

Sistema de aquisição e registo de sinais biomédicos baseado numa plataforma de desenvolvimento *open-source* de baixo custo

by DANIEL JARDAN^a, JOÃO GIL^a, FERNANDO MARTINS^{a*}, LINO FERREIRA^{a,b}, RUI FONSECA-PINTO^{a,b}

^a Instituto Politécnico de Leiria/ESTG, Leiria, Portugal

^b Instituto de Telecomunicações, Portugal

* fernando.martins@ipleiria.pt

Resumo Este artigo apresenta um sistema de aquisição e registo de sinais biomédicos baseado na plataforma de desenvolvimento *open-source* *Arduino*. O sistema tem associado um cartão de memória para registo de dados, bem como um acelerómetro que indica a atividade/postura do paciente. É utilizado um módulo de comunicação *Bluetooth* para ligação a um dispositivo móvel (*smartphone* e *tablet*) de forma a permitir a parametrização, o comando do sistema de aquisição e a monitorização em tempo real dos dados adquiridos. Estes dados foram usados para calcular o balanço vago-simpático associado a tarefas específicas do dia-a-dia.

1 Introdução

O registo de sinais biológicos é muitas vezes vital no diagnóstico e vigilância clínica de doentes. Em determinados casos, este tipo de procedimento tem de ser efetuado em meio hospitalar em pacientes internados, seguindo determinado protocolo. Noutras situações, é mesmo necessário adquirir este tipo de informação em condições normais da vida quotidiana, e para isso são utilizados dispositivos portáteis, dedicados e normalmente dispendiosos como, por exemplo, o gravador Holter para registar continuamente o electrocardiograma (ECG). O desenvolvimento de equipamentos de diagnóstico para monitorização e análise de sinais biomédicos sofreu um forte crescimento nos últimos anos e a procura de novos sistemas de aquisição de sinais biomédicos justifica o desenvolvimento de novas soluções que respondam às exigências médicas atuais [1, 2, 3, 4].

A banalização da transmissão de dados através da Internet, do *Wi-Fi* e das redes celulares, permite que equipamentos médicos, com capacidade de ligação a dispositivos móveis, tornem possível partilhar os dados adquiridos com os técnicos de saúde em qualquer lugar e em qualquer instante, monitorização do paciente de forma remota, receber alarmes, etc. As aplicações de um dispositivo com estas capacidades são inúmeras. Por exemplo, podem evitar a necessidade do paciente se deslocar ao hospital ou à clínica para descarregar os dados, pode ser usado para monitorizar pacientes de alto risco diretamente a partir de suas próprias casas, entre outras.

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de

um sistema de aquisição e registo de múltiplos sinais biomédicos baseado numa plataforma de desenvolvimento *open-source* de baixo custo e com capacidade de ligação a um dispositivo móvel. O sistema deverá, ainda, ter a capacidade de funcionar de forma autónoma com capacidade de registo dos dados recolhidos num formato que permita a posterior leitura e análise por vários tipos de software, tais como *Excel*, *Access*, *Matlab*. Face aos objetivos traçados, recorreu-se à plataforma de desenvolvimento *Arduino* para implementar o sistema, dada a sua flexibilidade, simplicidade de utilização, de ser uma plataforma aberta e especialmente devido ao facto de ter baixo custo.

Este artigo está organizado da seguinte forma. A Secção 2 faz uma descrição geral do sistema proposto. Nas Secções 3 e 4 são apresentados os detalhes do hardware e software desenvolvido, respetivamente. Na Secção 5 apresentam-se alguns resultados experimentais obtidos com o sistema proposto. Finalmente, na Secção 6 são apresentadas as conclusões e o trabalho futuro.

2 Descrição do sistema

O sistema proposto está baseado na plataforma de desenvolvimento *Arduino Uno* [5] dotada do microcontrolador ATmega328. Esta plataforma é composta por 14 entradas/saídas digitais e 6 entradas analógicas, contém também uma ligação USB (*Universal Serial Bus*) para, por exemplo, efetuar a programação e comando da placa através de um PC. Tem igualmente a possibilidade de ligar a outros dispositivos através da interface de comunicação SPI (*Serial Peripheral Interface*), ver Figura 1.

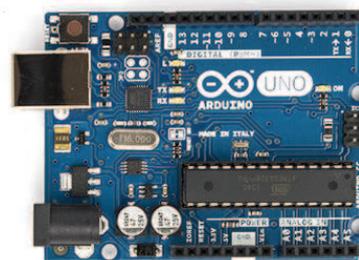


Fig 1. Plataforma de desenvolvimento *Arduino Uno* [5].

Esta plataforma de desenvolvimento adquire os sinais dos diferentes tipos de sensores através dos portos de entrada analógicos e digitais, e ativa os vários tipos de alarmes presentes através dos portos de saída. A capacidade de armazenamento é obtida através da ligação ao um cartão de memória standard (*SD card*) por meio da *interface SPI*. A capacidade de comunicação com um dispositivo móvel é alcançada através de um módulo da comunicação *Bluetooth* que liga aos pinos RX e TX do porto de comunicação série disponível na plataforma. A Figura 2 dá uma perspetiva geral do sistema proposto. O sistema tem capacidade de obtenção de informação de frequência cardíaca, de temperatura corporal e ainda a posição/postura do paciente recorrendo à utilização de um acelerómetro. Considerou-se que seria uma mais-valia a inclusão deste tipo de sensor no sistema face às suas potenciais aplicações no campo médico e terapêutico. Este sensor pode ser usado na avaliação do movimento humano, na deteção de distúrbios do sono, mudanças de posição, entre outras. Os acelerómetros podem ser, igualmente, usados na medicina de reabilitação para determinar o risco de queda de pessoas (que pode resultar em fraturas ou até mesmo morte), em que as causas subjacentes estão relacionadas com uma marcha e equilíbrio deficientes. Alarmes são acionados caso sejam atingidos valores limite de ritmo cardíaco ou de temperatura corporal.

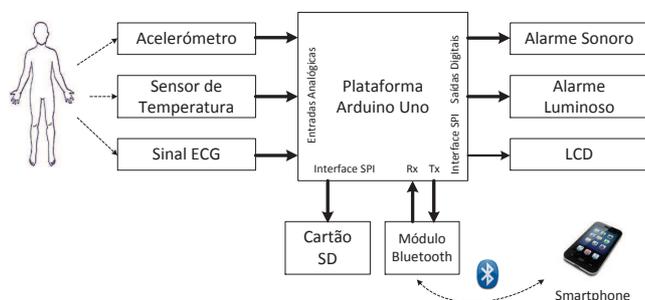


Fig 2. Diagrama de blocos do sistema proposto.

O sistema apresenta uma *interface* para um dispositivo móvel *Android* que permite ao utilizador controlar o início e a paragem da aquisição de dados, a definição do intervalo e da taxa amostragem, bem com definir e registar as atividades mais relevantes durante o período do registo dos sinais (dormir, comer, andar, correr, etc), e os instantes em que ocorrem. A *interface* permite ainda visualizar os valores instantâneos do ritmo cardíaco e da temperatura corporal. Nesta *interface* poder-se-ia, ainda, desencadear outro tipo de alarmes no próprio dispositivo móvel ou efetuar chamadas ou envio de SMS (*Short Messaging Service*) de emergência para números previamente definidos.

3 Hardware

O componente principal do sistema desenvolvido é a plataforma *Arduino Uno* (ver Figura 1), à qual são ligados os diferentes sensores e dispositivos que constituem o sistema proposto. Far-se-á de seguida uma descrição dos vários elementos de hardware usado no trabalho.

- O sinal ECG é obtido através de três elétrodos colocados no corpo do paciente, cujos sinais são devidamente acondicionados (amplificação, filtragem, isolamento). O ritmo cardíaco é obtido a partir deste sinal de ECG.
- A temperatura corporal é obtida através de um sensor de temperatura integrado (LM35) encostado ao corpo do paciente. O sinal de saída do sensor é devidamente amplificado antes chegar a uma das entradas analógicas da plataforma *Arduino*.
- Para o acelerómetro foi usado o dispositivo integrado ADXL335 [6]. É um dispositivo de pequenas dimensões, baixo consumo, que contém um acelerómetro de três eixos com saídas em tensão já acondicionadas. Este dispositivo permite, assim, a ligação direta a três das entradas analógicas da plataforma *Arduino*.
- O alarme sonoro presente no protótipo é implementado por um pequeno bescoro sendo acionado através de uma saída digital. O alarme pode ser desativado através de um botão de pressão caso corresponda a uma situação de falso alarme. Pode ser usado para diferentes fins, como por exemplo em situações em que ocorra uma possível queda, permitindo, assim, alertar as pessoas que estão nas proximidades para prestar a necessária ajuda.
- Os alarmes luminosos são implementados através de LEDs (Light-Emitting Diode) que são ativados a partir de saídas digitais. Destinam-se a sinalizar situações de temperatura corporal elevada (LED amarelo) e situações de arritmias (LED vermelho em conjunto com um "beep" sonoro).
- O sistema incorpora o LCD (Liquid Crystal Display) Nokia 5110 [7] para visualizar os valores obtidos pelos sensores em tempo real, assim como os vários parâmetros de funcionamento definidos (taxa e intervalo de amostragem, níveis de alarme, temperatura, ritmo cardíaco, etc).
- A ligação à plataforma é feita através da *interface SPI*. A capacidade do sistema para comunicar por meio de *Bluetooth* com dispositivos móveis, ou outros dispositivos, é conseguida através da utilização do módulo integrado HC06 [8]. Este módulo liga diretamente aos pinos RX e TX do porto de comunicação série da plataforma *Arduino*, necessitando apenas de ser "ativado" pelo dispositivo móvel para

que seja possível efetuar a comunicação. Este módulo permite o controlo do sistema a partir de um dispositivo externo (dispositivo móvel, PC, etc), assim como o envio de informação para esse mesmo dispositivo.

- A capacidade de armazenamento do sistema é conseguido através da ligação de um cartão de memória SD através da interface SPI. Esse cartão é usado para o registo contínuo dos dados obtidos pelo sistema através dos sensores. Os dados são gravados num ficheiro em formato CSV (Comma-Separated Values) podendo assim ser facilmente lidos e processados por diferentes tipos de software. O ficheiro poderá conter informação relativamente aos seguintes campos: hora; data; ritmo cardíaco; temperatura; aceleração em X, Y e Z; e tipo de atividade em que o paciente está envolvido. A utilização do cartão de memória permite que, uma vez configurado o sistema de aquisição de dados, este possa funcionar de forma autónoma efectuando a leitura e o registo contínuo dos dados para o cartão durante o período e com a taxa de amostragem previamente definidos. Esta opção, ao invés de guardar todos os dados no dispositivo móvel, evita a necessidade de ligação constante por Bluetooth entre os dois dispositivos. Permite, assim, um aumento de autonomia dos dispositivos e evita a perda de dados devido a uma qualquer quebra de ligação na comunicação. Todavia, em qualquer momento é possível ao paciente aceder através do dispositivo móvel aos dados que estão a ser adquiridos, assim como alterar os parâmetros de aquisição. Basta que para tal se estabeleça a comunicação Bluetooth a partir do dispositivo móvel.

O protótipo deve ser transportado pelo paciente durante o período em que decorre o processo de aquisição, pelo que se optou por uma alimentação a partir de uma pilha standard de 9 volts, sendo, por isso, facilmente substituível pelo paciente em caso de necessidade.

4 Firmware e software

O microcontrolador da plataforma de desenvolvimento foi programado usando o ambiente de programação IDE (*Integrated Development Environment*) do *Arduino* [9]. Trata-se de um software *open-source* de fácil utilização em que a programação é realizada através de um PC.

A aplicação *Android* que corre no dispositivo móvel foi desenvolvida recorrendo ao ambiente de programação *App Inventor for Android* [10]. Este ambiente de programação é uma aplicação web *open-source* disponibilizada pelo *Massachusetts Institute of Technology* (MIT). O código associado à plataforma *Arduino* tem como principais funções:

- Controlar o processo de aquisição lendo as entradas analógicas e digitais a uma taxa pré-definida (taxa de amostragem);
- Gravar os dados recolhidos no cartão de memória;
- Ativação de alarmes em situações anómalas pré-definidas (temperatura corporal elevada, braquicardia e taquicardia);
- Receber comandos do dispositivo remoto via *Bluetooth* referentes à parametrização do sistema (acerto data/hora, definição da taxa de amostragem e intervalo de amostragem) e ao seu controlo (início e paragem do processo de aquisição).

Depois da fase inicial de *setup* o programa executa um *loop* contínuo onde são executadas várias ações. A leitura das entradas a uma taxa fixa é alcançada recorrendo à capacidade de programar a plataforma *Arduino* para gerar interrupções a cada período fixo. Sempre que a interrupção é gerada o programa em execução é interrompido para correr a rotina de serviço a essa interrupção que faz a leitura e escrita dos dados em cartão. A deteção e leitura de comandos oriundos do dispositivo móvel é feita recorrendo a uma função do sistema (*SerialEvent*), que é executada em cada ciclo *loop* do código *Arduino* sempre que novos dados estejam presentes na entrada Rx do canal série.

A aplicação desenvolvida para o dispositivo móvel *Android* tem as seguintes funcionalidades:

- Estabelecer ou finalizar a ligação *Bluetooth*;
- Estabelecer os parâmetros de aquisição (taxa de aquisição e intervalo de aquisição);
- Acertar a hora/data do sistema de aquisição;
- Iniciar ou parar o processo de aquisição de dados;
- Mostrar os valores de alguns dos dados adquiridos pelo sistema de aquisição (temperatura corporal e o número de batimentos por minuto-BPM);
- Definir a atividade realizada pelo paciente no momento (escolher uma atividade a partir de uma lista previamente definida).

A comunicação com a plataforma *Arduino* é feita através de *Bluetooth* sendo usada uma *string* para enviar dados/comandos. As *strings* enviadas têm sempre o mesmo terminador e um caracter inicial diferente para cada dado/comando enviado. Os dados são enviados/recebidos apenas quando a comunicação *Bluetooth* está estabelecida. A atividade realizada pelo paciente é sempre guardada num ficheiro no dispositivo móvel. A informação deste ficheiro pode ser associada à informação presente no cartão de memória para permitir ao técnico de saúde saber quais as atividades realizadas pelo paciente e os instantes em que ocorrem. A Figura 3 mostra o aspeto da *interface* da aplicação do dispositivo móvel.

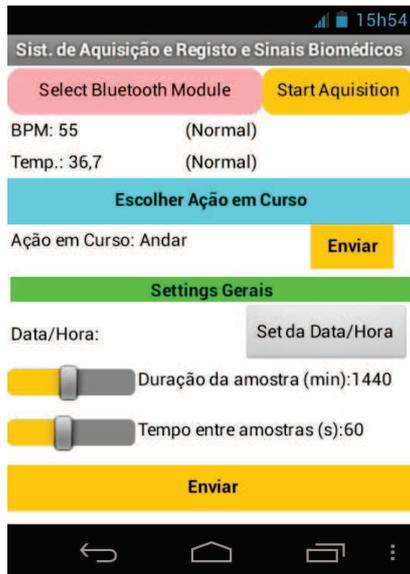


Fig 3. Interface no dispositivo móvel.

5 Resultados experimentais

O protótipo foi testado num ensaio com duração de 24 horas de registo do ritmo cardíaco, temperatura corporal e a atividade/postura do paciente com um intervalo entre amostras de um minuto. A informação guardada permitiu analisar posteriormente e de forma adequada a evolução temporal dos sinais registados. A Figura 4 ilustra um excerto dos dados obtidos e analisados a partir de uma folha em *Excel*.

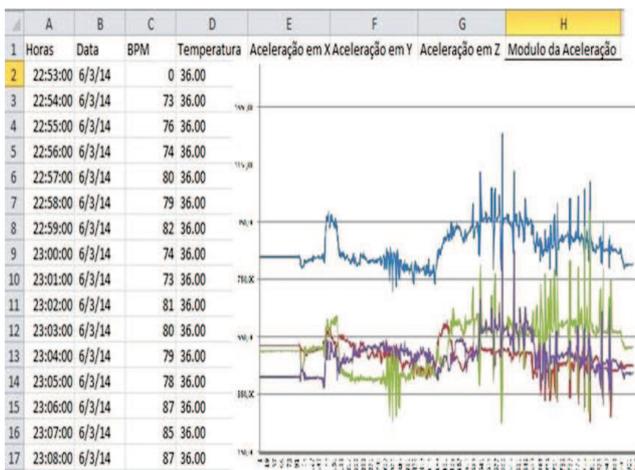


Fig 4. Dados visualizados em folha *Excel*.

Neste ensaio o módulo de comunicação *Bluetooth* e LCD foram desligados após a parametrização do sistema de aquisição e respetiva ordem de arranque. Verificou-se que a manutenção deste módulo em operação diminuía bastante a autonomia do sistema.

Para testar a aplicação em termos de avaliação clínica, os dados obtidos durante o registo foram analisados por períodos com interesse do ponto de vista da ativação fisiológica do Sistema Nervoso Autónomo (SNA). A vari-

abilidade do ritmo cardíaco obtida pela série temporal referente aos tempos entre cada onda R do ECG e a sua análise espectral através da Transformada de *Fourier*, permite, em conjunto com a informação inercial cedida pelo acelerómetro, identificar padrões de ativação das componentes simpática e parassimpática do Sistema Nervoso. Quando se estudam as variações da frequência cardíaca ao longo do dia, é sempre necessário ter em conta as necessárias variações/solicitações externas que permitem manter a homeostasia. Estas adaptações posturais, emocionais e de movimento (subir escadas, sentar, correr, comer, dormir) bem como os períodos em que as mesmas acontecem, são importantes para em conjunto com a variação da frequência cardíaca avaliar as componentes do SNA e medir o balanço vago-simpático. Este tipo de metodologia em conjunto com a informação da temperatura corporal, complementada com outras informações clínicas, é mais uma ferramenta a juntar às clássicas avaliações do registo da pressão em ambulatório durante 24 horas, contribuindo para fazer uma avaliação etiológica das disautonomias (doenças do sistema nervoso autónomo).

6 Conclusões e trabalho futuro

Foi utilizada uma plataforma de desenvolvimento *Arduino* para implementar um sistema de aquisição de sinais biomédicos. A esta plataforma *open-source* e de baixo custo foi associado um cartão de memória para registo de dados e um módulo de comunicação *Bluetooth* para ligação a um dispositivo móvel. Os dados experimentais revelam que o sistema permite o registo adequado dos sinais obtidos para posterior análise por um técnico de saúde. O comando e monitorização dos dados em tempo real a partir de um dispositivo móvel torna o sistema bastante flexível. A utilização de um cartão de memória garante ao sistema a possibilidade de funcionamento de forma autónoma, evitando, assim, a necessidade de ligação contínua ao dispositivo móvel. Os dados experimentais obtidos num teste de 24 horas revelaram uma correlação fisiológica relativa ao balanço vago-simpático referente às tarefas e períodos analisados.

O trabalho futuro será direcionado para a integração e aquisição de outros sinais biomédicos (ritmo respiratório, pressão arterial, SPO2) e para um aumento da autonomia do sistema. Um outro aspeto a explorar será a possibilidade de utilização dos próprios sensores presentes nos dispositivos móveis atuais, por exemplo para obter e integrar informação de localização e tipo de atividade/postura de paciente.

Bibliografia

- [1] Mobile ECG, <http://www.alivecor.com/home>,
acedido Junho de 2015.
- [2] Guerreiro, J., Martins, R., Silva, H., Lourenço, A.,
Fred, A., BITalino: A multimodal platform for
physiological computing, In Proc. of the 10th
ICINCO Conference, Reykjavik, Iceland, Jul 2013.
- [3] Lucani, D., Cataldo, G., Cruz, J., Villegas, G.,
Wong, S., A portable ECG monitoring device with
Bluetooth and Holter capabilities for telemedicine
applications, Proceedings of the 28th IEEE EMBS
Annual International Conference, New York City,
USA, Aug 30-Sept 3 2006, pp.5244-5247.
- [4] Carvalho, G., Continuous ECG Acquisition Holter
System with mobile phone, Master Thesis, Instituto
Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa,
2011.
- [5] Arduino Uno Board,
<http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>,
acedido Junho de 2015.
- [6] Analoge Devices Accelerometer ADXL335,
[http://www.analog.com/media/en/technical-
documentation/data-sheets/ADXL335.pdf](http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL335.pdf),
acedido Junho de 2015.
- [7] Nokia 5110 LCD,
[https://www.sparkfun.com/datasheets/
LCD/Monochrome/Nokia5110.pdf](https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/Monochrome/Nokia5110.pdf) ,
acedido Junho de 2015.
- [8] HC-06 Serial Port Bluetooth,
[ftp://imall.iteadstudio.com/Electronic
_Brick/IM120710006/DS_IM120710006.pdf](ftp://imall.iteadstudio.com/Electronic_Brick/IM120710006/DS_IM120710006.pdf),
acedido Junho de 2015.
- [9] Arduino Software,
<http://www.arduino.cc/en/Main/Software>,
acedido Junho de 2015.
- [10] MIT App Inventor, <http://appinventor.mit.edu>,
acedido Junho de 2015.

NASA's breathtaking images of the sun.

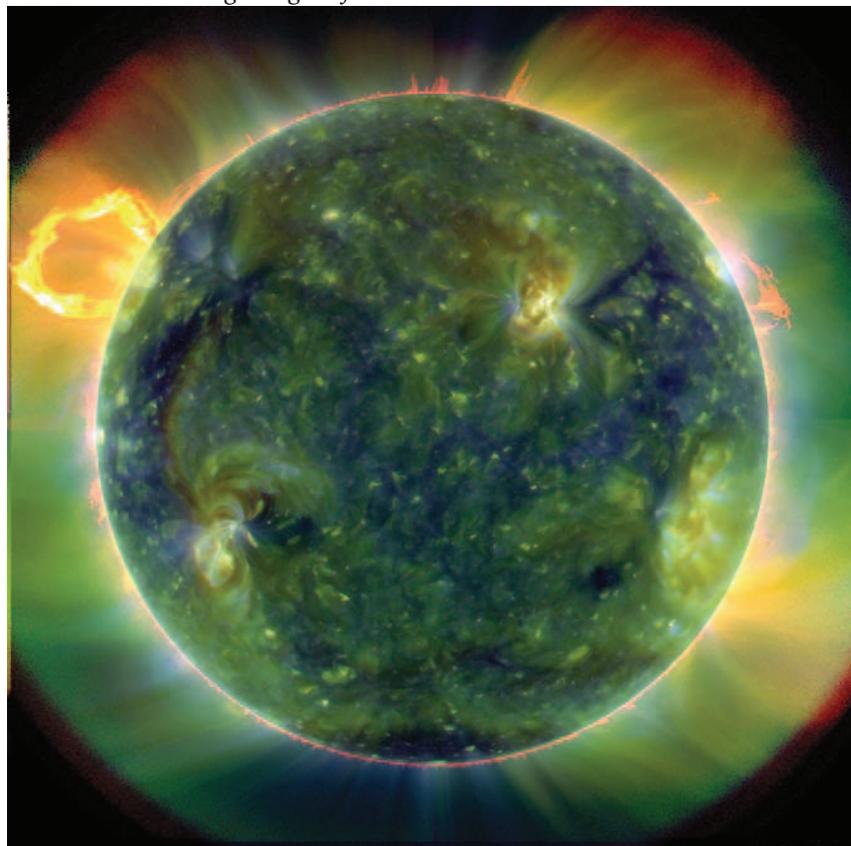


Image Credit:
NASA/Goddard/SDO
AIA Team

A full-disk
multi-wavelength
extreme
ultraviolet image of the
sun taken by SDO on
March 30, 2010. False
colors trace different
gas temperatures.
Reds are relatively cool
(about 60,000 Kelvin,
or 107,540 F); blues
and greens are hotter
(greater than 1 million
Kelvin, or 1,799,540 F).