivos lógicos para além do coordenador: o router e o end device. Ambos podem executar tarefas de sensorização e actuação. O router também pode encaminhar tráfego entre os nós, possibilitando o aumento do alcance, mas tem que estar sempre acordado. O end device só pode comunicar com o seu pai, que tem que ser um router ou o coordenador, não podendo assim encaminhar dados, mas pode dormir durante períodos de inatividade para economizar energia.

No sistema implementado o Smartphone assume o papel de coordenador da rede ZigBee, o Sistema de Controlo na Bicicleta assume o papel de router e os sensores colocados no Utilizador e na Bicicleta assumem o papel de end device. Devido à proximidade entre todos os nós da rede optou-se por utilizar a topologia estrela, visto que esta apresenta um desempenho superior às topologias *multihop* (árvore e malha), nomeadamente em termos de atraso e eficiência na utilização da largura de banda. A escolha desta topologia implica que os todos os dados passam obrigatoriamente pelo Smartphone.

## IV. INTERFACE ZIGBEE PARA SMARTPHONE

Os smartphones não suportam nativamente a norma ZigBee, sendo este um dos principais problemas existentes actualmente em qualquer plataforma móvel, incluindo a plataforma Android. Sendo assim, para resolver o problema foi

necessário encontrar outro tipo de solução. Um estudo preliminar identificou duas alternativas possíveis. Uma delas [13] utiliza um dongle USB CC2531 (Figura 3C), da Texas Instruments, que se liga à porta microUSB do equipamento móvel. A outra solução consiste na utilização de um cartão microSD SDZ-537 (Figura 3 [A e B]) produzido pela Spectec [14]. Neste trabalho, optou-se pela utilização do cartão microSD, por ser a solução mais conveniente para o utilizador final, visto que o cartão encaixa no *slot* disponível no aparelho. Com este cartão o utilizador fica com 512 MB livres ao seu dispor, sendo que já existe actualmente uma outra versão do cartão (SDZ-539) com capacidade de 2 GB.

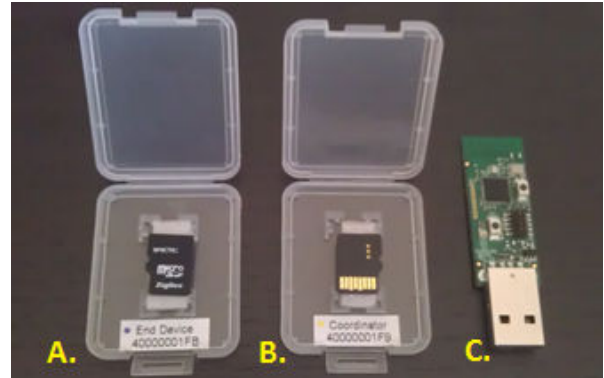


Figura 3. Cartões microSD ZigBee (A e B) e Dongle USB CC2531 (C).

### A. Cartão microSD ZigBee

A estrutura interna do cartão microSD ZigBee está ilustrada na Figura 4. O componente principal do cartão é o circuito integrado CC2530 [15], um SoC (System on Chip) que integra no mesmo chip um transceiver RF compatível com a norma IEEE 802.15.4 na banda de frequências de 2.4 GHz, um microcontrolador baseado no 8051 e uma memória RAM programável de 8 kB. Este chip utiliza a pilha protocolar ZigBee da Texas Instruments, denominada Z-Stack. O uso deste cartão possibilita a implementação do sistema com base não só em ZigBee, mas com qualquer outro protocolo assente na camada física do IEEE 802.15.4 na banda de 2.4 GHz, incluindo protocolos proprietários. Por exemplo, é possível implementar somente o IEEE 802.15.4 sem o ZigBee utilizando a pilha protocolar TIMAC da Texas Instruments.

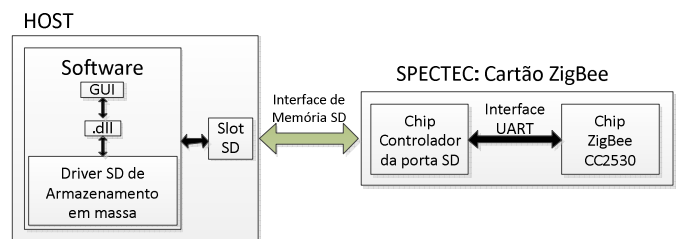


Figura 4. Estrutura interna do cartão microSD.

O CC2530 comunica com um chip Controlador da porta SD (Secure Digital). A comunicação com o sistema operativo do smartphone é feita através da interface de memória SD. Um dos principais problemas associados a esta abordagem resulta do facto do Android fazer “file caching” para otimizar o desempenho dos cartões de memória. Sendo assim a aplicação desenvolvida é obrigada a executar o comando “clear cache”

para forçar o envio e recepção de dados pela interface rádio em tempo considerado útil para o sistema de controlo.

No teste inicial da interface de comunicação ZigBee foram utilizados dois cartões microSD SDZ-537. Um cartão foi programado como end device e outro como coordenador. Verificou-se que os cartões microSD ZigBee podem ser programados para desempenhar as funções de qualquer um dos três tipos de dispositivo ZigBee: coordenador, router ou end device. O teste seguinte consistiu na transmissão de dados de um nó ZigBee para o smartphone. Para este efeito, um cartão microSD SDZ-537 foi inserido no smartphone HTC Sensation, tendo sido programado com o papel de coordenador. O nó ZigBee foi implementado com recurso a uma placa SmartRF05EB (Evaluation Board) e um módulo CC2530EM (Evaluation Module), provenientes do kit de desenvolvimento CC2530DK [16], da Texas Instruments. O nó ZigBee foi programado no papel de end device. Neste teste, como no anterior, conseguiu-se efetuar a transferência de dados entre os nós da rede. O alcance obtido na comunicação entre o smartphone e o módulo CC2530EM foi de 8 metros em linha de vista. Verificou-se que a localização da ranhura microSD e as propriedades mecânicas dos equipamentos influenciam o alcance. Foram realizados outros testes com o HTC TyTN, onde o alcance máximo obtido foi de 6.5 metros. Em ambos os cenários de teste a distância conseguida é mais que suficiente para permitir a comunicação direta entre o smartphone e os dispositivos ZigBee instalados na bicicleta e no corpo do utilizador.

## V. SENSORES ZIGBEE

Esta secção descreve os protótipos dos dispositivos sensores sem fios baseados em ZigBee que foram desenvolvidos pelos autores.

### A. ECG, Ritmo Cardíaco e Temperatura

O dispositivo sensor de ECG permite a monitorização contínua de uma projeção modificada da derivação D1. A distância entre os eletrodos é 20 mm, o que resulta em amplitudes QRS de 0.33 mV, aproximadamente. O sensor de ECG utiliza um filtro passa-banda entre 0.5 Hz e 40 Hz e apresenta um ganho de tensão de 4160. O ritmo cardíaco é extraído do sinal de ECG em tempo real através da deteção do complexo QRS efetuada no próprio dispositivo pelo uso de uma versão modificada do algoritmo de processamento de sinal desenvolvido por Pan and Tompkins [17].

Para processamento de dados e comunicação sem fios, o dispositivo utiliza um módulo ZigBee JN5139-M00 [18], da Jennic, que inclui um microcontrolador de 30 bits, um transceiver RF compatível com a norma IEEE 802.15.4 na banda de 2.4 GHz e uma antena integrada. As amostras do sinal de ECG são recolhidas com frequência de amostragem de 200 Hz e resolução de 12 bits, o que resulta num sinal com débito de 2400 bps. Os dados do ECG são transmitidos em pacotes de 50 amostras a cada 250 ms. Um algoritmo de compressão de 2:1 do sinal de ECG também foi implementado, permitindo aumentar o período entre transmissões para 500 ms. O sensor de ritmo cardíaco gera 1 byte a cada 5 segundos.

O dispositivo utiliza uma pilha de lítio CR2 de 850 mAh com tensão nominal de 3 V e consome 12.3 mA em média, o que resulta numa autonomia de aproximadamente 70 horas em utilização contínua, o que foi comprovado experimentalmente. O protótipo do dispositivo desenvolvido é apresentado na Figura 5. À esquerda apresenta-se a parte inferior da placa de circuito impresso (PCB), onde pode-se ver os três terminais onde se encaixam diretamente os eletrodos e a bateria. Ao centro é apresentada a parte superior da placa, onde pode-se identificar o módulo ZigBee à esquerda. À direita da figura é apresentada a caixa do dispositivo, que possui um diâmetro de 7 cm e uma espessura de 1.5 cm.



Figura 5. Protótipo do sensor de ECG e ritmo cardíaco.

Um dispositivo sensor de temperatura axilar baseado no módulo ZigBee da Jennic e num termistor também foi desenvolvido. O sensor mede temperaturas na gama entre 34 °C e 42 °C, com uma precisão de  $\pm 0.2$  °C. O dispositivo é alimentado por uma pilha de lítio tipo moeda CR2540 de 610 mAh e tensão nominal de 3.0 V, e apresenta uma autonomia de 240 dias. Este dispositivo é encapsulado numa caixa plástica e dispõe de uma braçadeira de tecido para fixação no braço do utilizador.

A Figura 6 apresenta o ecrã principal de uma aplicação para visualização de sinais vitais de pacientes que foi desenvolvida para o sistema operativo Windows Mobile, onde se pode observar valores reais recolhidos dos sensores desenvolvidos em tempo real: a forma de onda do sinal de ECG, o ritmo cardíaco em bpm e a temperatura em °C.

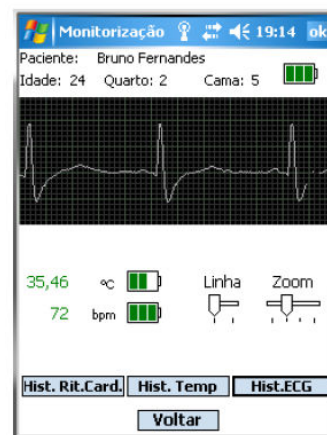


Figura 6. Interface da aplicação de monitorização de sinais vitais.

### B. Orientação e Postura

Este dispositivo foi concebido na forma de duas PCB que são interligadas por dois conectores. A primeira placa desenvolvida é um módulo ZigBee baseado no mesmo circuito

integrado utilizado pelo cartão microSD, o CC2530. A outra placa é um módulo com sensores para monitorização da postura. A vantagem desta abordagem é que o mesmo módulo ZigBee pode ser reaproveitado para utilização com placas contendo outros tipos de sensores. Este módulo contém uma antena integrada, o que permite reduzir significativamente as dimensões do dispositivo quando comparada ao módulo CC2530EM, da Texas Instruments, que utiliza uma antena externa (Figura 7).



Figura 7. Módulo CC2530EM, da Texas Instruments [16].

O módulo ZigBee desenvolvido, apresentado na Figura 8, possui 4 cm x 4 cm e integra um CC2530 e uma antena PCB inverted F [19]. O *pinout* dos conectores é compatível com o do CC2530EM, o que permite usar a placa SmartRF05EB, da Texas Instruments, para programação e testes.

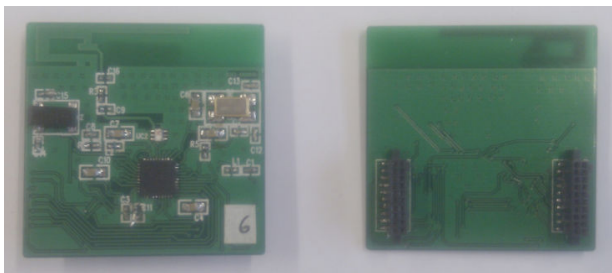


Figura 8. Módulo ZigBee com antena integrada desenvolvido.

O módulo sensorial desenvolvido integra acelerómetros e magnetómetros de 3 eixos e possui as mesmas dimensões do módulo ZigBee. Os dados são amostrados pelo CC2530 do módulo ZigBee utilizando a interface SPI (Serial Peripheral Interface). Ambos os módulos são alimentados por uma bateria recarregável de íões de lítio de 300 mAh.

Cada módulo sensorial permite obter a orientação em 3D (*roll*, *pitch* e *yaw*) do objeto ou segmento do corpo em que é colocado com uma resolução de cerca de 1%. Múltiplos módulos colocados em posições adequadas no corpo do utilizador permitem obter a sua postura em tempo real. Uma aplicação em que esta informação é particularmente relevante consiste na análise do desempenho de atletas no ciclismo de alta competição, em que a postura do atleta pode influenciar os resultados. Outra aplicação deste módulo sensorial no âmbito do sistema apresentado neste artigo consiste na colocação de um módulo na bicicleta para obtenção da inclinação do terreno.

## VI. CONCLUSÕES

Este artigo apresenta um sistema de sensorização móvel aplicado a uma bicicleta elétrica que visa tirar partido da

combinação destes dois elementos para promover a atividade física de utilizadores de diversas faixas etárias. Os próximos passos deste trabalho serão o desenvolvimento da aplicação de controlo para o smartphone Android e a integração e teste dos diferentes componentes do sistema com a bicicleta elétrica que está a ser desenvolvida.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho é financiado por Fundos FEDER através do Programa Operacional Fatores de Competitividade – COMPETE e por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia no âmbito do Projeto: FCOMP-01-0124-FEDER-022674.

## REFERÊNCIAS

- [1] A. T. Campbell et. al., "The Rise of People-Centric Sensing", *IEEE Internet Computing*, Vol. 12, Issue 4, July Aug. 2008, pp. 12-21.
- [2] C. Buratti, A. Conti, D. Dardari, D and R. Verdone, "An Overview on Wireless Sensor Networks Technology and Evolution", *Sensors*, Vol. 9, 2009, pp. 6869-6896.
- [3] S. Reddy, et. al., "MobiSense - mobile network services for coordinated participatory sensing," *Int. Symposium on Autonomous Decentralized Systems (ISADS '09)*, Athens, Greece, March 2009, pp. 1-6.
- [4] M. Mun et. al., "PEIR, the personal environmental impact report, as a platform for participatory sensing systems research," *7th international conference on Mobile systems, applications, and services (MobiSys '09)*, Kraków, Poland, 2009, pp. 55-68.
- [5] S. B. Eisenman, E. Miluzzo, N. D. Lane, R. A. Peterson, G.-S. Ahn, and A. T. Campbell, "The BikeNet mobile sensing system for cyclist experience mapping," *5th International Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, Sydney, Australia, 2007.
- [6] N. Baker, "ZigBee and Bluetooth strengths and weaknesses for industrial applications", *Computing & Control Engineering Journal*, Vol.16, Issue 2, April-May 2005.
- [7] C. Outram, C. Ratti, and A. Biderman, "The Copenhagen Wheel: An innovative electric bicycle system that harnesses the power of real-time information and crowd sourcing", *EVER '2010*, Monaco, March 2010.
- [8] W. Walker, A. L. P. Aroul, and D. Bhatia, "Mobile Health Monitoring Systems" *31st Annual International Conference of the IEEE EMBS*, Minneapolis, Minnesota, USA, September 2009, pp. 5199-5202.
- [9] L. Somanathan and I. Khalil, "Fitness Monitoring System Based on Heart Rate and SpO2 Level" *IEEE International Conference on Information Technology and Applications in Biomedicine (ITAB 2010)*, Corfu, Greece, November 2010.
- [10] OpenHandsetAlliance, "Android Overview". Available: [http://www.openhandsetalliance.com/android\\_overview.html](http://www.openhandsetalliance.com/android_overview.html)
- [11] ZigBee.Alliance, "ZigBee Alliance Document 053474r17" ZigBee Specification v. 1.0 r17, 2007.
- [12] IEEE Std 802.15.4-2006 - Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), September 2006.
- [13] ZigBee Android Interface. Checked: February 2012. Available: [http://processors.wiki.ti.com/index.php/Android\\_ZigBee\\_Interface](http://processors.wiki.ti.com/index.php/Android_ZigBee_Interface)
- [14] Spectec, "MicroSD Zigbee Card - sdz-537", 2009. Available: <http://download.spectec.com.tw/sdz537.htm>
- [15] Texas Instruments, "A True System-on-Chip Solution for 2.4-GHz IEEE 802.15.4 and ZigBee Applications", CC2530 datasheet, February 2011.
- [16] Texas Instruments, "CC2530 Development Kit User's Guide," SWRU208B, 2010.
- [17] J. Pan and W. J. Tompkins, "A Real-Time QRS Detection Algorithm", *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, BME-32, Issue 3, March 1985, pp. 230-236.
- [18] Jennic, "Datasheet - JN5139-xxx-Myy - IEEE802.15.4 / ZigBee Module Family", JN-DS-JN5139-xxx-Myy 1v6, 2010.
- [19] A. Andersen, "2.4 GHz Inverted F Antenna", Design Note DN0007, Texas Instruments, April 2008.