

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



**K9 Wearable Device: Development of an
innovative wearable textile device for K9 units
real-time monitoring in search and rescue
operations.**

Jorge Leal Ferreira

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Major Automação

Orientador: João Paulo Cunha
Co-orientador: Duarte Filipe Dias

Fevereiro 2022

© Jorge Leal Ferreira, 2022

Resumo

As inovações nas tecnologias de dispositivos móveis que podem ser equipados e usados no corpo no dia a dia estão a ter um crescimento muito elevado e amplo nas suas aplicações. Estes dispositivos encontram-se agora na área de saúde animal sendo aplicado à monitorização de gado, estudos fisiológicos da vida selvagem e simplesmente uso em animais de estimação ou de trabalho como os cães de busca e salvamento (CBS). Desta forma o Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência (INESC-TEC) tem vindo a criar um novo dispositivo adaptado do *VitalSticker*, a unidade “wearable” de aquisição de sinais vitais do *VitalResponder*, uma plataforma “wearable” criada para a obtenção de sinais vitais e atmosféricos para profissionais de primeiras respostas (nomeadamente bombeiros).

O *VitalResponder* é capaz de obter informação fisiológica, sendo enviada para uma rede IoT e, se pretendido guardada para futura verificação e análise. O objetivo principal desta dissertação foi verificar a possibilidade de adquirir informação para monitorização continua de caninos, adaptando a tecnologia do *VitalResponder*. Para este efeito, foram usados diferentes tipos de elétrodos sendo também testado com pelugem e com pelo rapado.

No final foi possível demonstrar a funcionalidade duma adaptação do *VitalResponder* para caninos através de um colete especificamente desenvolvido. Foi igualmente realizada uma melhoria do consumo energético do dispositivo.

Abstract

The innovations to the mobile devices that can be worn and used on a daily basis are having an increase in popularity and their applications. These wearables can now be found in the area of animal health and well-being applied to the monitoring of cattle, wildlife physiologic studies, pets, and work animals such as search and rescue dogs (SRD). For this reason, INESC-TEC has been creating a new device for that application in SRD, adapted from the VitalSticker, the wearable vital signs acquisition unit of the VitalResponder, a wearable platform created to collect and store vital signs and atmospheric measurements for first responder professionals (e.g. firemen).

The VitalResponder is capable of obtaining physiological information, which is sent to an IoT network and, if desired, stored for future checking and analysis. The main objective of this master thesis is to check the possibility of acquiring vital signs and by adaptating and improving VitalResponder thecnology. For this reason, different types of electrodes were used and tested with and without the dog body hair.

In the end, it was possible to demonstrate the functionality of an adaptation of the VitalResponder for canines by a specific designed vest. It was also possible to improve the energy consumption of the device.

Índice

Resumo	iii
Abstract.....	v
Índice.....	vii
Lista de figuras	x
Lista de tabelas	xiii
Capítulo 1	1
Introdução	1
1.1 - Contexto	1
1.2 - Motivação	2
1.3 - Objetivos.....	2
Capítulo 2	3
Estado de Arte	3
2.1 - Capacidades necessárias e gestão de unidades caninas de busca e salvamento.....	3
2.2 - Sinais vitais e fisiologia canina.....	3
2.2.1. - Frequência respiratória.....	4
2.2.2. - Atividade cardíaca	4
2.2.3. - Temperatura corporal	5
2.2.4. - Movimento.....	5
2.3 - Arquitetura genérica de sistemas da Internet das coisas	6
2.4 - Sistemas wearable body area network de monitorização canina	7
2.5 - VitalResponder	10
2.5.1. - VitalSticker	10
2.5.2. - AmbiUnit.....	11
2.5.3. - Ambiente de desenvolvimento: Simplicity Studio	11
2.1.1. - Interface do VitalSticker	12
2.1.2. - Adaptação para monitorização canina	12
Capítulo 3	14
Adaptação do VitalSticker	14
3.1. - Estudo de adaptação dos sinais fisiológicos obtidos em caninos	14
3.1.1. - Estudo dos sinais fisiológicos em humanos.....	15
3.1.2. - Estudo dos sinais fisiológicos em caninos	17
3.2. - Adaptação para um colete de caninos	20
3.2.1. - Estudo dos sinais fisiológicos em caninos com colete	22

3.3. - Desenvolvimento de uma estrutura de dados para a redução de consumo energético	24
3.3.1. - Testes realizados e dados obtidos	25
Capítulo 4	27
Conclusões e trabalho futuro.....	27
Referências	28

Lista de figuras

Figura 1 - Onda criada pelo Ciclo respiratório (Adaptado de [13]).	4
Figura 2 - Ciclo cardíaco e variação elétrica criada por cada movimento muscular (Adaptado de [17])	5
Figura 3 - Envio de dados de vários WBANS para um dispositivo agregador próximo ligado a uma fonte de corrente e com ligação ao resto da rede IoT (adaptado de [1])	6
Figura 4 - A unidade de recepção (preta com LED verde) recebe comandos do transmissor e ativa os motores de vibração embebidos no colete. [24]	7
Figura 5 - Localização dos sensores no colete lado esquerdo é a parte exterior onde têm um IMU dispositivo de eletrocardiograma e receptor GNSS para detetar posição global o lado direito é o interior onde se encontram os elétrodo que recebem o sinal a enviar para o dispositivo de eletrocardiograma. [3]	8
Figura 6 - VitalSticker. [27]	10
Figura 7 - Simplicity Studio	12
Figura 8 - Energy Profiler	12
Figura 9 - Eléttrodo usados: A- Eléttrodo adesivo. B - Eléttrodo de tinta condutora. C - Ligação do VitalSticker aos eléttrodo com tinta condutora através da banda.	14
Figura 10 - Posicionamento dos eléttrodo, banda e VitalSticker nos ensaios. A - Eléttrodo adesivo ligado com a banda. B - Eléttrodo com tinta condutora ligado com a banda. C - Eléttrodo adesivo ligado diretamente ao Vital Sticker.	15
Figura 11 - Medições do ECG dos ensaios em humanos.	16
Figura 12 - Medições da respiração dos ensaios em humanos.	17
Figura 13 - Zona onde foi rapado o pelo do cão, tendo sido rapado igualmente do lado oposto	18
Figura 14 - Posicionamento dos eléttrodo, banda e VitalSticker nos testes. A - Eléttrodo adesivo ligado com a banda. B - Eléttrodo com tinta condutora ligado com a banda. C - Eléttrodo adesivo ligado diretamente ao VitalSticker.	18
Figure 15 - Medições do ECG dos ensaios em caninos.	19
Figura 16 - Medições da respiração dos ensaios em caninos.	19

Figura 17 - Exemplo de possível implementação do sistema VitalResponder em um canino através do uso de um colete (Adaptado de [30])	20
Figura 18 - Colete escolhido para adaptação ao canino.	21
Figura 19 - Localização dos componentes do VitalResponder na adaptação do colete.	21
Figura 20 - Suporte para o VitalSticker e os cabos que ligam aos elétrodos.	22
Figura 21 - Canino com o colete com sistema VitalResponder implementado.	22
Figura 22 - Medições do ECG com colete.	23
Figura 23 - Medições da respiração com colete.	23
Figura 24 - Diagrama do funcionamento do algoritmo de redução de bytes	24
Figura 25 - Verificação da qualidade das medições após ser reduzido para 2 bytes e restaurado com o valor da redução. (Os valores de ECG e respiração encontram-se em inteiros valor antes da conversão para milivoltes)	25
Figura 26 - Média dos valores de potência obtidos nos ensaios.	26

Lista de tabelas

Tabela 1 - Informação obtidas nos diferentes WBANs estudados	9
Tabela 2 - Categorias de WBANs para caninos de busca e salvamento o foco e as razões para a sua criação e uso.	10
Tabela 3 - Propriedades dos valores medidos.	11

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas

<i>BLE</i>	<i>Bluetooth Low Energy</i>
<i>Bpm</i>	<i>Beats per minute</i>
<i>BRAIN</i>	<i>Biomedical Research and Innovation</i>
<i>C-BER</i>	<i>Centre Biomedical Engineering Research</i>
<i>CBS</i>	Cães de busca e salvamento
<i>ECG</i>	Eletrocardiograma
<i>FEUP</i>	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
<i>GATT</i>	<i>Generic Attribute Profile</i>
<i>GNSS</i>	<i>Global Navigation Satellite System</i>
<i>GPS</i>	Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)
<i>GUI</i>	Graphical User Interface (<i>Interface gráfica do utilizador</i>)
<i>IMU</i>	<i>Inertial Measuring Unit</i> (Unidade de medição de inercia)
<i>IoT</i>	<i>Internet of Things</i>
<i>LED</i>	<i>Ligth-emitting diode</i> (Diodo emissor de luz)
<i>LIDAR</i>	<i>Light Detection And Ranging</i>
<i>MCU</i>	MicroController Unit (Microcontrolador)
<i>SAR</i>	<i>Search and rescue</i> (Busca e salvamento)
<i>SLAM</i>	<i>Simultaneous Localization and Mapping</i>
<i>SRD</i>	<i>Search and Rescue Dog</i>
<i>WBAN</i>	<i>Werable Body Area Network</i>
<i>WHD</i>	<i>Werable Health Device</i>

Lista de símbolos

mA	miliAmperes
mW	miliWatts
Hz	Hertz

Capítulo 1

Introdução

Os dispositivos de *Wearable Body Area Networks (WBAN)* para usos na medição de sinais fisiológicos, *Wearable Health Devices (WHD)*, estão no mercado há vários anos, e as suas potencialidades têm crescido ao ritmo dos avanços tecnológicos, estando atualmente disponíveis no mercado várias aplicações com utilização destas tecnologias. Ferramentas para monitorização contínua de sinais vitais de gado, para estudos fisiológicos da vida selvagem ou simplesmente para uso em animais de estimação ou de trabalho, são exemplos da grande versatilidade desta tecnologia e da enorme possibilidade de desenvolvimento de novas e inovadoras ferramentas num mercado vasto, diversificado e ainda pouco explorado [1] [2] [3].

Este projeto foi desenvolvido na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) e no grupo *Biomedical Research and Innovation (BRAIN)* parte do *Centre of Biomedical Engineering Research (C-BER)* no Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência (INESC-TEC). O objetivo último deste projeto é a adaptação de um WHD já existente a uma ferramenta para uso em caninos de busca e salvamento (*SAR*).

1.1 - Contexto

As unidades caninas de busca e salvamento são usadas para intervir em emergências e com condições adversas, e nesse contexto são frequentemente sujeitas a perigos vários, como inalação de fumos, possibilidade de queimaduras ou outros ferimentos (cortes com vidros ou outros estilhaços), sendo importante e necessário que possam continuar em serviço mesmo com ferimentos ligeiros. Estes animais são muitas vezes sujeitos a longas viagens para os locais de utilização, seguidas de horas de trabalho contínuo, que podem levar estes caninos à exaustão ou a contraírem ferimentos degradantes da sua condição física e psicológica [4] [5] [6].

Os caninos de busca e salvamento trabalham em equipa com os seus responsáveis que cooperam e comunicam com as equipas de salvamento no local, e que devem manter controlo sobre o estado físico e mental dos caninos, no entanto e porque em muitas situações de emergência os caninos de busca e salvamento trabalham grande parte do tempo afastados dos responsáveis, e seus companheiros de equipa, uma avaliação correta do estado dos caninos torna-se muito difícil senão impossível.

Para reduzir os perigos a que os caninos de busca e salvamento estão sujeitos durante as operações de busca e salvamento, a criação de um sistema de monitorização continua irá facilitar o controlo que os responsáveis têm pelo estado físico e mental do animal.

1.2 - Motivação

A tecnologia de *WBAN* têm muitas potencialidades, a aplicação destes dispositivos na obtenção de informação vital é muito usada atualmente especialmente em situações de monitorização continua.

Poder trabalhar no desenvolvimento de um protótipo no sentido de estudar este mercado possibilita o aprofundamento das fases de desenvolvimento necessárias, permite melhorar a minha eficiência e conhecimento para o futuro e verificar as dificuldades sentidas na entrada e na competição com tecnologias já existentes. Em simultâneo, devido ao meu gosto de estar em contacto com animais, motiva-me a expansão do meu conhecimento sobre caninos.

Devido a estas razões, aprofundar os meus conhecimentos dos temas abordados nesta dissertação, é muito motivador do ponto de vista pessoal e profissional.

1.3 - Objetivos

Esta dissertação tem como objetivo a criação de um *WHD* para uso em caninos de busca e salvamento através da adaptação de um protótipo de *WHD*, *VitalSticker*, parte do sistema *VitalResponder* criado para uso de bombeiros.

Assim, pretende-se conhecer e estudar as potencialidades dos *WHD* semelhantes e disponíveis, assim como do *WHD* a ser adaptado, sendo necessário conhecer as tecnologias mais recentes, os dispositivos criados com recurso a essas tecnologias, os seus objetivos e a forma como foram implementados.

Numa segunda fase, vamos testar o sistema em humanos e em caninos, monitorizar os resultados e mapear os problemas e deficiências, para aperfeiçoamento e melhoria do sistema. Em simultâneo desenvolveremos os trabalhos para criação de um suporte têxtil mais adequado para uso dos caninos nas situações de busca e salvamento.

Capítulo 2

Estado de Arte

2.1 - Capacidades necessárias e gestão de unidades caninas de busca e salvamento

É necessário que os caninos consigam trabalhar em qualquer ambiente desde zonas rurais, florestais, montanhosas até ambientes residenciais, industriais e interiores sendo expectável trabalharem com ou sem trela. Eles são treinados continuamente para evitar todos os tipos de distração, por exemplo, outros animais, sons e cheiros, sendo também habituados a todo o tipo de transporte.

Os caninos trabalham em conjunto com um responsável encarregue de ler a linguagem corporal deles e vários fatores do local como temperatura, humidade, vento e quantidade de diferentes cheiros existentes para melhoria da eficácia no terreno, sem ajuda de instrumentos tecnológicos, sendo também expectável a comunicação com as outras entidades de socorro que se encontrem no local [7] [8].

2.2 - Sinais vitais e fisiologia canina

A literatura médica aponta para vários conjuntos de sinais vitais com maior relevância para monitorização do estado físico e biológico humano, sendo na maior parte referido a atividade cardíaca, pressão arterial, frequência respiratória, saturação de oxigénio e temperatura corporal. Existem alguns especialistas que consideram importante a monitorização dos níveis de dióxido de carbono no sangue, volume sistólico, dor, nível de consciência e quantidade de urina quando usado em conjunto com os sinais vitais anteriores.

Há também outros sinais fisiológicos que podem ser utilizados para monitorizar as funções neurológicas, mas devido ao afastamento das atividades que se pretende monitorizar neste trabalho não vão ser abordadas [9].

Existem também vários casos onde se usa unidades de medição inercial (*IMU*) para obter dados de atividade e movimentação complementando as informações dos outros sinais através da detecção de ruído e de variações nos seus valores causadas por atividade física. Sendo também possível através de sismo cardiografia com os *IMUs* registar as vibrações das contracções cardíacas e a frequência respiratória do utilizador [10] [11] [12].

Para o caso específico de caninos de busca e salvamento os sinais vitais mais relevantes seguem a mesmo razão exposta para humanos, sendo necessário atenção à escolha de sensores devido ao pelo canino, como no caso de fotopletismografia, que deteta diferenças na absorção de luz podendo medir desta forma a saturação de oxigénio no sangue ou o ritmo cardíaco, onde o pelo reflete grande parte da luz o que afeta a obtenção de medições [10].

Como falado anteriormente, devido à duração das operações de busca e salvamento e às movimentações dos caninos, a obtenção de informação de atividade é muito útil para complementar a sua monitorização em situações de pouco contacto visual entre o responsável e o canino [7] [8].

Os sinais vitais monitorizados pelos sensores no protótipo que se vai adaptar são a frequência respiratória, a atividade cardíaca, a temperatura corporal e o movimento, por este motivo vamos focar nestes sinais, sendo explicado detalhadamente em que consistem e quais os diferentes tipos de sensores que existem para os obter.

2.2.1. - Frequência respiratória

A frequência respiratória é o ciclo de inspirações e expirações por unidade de tempo sendo um dos melhores previsores para condições adversas como paragem cardiorrespiratória. Este sinal vital pode ser obtido através de vários métodos sendo os mais utilizados:

- O uso de elastómeros que medem as variações de volume do peito através de um cinto elástico com sensores piezoresistivos;
- Medição das variações de impedância causadas pela expansão e dilatação da zona peitoral durante a respiração;
- Através de variações de indutância causadas pelo uso de um fio com corrente elétrica na zona peitoral gerando um campo magnético que é afetado pela respiração [9].



Figura 1 - Onda criada pelo Ciclo respiratório (Adaptado de [13])

2.2.2. - Atividade cardíaca

A atividade cardíaca refere-se a todos os movimentos musculares cardíacos, um dos métodos que obtém maior quantidade de informação desta atividade é o ECG que obtém a informação através do uso de elétrodos colocados na pele do sujeito, este deteta as variações potenciais que movimentam os músculos cardíacos do coração, sendo cada característica da onda representante de uma das polarizações (Figura 2) [14]. A forma de onda do ECG permite medir o ciclo cardíaco facilmente, através do maior pico, e a análise da onda têm grande

importância para a detecção, análise e prevenção de vários problemas cardiovasculares como por exemplo arritmia, angina e ataques de coração [15] [14].

No caso de caninos este valor varia dependendo do seu tamanho cães pequenos e cachorros têm batimentos cardíacos normais no alcance de 120 a 160 batidas por minuto (*Bpm*) no caso de caninos de maior porte este valor ronda 60 a 120 *Bpm*, sendo este valor menor quanto maior o canino [16].

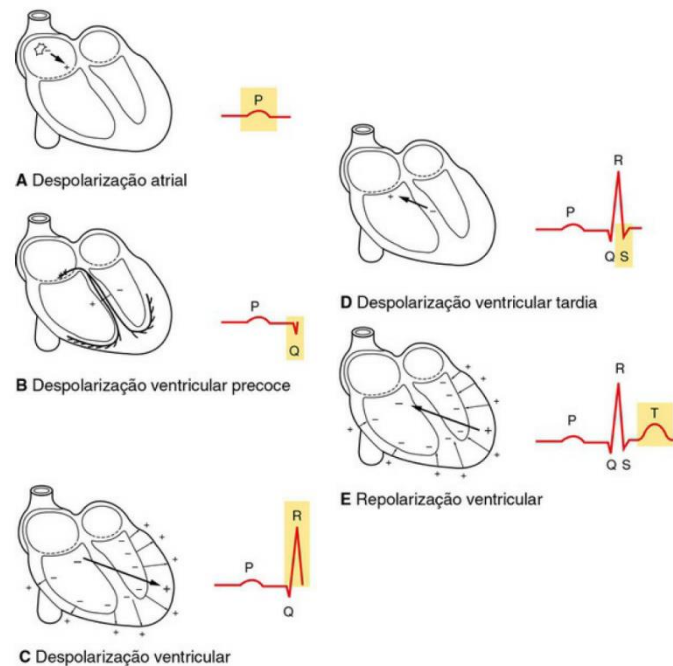


Figura 2 - Ciclo cardíaco e variação elétrica criada por cada movimento muscular (Adaptado de [17])

2.2.3. - Temperatura corporal

Temperatura corporal é o balanço entre a produção e a perda de calor do corpo, esta pode ser dividida em dois tipos de medidas a temperatura da pele e temperatura interior. A medição da temperatura interior por métodos não invasivos, como pelo batimento cardíaco e a temperatura da pele ainda é muito difícil devido a vários outros factores que podem afetar esses valores, como por exemplo, a medição da temperatura da pele é afetada pela circulação de sangue, circulação do ar, temperatura ambiente e humidade [9].

No caso de caninos a temperatura normal ronda os 38°C sendo normal estar um ou dois graus acima ou abaixo deste valor [18], de forma a captar a temperatura da pele pode-se usar identificadores com frequências rádio, termómetros infravermelhos, adesivos para a pele e termístores [14].

2.2.4. - Movimento

A detecção de movimento ou atividade física pode ser feita através de vários sensores embebidos no têxtil do WBAN como por exemplo IMUs, que dão informação das variações das acelerações, sendo possível o uso de vários ao mesmo tempo para determinar os diferentes

movimentos do corpo. É também muito usado em *WBANs* sistemas de posicionamento global (*GPS*) que permite detetar movimentações com menos precisão, mas partilhando a localização global do equipado.

2.3 - Arquitetura genérica de sistemas da Internet das coisas

WBANs são usados em conjunto com a *Internet of Things (IoT)*, um sistema de dispositivos eletrônicos interligados através de uma rede de comunicação como por exemplo WiFi, rede móvel e Bluetooth, de forma a obter dados de um ou vários dispositivos e partilhar com os outros dispositivos da rede. A informação é normalmente guardada em bases de dados, processada e/ou apresentada através de uma *interface* gráfica de utilizador (*GUI*) [19].

A *IoT* pode tomar várias arquiteturas sendo adaptada conforme o uso pretendido, por exemplo, no caso onde é necessário a obtenção de dados de vários *WBANs* é possível ter um dispositivo agregador próximo que recebe a informação deles, sendo transmitindo-a após para a rede, reduzindo dessa forma os custos energéticos nos *WBANs*, como no caso demonstrado na Figura 2 [1] [20] [21].

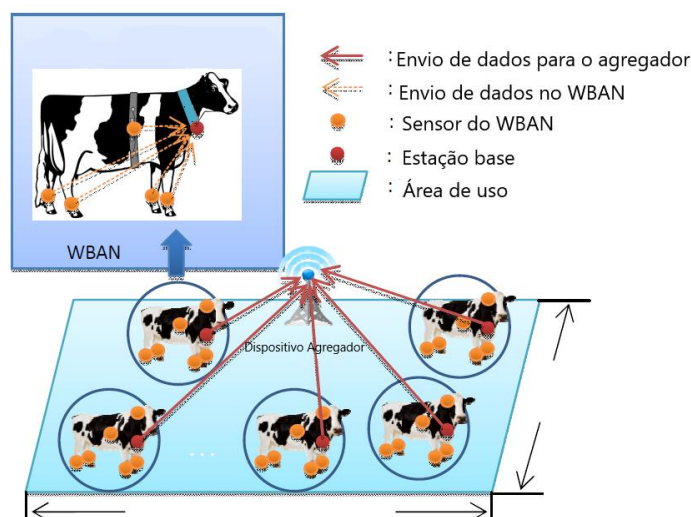


Figura 3 - Envio de dados de vários WBANs para um dispositivo agregador próximo ligado a uma fonte de corrente e com ligação ao resto da rede IoT (adaptado de [21])

A informação obtida pode ser enviada para uma base de dados onde será trabalhada e/ou filtrada para facilitar a verificação, sendo em casos onde a informação é simples e/ou necessária em tempo real deve ser enviada também diretamente para a *GUI* [22] [23].

Esta tem de ter em conta as situações/localização onde o utilizador se encontra e o dispositivo a usar, por exemplo *smartphone* ou computador, que melhor facilita a leitura dos dados transmitidos do equipamento.

A estrutura habitual da *WBAN* é modular com sensores em diferentes posições de forma a facilitar a sua implementação, melhorar a qualidade e reduzir a interferência e ruído obtido. Estes usualmente encontram-se ligados a uma estação base onde os dados obtidos pelos sensores são organizados e possivelmente guardados até serem transmitidos para a *IoT* através de uma rede de comunicação.

2.4 - Sistemas wearable body area network de monitorização canina

Não existe grande quantidade de WHDs para caninos, especialmente para os de busca e salvamento, devido a estas razões, foi decidido abranger todo o tipo de WBANs existentes para todo o tipo de WHDs usados em cães. Encontra-se abaixo uma lista dos sistemas que foram encontrados durante a realização deste estudo, a descrição das suas características principais e outros pormenores importantes, sendo descrito após uma generalização dos diferentes tipos existentes.

- ***Wearable Wireless Biophotonic and Biopotential Sensors for Canine Health Monitoring*** [10]:

- Um sistema composto por um sensor de fotopletismografia e ECG embebido numa cinta para a cintura;
- Criado para facilitação de compreensão no comportamento e para monitorização fisiológica continua para situações de atividade;
- Os sensores estão ligados a um chip com Bluetooth que envia os dados para um smartphone ou computador próximo para guardar e analisar dos dados.

- ***A Vibrotactile Vest for Remote Human-Dog Communication*** [24]:

- Um sistema de comunicação háptico baseado no uso de motores montados num colete para transmitir comandos do responsável para o cão;
- Criado para estudar a possibilidade de usar a sensação tátil como uma forma de comunicação visto existir menos distrações do que em ordens visuais ou sonoras.



Figura 4 - A unidade de recepção (preta com LED verde) recebe comandos do transmissor e ativa os motores de vibração embebidos no colete [24]

- ***Cyber-enhanced canine suit with wide-view angle for three-dimensional LiDAR SLAM for indoor environments*** [25]:

- Um colete com um sistema de mapeamento de interiores para partilhar informação topográfica e espacial e a localização do cão;

- Criado para determinar a segurança e facilidade de salvamento em situações de desastre e de difícil acesso;
- O sistema usa *IMU*, *GNSS* e *LiDAR* de forma a mapear o ambiente envolvente através de um algoritmo de mapeamento e localização simultânea (*SLAM*), sendo partilhada a informação através de *WiFi*.
- ***Cyber-Enhanced Rescue Canine* [22]:**
 - 4 coletes (Nº4 até Nº7) desenhados com o intuito de partilhar o máximo de informação vídeo, áudio e localização. Sendo usado em conjunto com um *drone* aéreo para obter imagem aérea do local;
 - Para uso operações de salvamento de forma a obter informações sobre as vítimas de desastres encontradas pelos cães e o ambiente em redor;
 - Todos os sistemas usam câmara, microfones, *IMUs* e *GPS* tendo o Nº6 eletrocardiograma. A comunicação é feita através de *Wireless local area network* e nos *WBANs* Nº5,6 e 7 também usando a rede móvel.
- ***Real-time Emotional State Estimation System for Canines Based on Heart Rate Variability* [3]:**
 - Um colete com sensores de ECG colocados numa tira de tecido elástica de forma a obter o batimento cardíaco e através de um algoritmo estimar o estado emocional do canino;
 - Criado de forma a melhorar a eficácia de operações de SAR ao partilhar o estado emocional do cão;
 - O sistema usa *GPS* e sensores para eletrocardiograma, sendo a informação do batimento cardíaco transmitida por *WiFi*, sendo calculado após o estado emocional.

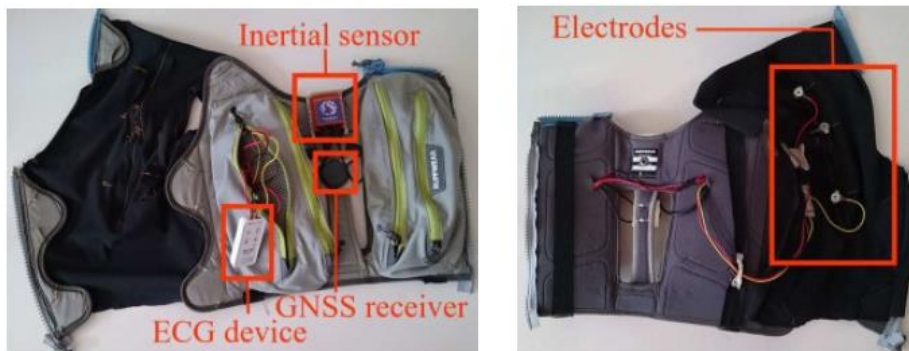


Figura 5 - Localização dos sensores no colete lado esquerdo é a parte exterior onde têm um *IMU* dispositivo de eletrocardiograma e receptor *GNSS* para detetar posição global o lado direito é o interior onde se encontram os elétrodos que recebem o sinal a enviar para o dispositivo de eletrocardiograma [3]

- ***Integration of a Canine Agent in a Wireless Sensor Network for Information Gathering in Search and Rescue Missions* [23]:**
 - Um arnês para obter e partilhar em tempo real a localização e informação do ar no redor do cão usado em conjunto com um *drone* aéreo para operações de busca e salvamento;
 - O sistema mede temperatura, humidade, pressão atmosférica, concentração de oxigénio, monóxido de carbono, e outros elementos no ar e partilha a localização global do cão.

• ***Search and Rescue: Dog and Handler Collaboration Through Wearable and Mobile Interfaces*** [26]:

- Um colete acolchoado com um sensor tátil numa posição de fácil acesso para o cão;
- O sistema baseia-se no treino do cão para o uso do sensor tátil no caso de encontrar uma ou várias vítimas em operações de busca e salvamento partilhando a sua posição *GPS* através da rede móvel para o responsável reduzindo desta forma o tempo necessário para estas operações.

Tabela 1 - Informação obtidas nos diferentes WBANs estudados

	INFORMAÇÃO OBTIDA ATRAVÉS DOS SENSORES NOS COLETES CANINOS
WEARABLE WIRELESS BIOPHOTONIC AND BIOPOTENTIAL SENSORS FOR CANINE HEALTH MONITORING [10]	Aceleração, velocidade angular, <i>ECG</i> , fotopletismografia
A VIBROTACTILE VEST FOR REMOTE HUMAN-DOG COMMUNICATION [24]	
CYBER-ENHANCED CANINE SUIT WITH WIDE-VIEW ANGLE FOR THREE-DIMENSIONAL LIDAR SLAM FOR INDOOR ENVIRONMENTS [25]	Mapeamento 3d, aceleração, velocidade angular, posição global
CYBER-ENHANCED RESCUE CANINE [22]	Imagem, vídeo, áudio, aceleração, velocidade angular, posição global, <i>ECG</i> (colete N°6)
INTEGRATION OF A CANINE AGENT IN A WIRELESS SENSOR NETWORK FOR INFORMATION GATHERING IN SEARCH AND RESCUE MISSIONS* [23]	Temperatura ambiente, humidade atmosférica, pressão absoluta, posição global, concentração de: O_2 , CO , CO_2 , NH_3 , AP_2
REAL-TIME EMOTIONAL STATE ESTIMATION SYSTEM FOR CANINES BASED ON HEART RATE VARIABILITY [3]	Posição global, <i>ECG</i> , ritmo cardíaco (obtido através do <i>ECG</i>)
SEARCH AND RESCUE: DOG AND HANDLER COLLABORATION THROUGH WEARABLE AND MOBILE INTERFACES [26]	Posição global, localização de pontos de interesse

Através do estudo dos WBANs existentes para caninos e busca e salvamento e dos WHD relativos a caninos, foi possível categorizá-los em três categorias principais:

Tabela 2 - Categorias de WBANs para caninos de busca e salvamento o foco e as razões para a sua criação e uso.

	FOCO	RAZÃO
PARTILHA DE INFORMAÇÃO DO AMBIENTE	Partilhar a informação em redor do cão como por exemplo, mapeamento da zona envolvente e envio de vídeo/imagem	Dar a conhecer os perigos próximos e no caminho às vítimas a socorrer
MELHORIA DE COMUNICAÇÃO	Facilitar a partilha de informação entre cão e responsável como no caso de partilhar a informação de vítimas sem ter de se encontrar perto do responsável	Reduzir a quantidade de atenção necessária no cão para aumentar o foco na operação de busca e salvamento
PARTILHA DE INFORMAÇÃO VITAL DO CÃO	Obter informação da atividade, e estado fisiológico do cão (movimento, batimento cardíaco, temperatura)	Controlo dos limites físicos e mentais do cão para evitar esgotamentos ou outros problemas fisiológicos

É de notar que destas três categorias diferentes existem vários *WBANs* documentados anteriormente que contêm características de várias categorias. Verificou-se também que existe pouco desenvolvimento na partilha de informação vital do cão, a concentração destes estudos concentra-se na facilitação da partilha da informação do ambiente e da localização dele, sendo esta uma das tecnologias mais fáceis a adaptar para caninos.

Nos casos onde se foca na partilha de informação vital canina não é estudado o uso de outros sensores de forma a expandir as outras categorias de *WBANs* para busca e salvamento, existindo também em só um dos estudos a medição da respiração. (Tabela 1)

2.5 - VitalResponder

O *VitalResponder* é uma solução vestível criada para uso por bombeiros de forma a funcionar em ambientes adverso durante várias horas. É constituído por dois dispositivos, um para sinais fisiológicos (*VitalSticker*) e outro para informação do ambiente envolvente (*AmbiUnit*), que enviam dados para um smartphone partilhando a informação recebida e a sua localização GPS com a IoT [27].

2.5.1. - VitalSticker

O dispositivo *VitalSticker* recebe informação de um sensor de ECG e respiração, termistor e IMU, sendo os dados processados num microcontrolador (*MCU*) com *Bluetooth Low Energy (BLE)* integrado, sendo desta forma enviados para a IoT através do BLE usando o protocolo *Generic Attribute Profile (GATT)* [27].



Figura 6 - VitalSticker [27]

Tabela 3 - Propriedades dos valores medidos.

SENSORES	VALORES MEDIDOS	FREQUÊNCIA DE MEDIÇÃO (HZ)	GAMA DINÂMICA (TAMANHO DOS DADOS)
ADS1292R	ECG	250	2,42 a -2,42V (3 Bytes)
	Respiração	250	2,42 a -2,42V (3 Bytes)
ICM-20948	Aceleração	10	-4 a 4 g (16 Bytes)
	Velocidade angular	10	-2000 a 2000 °/s (16 Bytes)
	Campo magnético	10	-200 a 200uT (16 Bytes)
MAX6682 (NTC, 10KOHM)	Temperatura corporal	0.5	0 a 70 °C (16 Bytes)
	Bateria	0.1	0 a 100% (0 a 12 bits)

As medições dos sensores são enviadas através do protocolo BLE, sendo, no caso do ECG, respiração e valores do IMU, acumulados no microcontrolador antes do envio. O ECG e a respiração são enviados após acumular 33 medições e os valores obtidos do IMU são enviados em conjunto após acumular 5 medições.

2.5.2. - AmbiUnit

O *AmbiUnit* é um dispositivo de monitorização do ambiente circundante que mede: pressão atmosférica, temperatura, humidade, luminosidade, até dois gases tóxicos (pode detetar dois gases diferentes através de sensores eletroquímicos) e estima a altitude relativa [27].

2.5.3. - Ambiente de desenvolvimento: Simplicity Studio

Simplicity Studio (Figura 6) é o software criado pela *Silicon Labs* para desenvolvimento de todas as suas tecnologias, incluindo o microcontrolador usado no *VitalSticker* (BGM111A). O *Simplicity Studio* contém várias ferramentas de configuração de software e hardware incluindo um espaço de desenvolvimento integrado que contém editores de código compiladores e *debuggers*.

Também proporciona várias ferramentas de configuração de hardware e software, como por exemplo, um configurador de protocolo BLE facilitando a criação de uma base de dados BLE para o dispositivo e um analisador de consumo energético, *Energy Profiler*, (Figura 8) que permite verificar o consumo energético instantâneo e médio dos produtos em desenvolvimento, sendo possível desta forma a criação de produtos eficientes energeticamente [28].

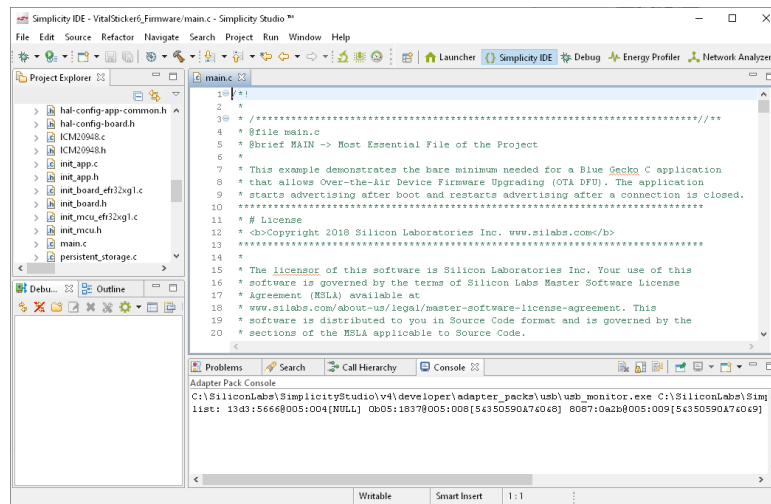


Figura 7 - Simplicity Studio

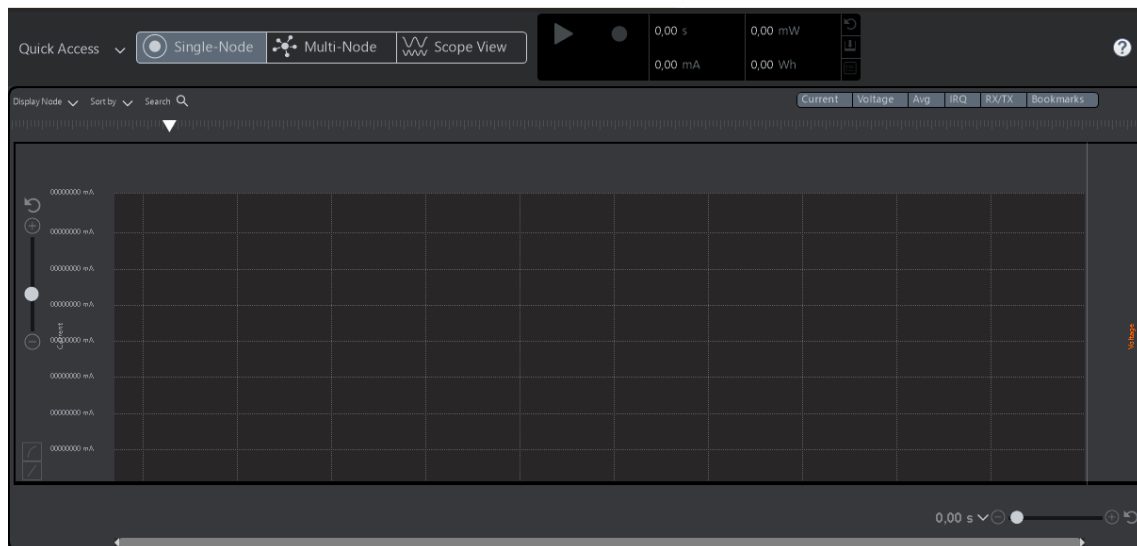


Figura 8 - Energy Profiler

2.1.1. - Interface do VitalSticker

Para o estudo do sistema foi usado uma interface para ligação direta do VitalSticker a um sistema local, neste caso uma interface em html para computador com a ligação ao VitalSticker através de BLE. Esta interface permite a recepção e visualização através de um browser e o armazenamento em ficheiros “.csv” da informação enviada pelo VitalSticker.

2.1.2. - Adaptação para monitorização canina

Para a adaptação do sistema *VitalResponder* a caninos, visto que os sinais obtidos através do *AmbiUnit* e o sinal GPS, obtido através de smartphone, não são afetados pela mudança para, é dado mais consideração à adaptação do *VitalSticker*, em específico da obtenção de ECG e respiração devido às diferenças fisiológicas entre humanos e canino.

Pretende-se também a criação de um suporte para o sistema *VitalResponder* que não afete os movimentos do canino e que seja estável de forma a reduzir o ruído das medições e se possível melhorar a eficiência energética do sistema através da redução de informação transmitida por *BLE*.

Inicialmente será verificado o funcionamento do sensor de ECG e respiração do dispositivo *VitalSticker* em humanos e em caninos, após a verificação dos dados obtidos, o sistema *VitalResponder* será adaptado a um suporte têxtil para caninos, sendo verificado o funcionamento do ECG e respiração após adaptação, é também procurado realizado uma redução de consumo energético através do desenvolvimento de uma estrutura de dados.

Capítulo 3

Adaptação do VitalSticker

3.1. - Estudo de adaptação dos sinais fisiológicos obtidos em caninos

De forma a verificar o funcionamento das medições de ECG e respiração do dispositivo *VitalSticker* em caninos, foi inicialmente testado em humanos para ter uma referência á qualidade de medição no seu uso normal em comparação com as medições em caninos.

Durante a realização dos testes os sujeitos encontravam-se em repouso sendo realizado vários testes com diferentes elétrodos ligados ao *VitalSticker* de forma a comparar as diferenças nas medições causados pela existência do pelo canino, estes são: adesivos com gel condutor [29] (usados originalmente com este dispositivo) e em pente com tinta condutora [30] (fornecidos pelo BRAIN), sendo alguns testes realizados através de uma banda peitoral já existente para uso com o VitalSticker, sendo para a colocação dos elétrodos em pente furado com uma broca e usado um parafuso e porca para manter o contacto com a zona de colocação dos elétrodos na banda. (Figura 9)

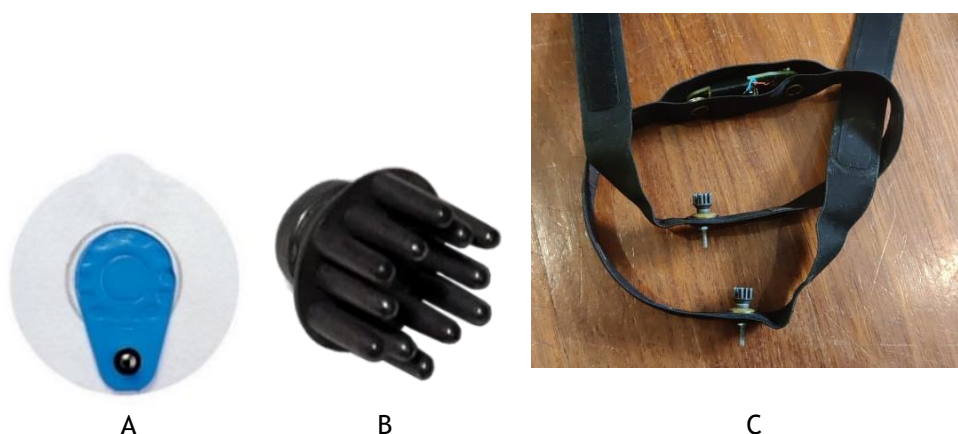


Figura 9 - Elétrodos usados: A- Elétrodo adesivo [29]. B - Elétrodo de tinta condutora [30]. C - Ligação do VitalSticker aos elétrodos com tinta condutora através da banda.

Para melhorar a qualidade das medições foi, através do software Octave, realizado um filtro de mediana para subtraindo do valor do sinal obtido para obter um sinal mais próximo

de zero facilitando as filtrações seguintes. Nestas foi usado um filtro passa baixo para remover ruído. Foi também usado um filtro de notch de 50 Hz num dos ensaios realizado.

Para o filtro de mediana foi usado um tamanho de janela de 40 amostras para o ECG e de 800 amostras para a respiração. No filtro passa baixo foi usado um filtro Butterworth de segunda ordem com frequência de corte de 100 Hz para o ECG e de 1Hz para a respiração.

Após a filtração foi realizado detecção de picos, novamente através do uso do software Octave, de forma a verificar a frequência cardíaca e respiratória. Neste caso a detecção de picos teve de ser ajustada dependendo dos tipos de ensaio realizado, tendo sido usado um distanciamento mínimo de 80 amostras (limite máximo de 3.125 picos por segundo ou 187.5 batidas por minuto) para o ECG, 300 amostras (limite máximo de 0.833 picos por segundo) para a respiração em humanos e 100 amostras (limite máximo de 2.5 picos por segundo ou) para a respiração em caninos. Foi também para cada ensaio ajustado o limite mínimo do tamanho dos picos devido a diferentes quantidades de ruído e variações no tamanho do sinal.

3.1.1. - Estudo dos sinais fisiológicos em humanos

Foi realizado três tipos diferentes de ensaios em humanos, cada um três vezes com duração mínima de 30 segundos, com os eletrodos adesivos ligados diretamente ao *VitalSticker*, (Figura10-C) com os eletrodos adesivos ligados através da banda (Figura10-A) e com os eletrodos em pente ligados através da banda. (Figura10-B) Foi escolhido estes métodos de forma a verificar qual o tipo de eletrodo mais adequado ao funcionamento do *VitalSticker*, e para poder ser comparado com a pelagem canina, sendo necessário também o estudo das variações causadas com e sem a banda para ter um ponto de referência para o estudo que não foi possível realizar com os eletrodos em pente ligados diretamente ao *VitalSticker*.

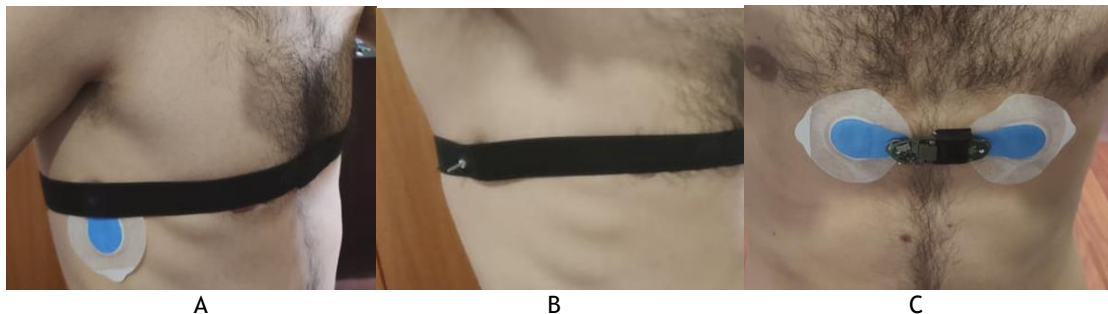


Figura 10 - Posicionamento dos eletrodos, banda e VitalSticker nos ensaios. A - Eletrodo adesivo ligado com a banda. B - Eletrodo com tinta condutora ligado com a banda. C - Eletrodo adesivo ligado diretamente ao Vital Sticker.

Para verificar se as medições de ECG se encontram corretas basta comparar com o sinal que se pretende obter (Figura 2). Sendo para o caso da respiração realizado ciclos de inspiração e expiração de 4 segundos para facilmente verificar se as medições da respiração se encontram corretas (contém a mesma frequência).

Como é possível verificar na Figura 11 foi possível em todos os ensaios detectar o batimento cardíaco e os picos da onda. No caso dos ensaios com a banda é possível verificar que o sinal foi afetado pela respiração, visto que em ambos os ensaios, existe uma oscilação com uma frequência próxima da respiração. É também possível verificar reduções da qualidade do sinal no uso da banda e no uso dos eletrodos em pente em comparação com os eletrodos adesivos ligados diretamente ao *VitalSticker*.

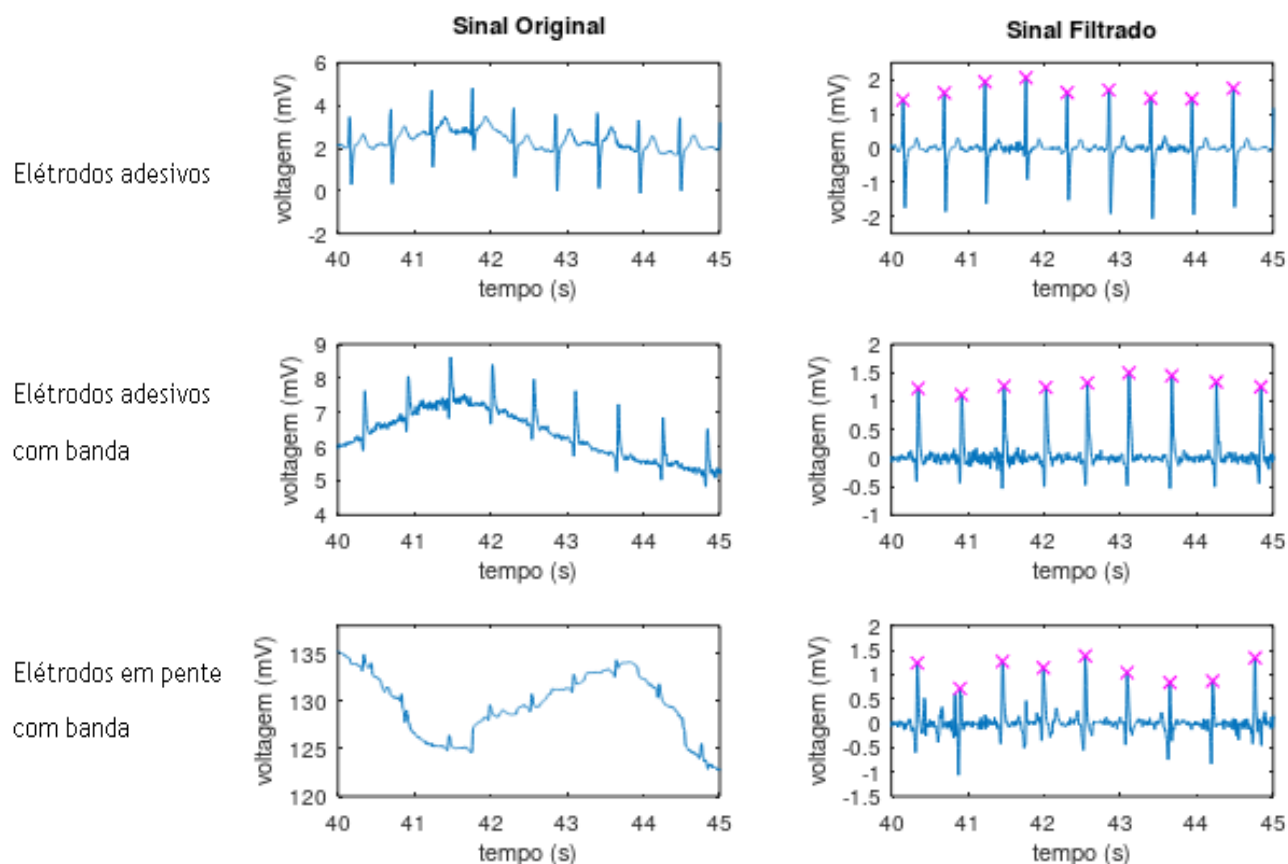


Figura 11 - Medições do ECG dos ensaios em humanos.

Nas medições da respiração (Figura 12), tal como no ECG, é possível verificar uma redução da qualidade das medições, devido à banda e ao uso de eléctrodos em pente, no ensaio com os eléctrodos adesivos é possível verificar um ruído devido ao batimento cardíaco, sendo nos outros casos negligível em comparação com o ruído já existente.

Através da detecção de picos foi possível verificar que a frequência respiratória nestes ensaios foi de 0.26, 0.23, 0.46 Hz, respetivamente dos ensaios com eléctrodos adesivos ligados diretamente ao *VitalSticker*, eléctrodos adesivos ligados através da banda e eléctrodos em pente ligados através da banda, sendo possível verificar que nos casos de eléctrodos adesivos a frequência é próxima do esperado e no caso dos eléctrodos em pente a frequência obtida da respiração é o dobro do esperado isto deve-se ao movimento dos eléctrodos causado pela compressão e expansão peitoral durante a respiração.

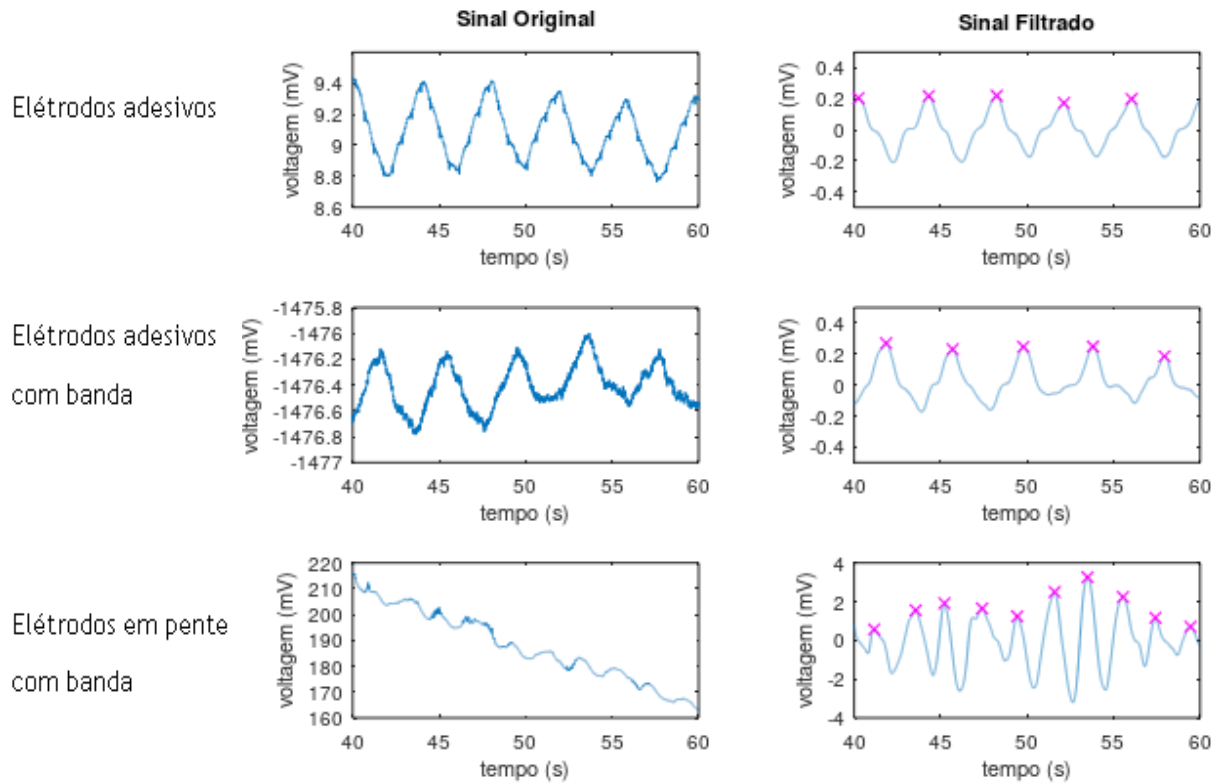


Figura 12 - Medições da respiração dos ensaios em humanos.

3.1.2. - Estudo dos sinais fisiológicos em caninos

O ensaio para caninos foi realizado os mesmos três tipos diferentes, com os eléttodos adesivos ligados diretamente ao *VitalSticker*, com os eléttodos adesivos ligados através da banda e com os eléttodos em pente ligados através da banda. Este foi realizado num cão de raça pastor alemão, tendo o ensaio com o eléttodo adesivo ligado diretamente ao *VitalSticker* sido realizado com o pelo rapado, (Figura 13) devido há facilidade com que os eléttodos se descolam do canino com a pelugem e para evitar estragar o dispositivo se este caia durante os ensaios.

Apesar de não ser possível comparar os ensaios com os eléttodos adesivos com ou sem banda é possível comparar o seu uso com ou sem pelugem, tendo em conta a redução da qualidade do sinal causado pelo uso da banda.

Devido à localização dos eléttodos quando usados com a banda e devido a raça do cão ter pelugem dupla foi decidido não rapar o pelo nessa zona para evitar causar problemas de sobreaquecimento e queimaduras solares [31].(Figura 14)



Figura 13 - Zona onde foi rapado o pelo do cão, tendo sido rapado igualmente do lado oposto



Figura 14 - Posicionamento dos eléttodos, banda e VitalSticker nos testes. A - Eléttodo adesivo ligado com a banda. B - Eléttodo com tinta condutora ligado com a banda. C - Eléttodo adesivo ligado diretamente ao VitalSticker.

As medições ECG no canino, como é possível ver na Figura 16 contém variações causadas pela respiração. É possível verificar no teste com o pelo rapado foi possível obter uma boa qualidade, sendo possível verificar a onda criada pelo ciclo cardíaco sem passagem pelo filtro.

Quanto aos ensaios que usam a banda, é possível obter os picos do ECG mas tal como nos testes em humanos a quantidade de ruído é maior com a banda e com os eléttodos em pente.

Nas medições da respiração em todos os testes foi possível obter a respiração com boa qualidade existindo um aumento negligível de ruído com o uso da banda e com o uso dos eléttodos em pente, sendo também necessário ter em conta a impossibilidade de controlar a frequência respiratória do canino. De forma a verificar que o ritmo respiratório medido é o correto o canino foi filmado na duração de alguns ensaios sendo comparado as contrações e expansões peitorais comparadas com as medidas.

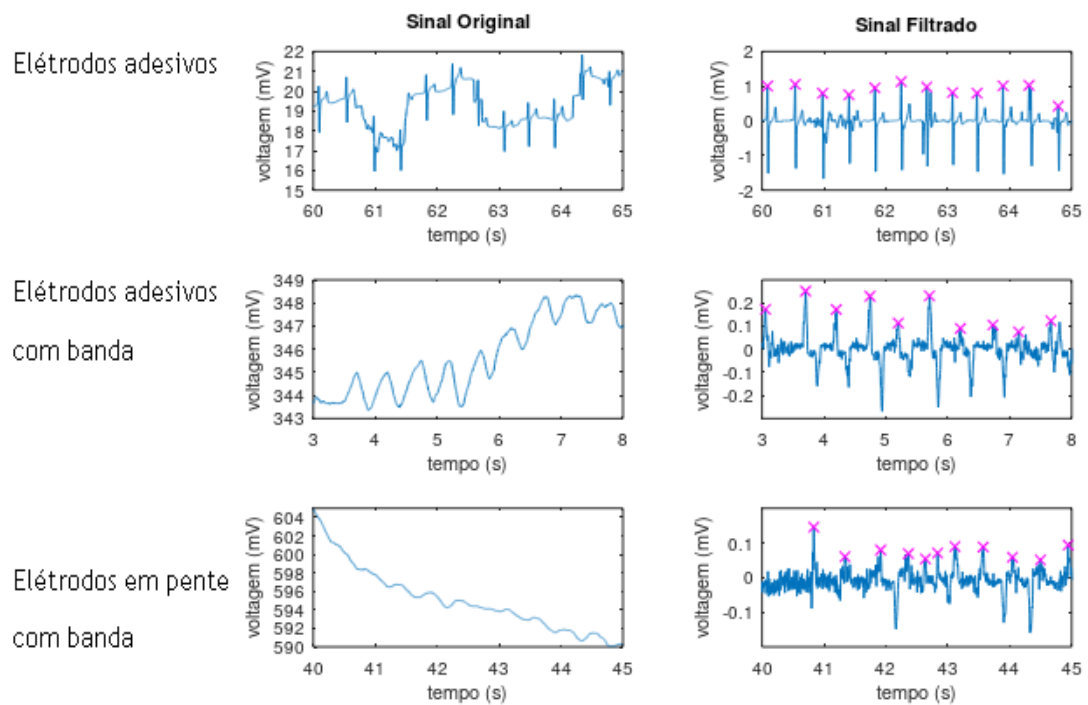


Figure 15 - Medições do ECG dos ensaios em caninos.

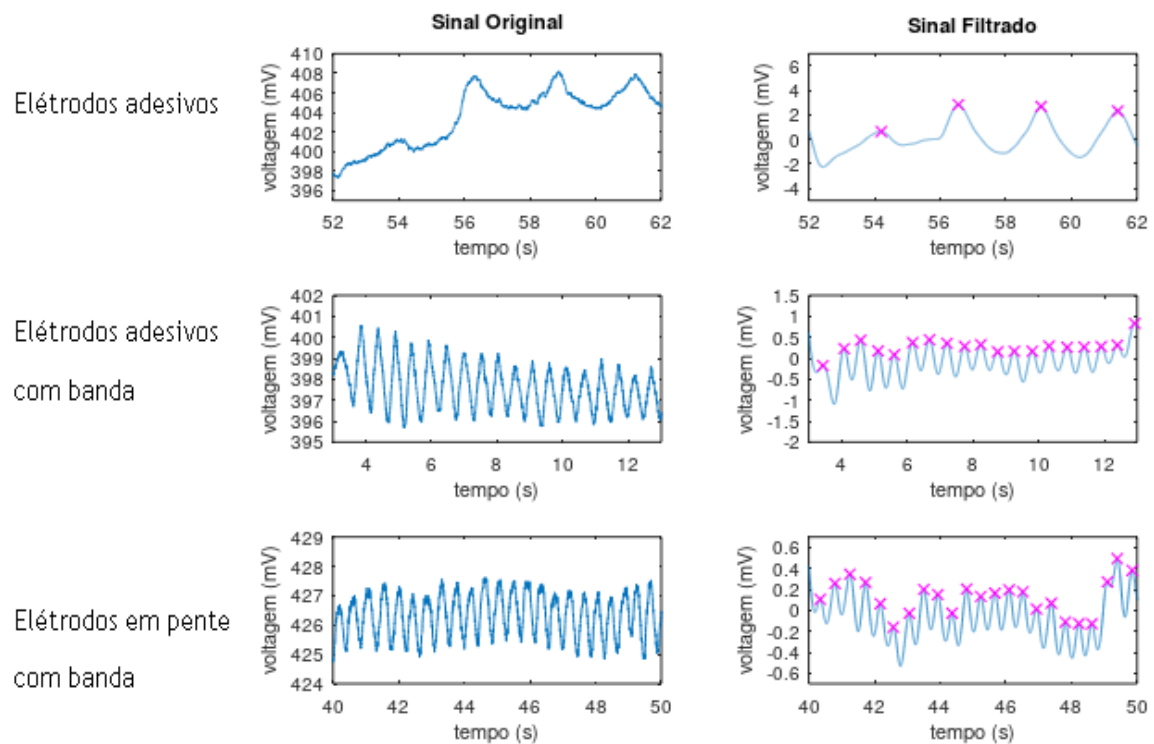


Figura 16 - Medições da respiração dos ensaios em caninos.

3.2. - Adaptação para um colete de caninos

É possível verificar que o dispositivo *VitalSticker* consegue obter os sinais fisiológicos do canino, por esta razão não será necessário mudar o tipo de sensor usado para adaptar o dispositivo para caninos.

Através do estudo de sistemas de monitorização canina foi possível tomar várias decisões de como implementar o sistema *VitalResponder*. Primeiro é necessário ter em conta o balanço e peso máximo, evitando colocar vários dispositivos de um dos lados do canino ou colocar os dispositivos juntos, pois poderá causar problemas de coluna.

O peso limite é dependente da raça e tamanho do canino, tendo as várias raças diferentes limites, foi tomado a decisão de não superar 10% do peso do canino de forma a não aumentar muito o cansaço [22]. Visto não ser possível saber em que caninos será usado o sistema tomou-se a decisão de tornar o sistema o mais leve possível tendo como limite máximo 4,8Kg baseado no canino em que o sistema foi testado.

De forma a manter um bom contacto entre os eléktrodo e a pele do canino durante o movimento foi decidido usar um suporte para o sistema *VitalResponder* que se mantenha seguro à zona peitoral e à zona frontal para ficar mais estável e reduzir ruído ou perda de contacto dos eléktrodo e com a pele. (Figura 17)

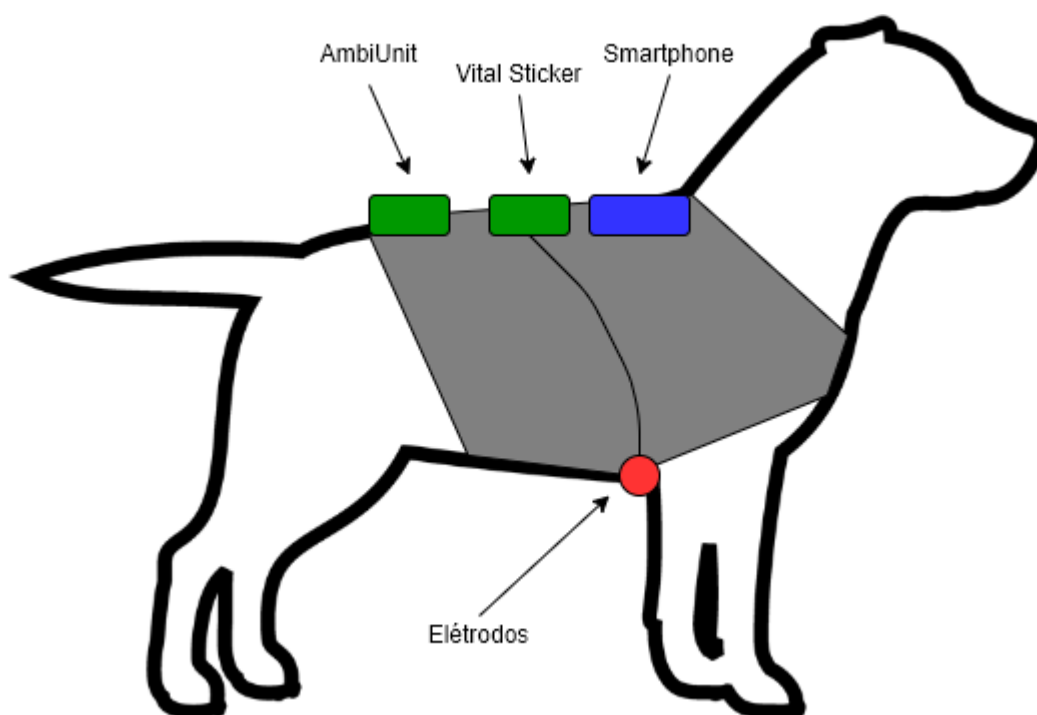


Figura 17 - Exemplo de possível implementação do sistema *VitalResponder* em um canino através do uso de um colete (Adaptado de [32])

Outro fator importante é a escolha da localização dos eléktrodo no canino, foi decidido usar a zona peitoral anterior às pernas frontais devido aos caninos terem menos pelagem nessa parte do corpo facilitando o contacto dos eléktrodo e com a pele [11] [3].

Com base nos resultados anteriores, decidimos adaptar o sistema *VitalResponder* a um colete já existente para caninos de grande porte (80 até 110 cm de cintura), tendo este um suporte ajustável na frente e um suporte na zona peitoral do canino. (Figura 18)



Figura 18 - Colete escolhido para adaptação ao canino.

Para implementar o sistema no colete foi criado um suporte para o smartphone e para o *VitalSticker* que se colocam em lados opostos do colete e o *AmbiUnit* coloca-se na banda frontal do colete ficando com um peso, aproximado devido a possível variação do peso com smartphones diferentes, de 2.1 Kg. O suporte de smartphone foi criado através do uso de uma bolsa para telemóvel em que foi colocado tiras de velcro adesivo para colocar facilmente nas tiras de velcro já existentes do colete. Para o *VitalSticker* o suporte foi criado através de corte e costura de tiras de velcro que fazem parte do colete, sendo também usado este método para criar um suporte para os cabo de ligação aos elétrodos de forma a não incomodar os movimentos.

Os cabos para ligar os elétrodos ao *VitalSticker*, foram criados através de cabos já existentes com uma das pontas que pode ser ligada ao *VitalSticker* e soldados na outra ponta com ligações para os eletrodos, usando também uma manga térmica para proteger o condutor elétrico nas pontas. Adaptou-se uma manga de uma mochila na banda inferior do colete para colocar os elétrodos e ajustar a sua posição dependente do tamanho do canino. (Figura 19)



Figura 19 - Localização dos componentes do *VitalResponder* na adaptação do colete.



Figura 20 - Suporte para o *VitalSticker* e os cabos que ligam aos elétrodos.



Figura 21 - Canino com o colete com sistema *VitalResponder* implementado.

3.2.1. - Estudo dos sinais fisiológicos em caninos com colete

Para o colete foram realizados 4 tipos de ensaios no canino, com ambos os tipos de elétrodos com e sem a pelugem rapada. Foram usados os mesmos filtros que nos ensaios anteriores, filtro de mediana e filtro passa baixo com as mesmas características, e realizada a detecção de picos com um distância mínima de 80 amostras (limite máximo de 3.125 picos por segundo ou 187.5 bpm) para o ECG e 100 amostras (limite máximo de 2.5 picos por segundo) para a respiração, sendo o limite mínimo do tamanho dos picos para cada ensaio ajustado dependo da quantidade de ruído e tamanho do sinal.

É possível verificar na Figura 22 que é possível obter o batimento cardíaco com elétrodos adesivos e pelo rapado e com os elétrodos em pente em ambos os casos.

Sendo que no teste de elétrodos em pente com a pelugem existe muito ruído, sendo o uso dos filtros anteriormente falados insuficientes, foi usado neste caso, um filtro de Notch de 50 Hz para melhorar a qualidade. Em todos os testes foi possível detectar a respiração, (Figura 23) tendo melhor qualidade de medição com a pelugem rapada e com os elétrodos em pente ao invés dos adesivos e no caso de elétrodos adesivos com pelugem a quantidade de ruído dificultou a sua obtenção.

É possível verificar que o dispositivo *VitalSticker* é capaz de obter o sinal da respiração e do ECG possível com a pelugem rapada com boa qualidade, mas para obter o ECG através da pelugem canina terão de ser realizadas mais melhorias.

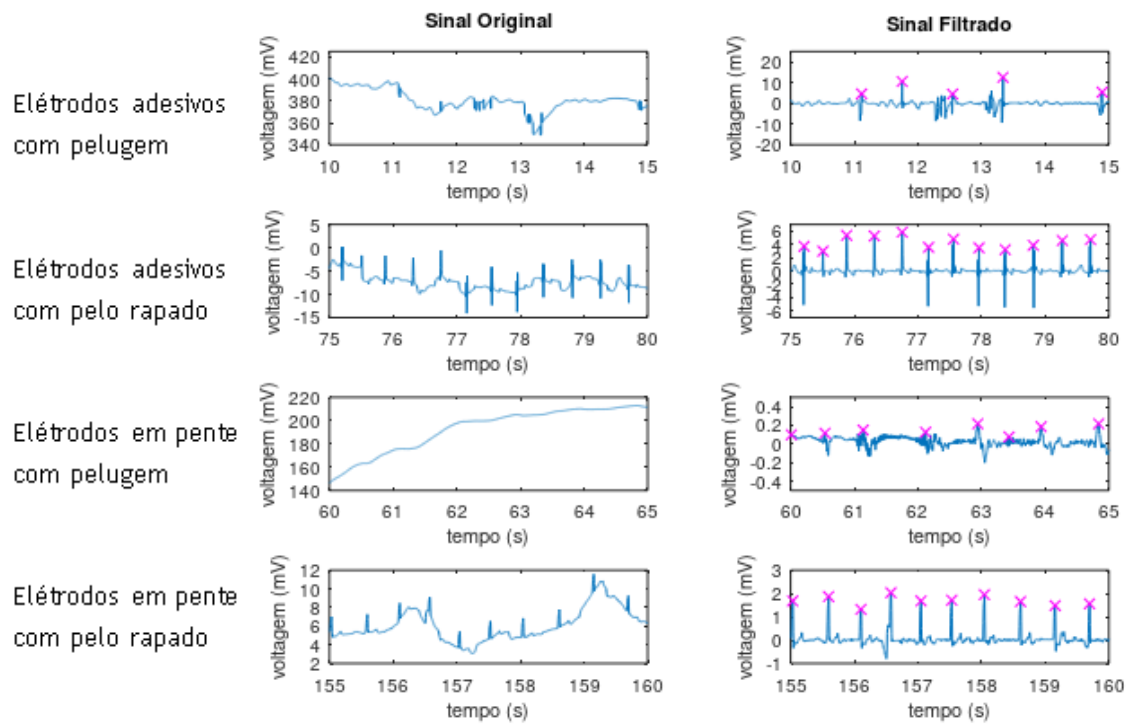


Figura 22 - Medições do ECG com coleto.

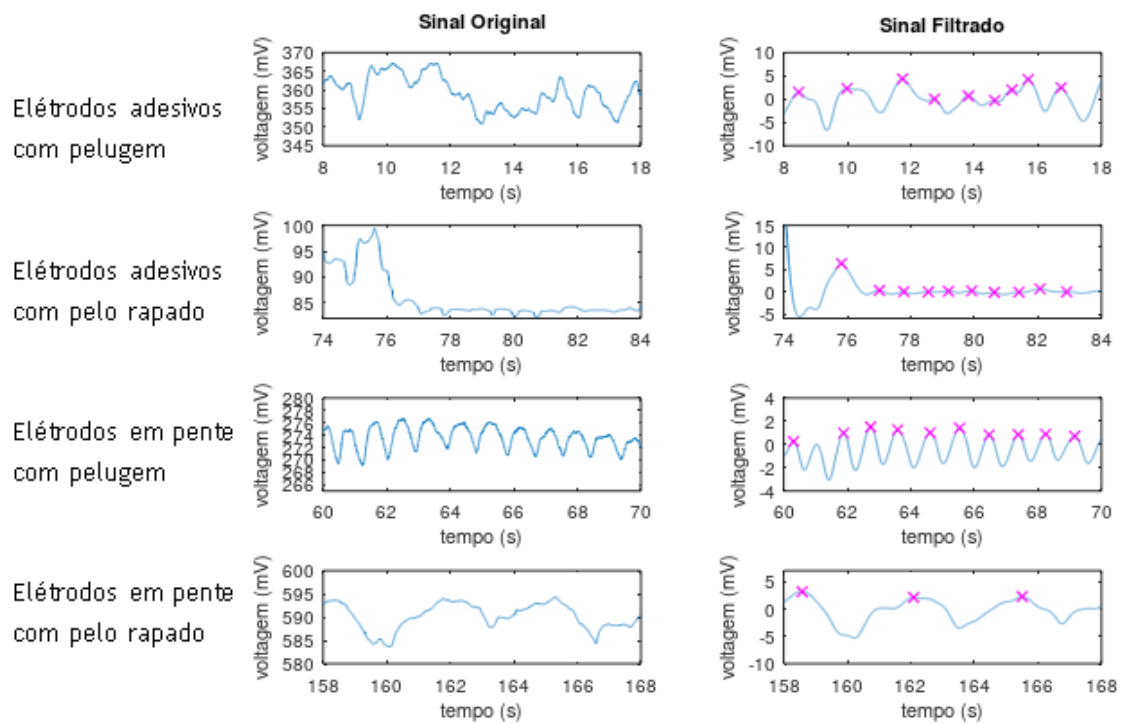


Figura 23 - Medições da respiração com coleto.

3.3. - Desenvolvimento de uma estrutura de dados para a redução de consumo energético

Uma das características mais importantes de um *WBAN* é a autonomia da bateria, desta forma, foi procurado reduzir o consumo de energia do através da redução da quantidade de informação transmitida por *BLE*.

Originalmente quando o *VitalSticker* é ligado à *IoT* obtém amostras de ECG e respiração com uma frequência de 250Hz até obter 33 amostras, sendo em seguida enviado em conjunto por *BLE* para a *IoT* e voltando a acumular amostras e repetir o procedimento até ser desconectado ou desligado. Foi decidido realizar uma redução do número de bytes das amostras, devido aos valores obtidos destes sinais usarem 3 bytes de informação, mas normalmente, não variarem mais do que é possível guardar em 2 bytes.

O algoritmo criado para fazer a redução do número de bytes por medição funciona da seguinte maneira: (Figura 24)

- Inicializa um valor de redução a 0 e limites inferior e superior dos dados (32767 e -32768 respetivamente 0x7FFF e 0xFFFF)
- Quando as amostras das medições são suficientes para envio verifica se estes se encontram dentro do limite.
- Se estiver tudo correto reduz as medições para 2 bytes e envia através de *BLE* para a *IoT*, retornando ao passo anterior.
- Se houver um ou mais valores fora dos limites recalcula o valor de redução através da mediana das amostras acumulada atualmente, e calcula os valores limites somando a mediana ao valor com que estes inicializam.
- Após finalizar o cálculo envia o novo valor da redução para a *IoT*, sendo em seguida reduzido as amostras atuais com o novo valor da redução e enviados através de *BLE* para a *IoT*, retornando ao segundo passo e repetindo este ciclo.

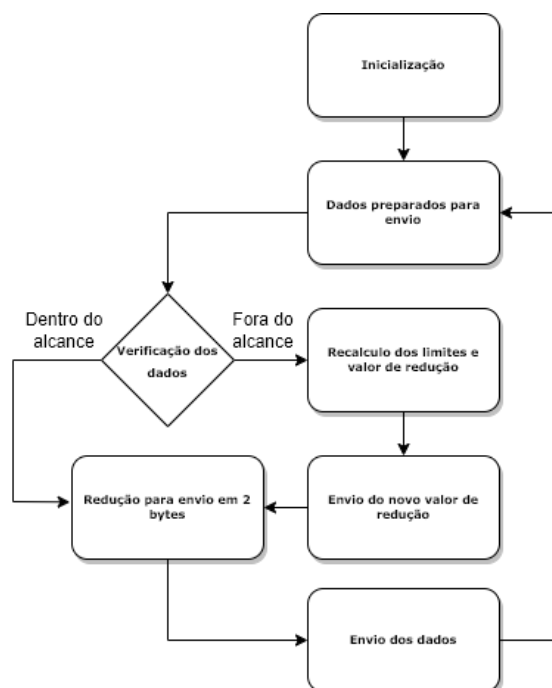


Figura 24 - Diagrama do funcionamento do algoritmo de redução de bytes

Desta forma na *IoT* é possível reconstruir o sinal obtido após o envio através das amostras e o valor de redução. Foi também inicialmente verificado com os dados obtidos da versão original que só há perdas de dados se houver ruído elevado o suficiente para não estar dentro dos limites do novo valor de redução.

Como é possível ver na Figura 25 mesmo com vários ajustes do valor de redução durante a medição é possível reduzir o valor obtido (valor original) para 2 bytes e reconstruir em um inteiro de 4 bytes (valor reconstruído) através do valor de redução, sendo as perdas de informação (erro de reconstrução) em situações com muito ruído (onde o valor das amostras acumuladas varia mais que os limites (têm variação maior que 2 Bytes) após recálculo do valor de redução).

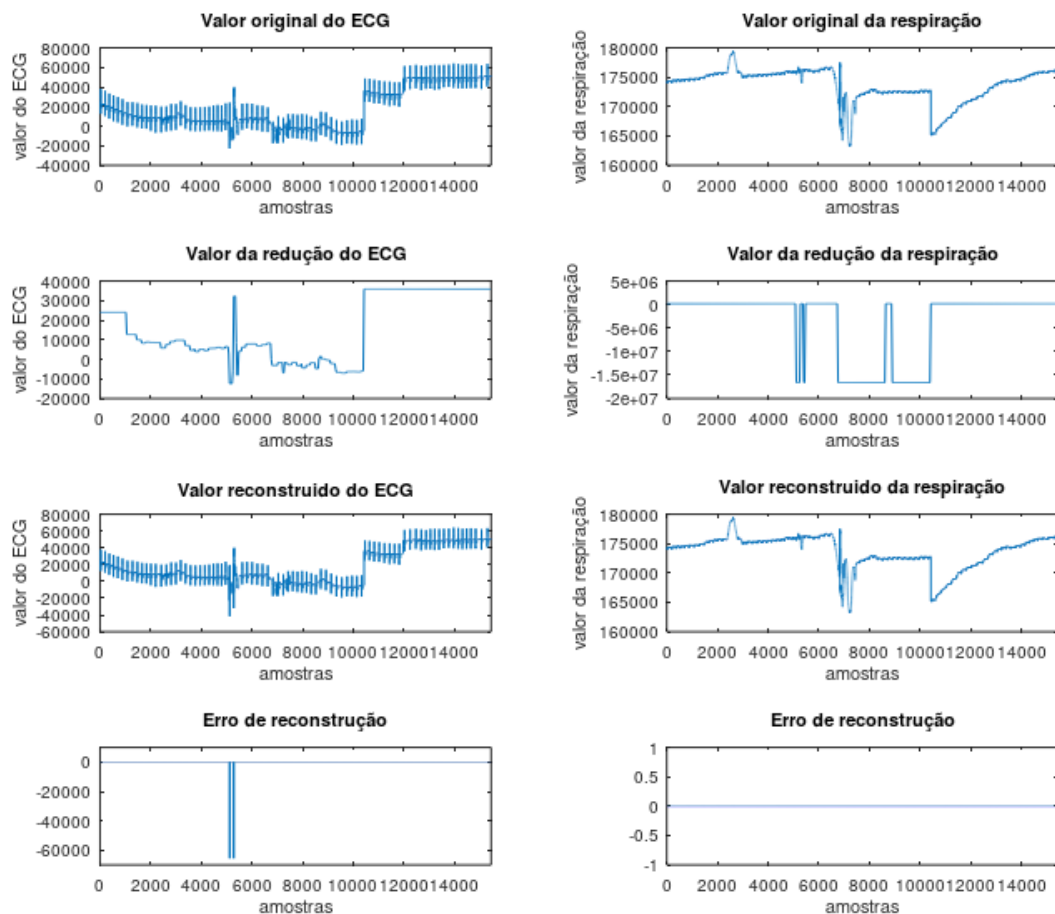


Figura 25 - Verificação da qualidade das medições após ser reduzido para 2 bytes e restaurado com o valor da redução. (Os valores de ECG e respiração encontram-se em inteiros valor antes da conversão para tensão em volts)

3.3.1. - Testes realizados e dados obtidos

Para comparar o consumo energético foi usado a ferramenta *Energy Profiler* do *Simplicity Studio* que permite analisar o consumo energético do dispositivo *VitalSticker*. Foram realizados ensaios com 3 algoritmos diferentes, um com a versão original, um com o algoritmo falado anteriormente (Versão 1) e um com o algoritmo anterior modificado para

enviar o valor da redução sempre que envia os dados medidos (Versão 2). As versões foram também verificadas várias vezes com diferentes quantidades de amostras acumuladas para cada envio, originalmente envia 33 amostras por cada envio, ou seja, recebe cada amostra a 250Hz e envia as amostras para a IoT a 250/33 Hz ou aproximadamente 7.57Hz.

Neste estudo também não foi possível realizar testes com o código original com mais de 81 amostras acumuladas devido ao tamanho máximo das mensagens BLE e não foi possível realizar testes com menos de 25 amostras acumuladas nas versões criadas devido a perdas de informação causadas pelo tempo de execução do algoritmo

Na figura 26 é possível verificar que a média das medições de potência consumida na versão original mantém-se aproximadamente igual, mas no caso das versões com o algoritmo existe uma redução do custo energético com melhores resultados quanto menor o número de medições acumuladas, sendo a exceção a versão 2 em que o teste com 25 samples tem maior consumo, devido ao maior tamanho da mensagem enviada.

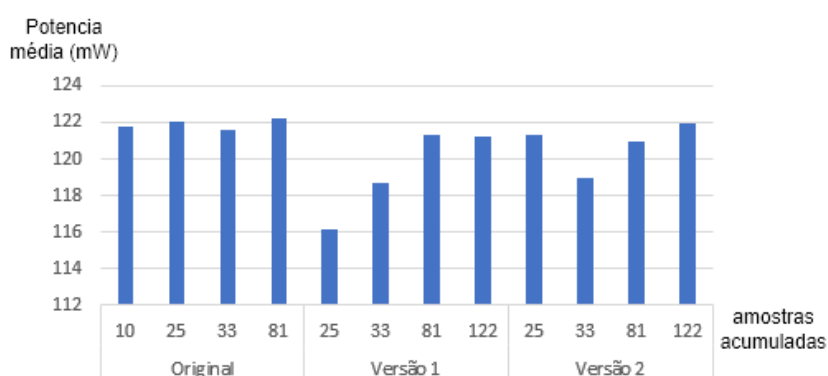


Figura 26 - Média dos valores de potência obtidos nos ensaios.

Capítulo 4

Conclusões e trabalho futuro

Como anteriormente referido, existe uma necessidade de partilhar a informação fisiológica de caninos de busca e salvamento. Atualmente a maior parte do mercado encontra-se focada na facilitação de comunicação e de partilha de informação entre os cães e os seus responsáveis, sendo a partilha da informação vital do canino uma área pouco explorada.

Foi possível ao reduzir a quantidade de informação enviada através de BLE obter uma redução do consumo energético do *VitalSticker* e subsequente aumento da autonomia da bateria. Quanto à adaptação deste dispositivo, demonstrámos que é possível adquirir a informação do batimento cardíaco do canino com os elétrodos em pente e através do uso dos dois tipos de elétrodos com o pelo rapado, sendo também possível obter a informação da respiração com qualidade suficiente em todos os casos.

É ainda necessário melhorar a estabilidade do colete e dos elétrodos tendo durante vários testes com pelagem perdido o contacto com a pele do canino, para ser possível o uso do sistema *VitalSticker* com boa qualidade e sem a necessidade de rapar o pelo aos caninos para o seu uso. Existe também a necessidade de adaptar o sistema para ser possível o uso em caninos de vários portes.

Referências

- [1] M. Taneja, N. Jalodia, J. Byabazaire, A. Davy e C. Olariu, “SmartHerd management A microservices-based fog computing-assisted IoT platform towards data-driven smart dairy farming,” 2019.
- [2] L. Camal, A. Kirtane, T. Blanco, R. Casas, F. Rossano e B. Aksanli, “A Wearable Device Network to Track Animal Behavior and Relationships in the Wild,” em *2019 IEEE 10th Annual Ubiquitous Computing, Electronics Mobile Communication Conference (UEMCON)*, 2019.
- [3] R. Hamada, K. Ohno, S. Matsubara, T. Hoshi, M. Nagasawa, T. Kikusui, T. Kubo, E. Nakahara, K. Ikeda, S. Yamaguchi, T. Yamakawa e S. Tadokoro, “Real-time Emotional State Estimation System for Canines Based on Heart Rate Variability,” 2017.
- [4] L. Bever, “‘Heroic’ rescue dog dies after saving Ecuador earthquake victims,” 27 04 2016. [Online]. Available: <https://www.washingtonpost.com/news/animalia/wp/2016/04/27/heroic-rescue-dog-dies-after-saving-ecuador-earthquake-victims/>.
- [5] K. T. Hayes, “Dogs of 9/11 Search and rescue canines worked tirelessly in the days following terror attacks,” 11 09 2019. [Online]. Available: <https://www.fox5dc.com/news/dogs-of-9-11-search-and-rescue-canines-worked-tirelessly-in-the-days-following-terror-attacks>.
- [6] F. Romero, “Top 10 Heroic Animals 6. Trakr the Dog,” 21 03 2011. [Online]. Available: http://content.time.com/time/specials/packages/article/0,28804,2059858_2059863_2060232,00.html.
- [7] Canadian Search Dog Association, “Training Dogs and Handlers,” 04 2006. [Online]. Available: <https://web.archive.org/web/20060501121127/http://www.canadiansearchdogs.com/training.htm>.
- [8] Canadian Search Dog Association, “Training Your Dog to Search,” [Online]. Available: <https://www.canadiansearchdogs.com/training/training-your-dog-to-search.html>.
- [9] D. D. Cunha e J. P. Silva, “Wearable Health Devices—Vital Sign Monitoring, Systems and Technologies,” 2018.
- [10] R. Brugarolas, J. Dieffenderfer, K. Walker, A. Wagner, B. Sherman, D. Roberts e A. Bozkurt, “Wearable Wireless Biophotonic and Biopotential Sensors for Canine Health Monitoring,” em *SENSORS, 2014 IEEE*, 2014.
- [11] R. Brugarolas, T. Latif, J. Dieffenderfer, K. Walker, S. Yuschak, B. L. Sherman, D. L. Roberts e A. Bozkurt, “Wearable Heart Rate Sensor Systems for Wireless Canine Health Monitoring,” *IEEE Sensors Journal*, pp. 3454-3464, 2016.
- [12] F. Kiani, “Animal behavior management by energy-efficient wireless sensor networks,” *Computers and Electronics in Agriculture*, pp. 478-484, 2018.
- [13] P. d. Chazal e C. H. W. T. McNicholas, “Multimodal detection of sleep apnoea using electrocardiogram and oximetry signals,” *Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences*, pp. 369-89, 11 2008.
- [14] D. Dias, N. Ferreira e J. P. S. Cunha, “VitalLogger: An adaptable wearable physiology and body-Area ambient data logger for mobile applications,” *2017 IEEE 14th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN)*, pp. 71-74, 2015.
- [15] K. H. Shelley e S. Shelley, “Pulse Oximeter Waveform Photoelectric Plethymography,” em *Clinical Monitoring: Practical Applications for Anesthesia and Critical Care*, 2001.
- [16] BEVS, “Normal vitals for a dog,” 30 Setembro 2015. [Online]. Available: <https://bevsvt.com/normal-vitals-for-a-dog/>.

- [17] B. G. Klein, Cunningham Tratado de Fisiologia Veterinária(5ªEdição), Elsevier, 2014.
- [18] S. Bradford, "What Is a Normal Temperature for Dogs?," pettable, 10 Setembro 2021. [Online]. Available: <https://pettable.com/blog/what-is-a-normal-temperature-for-dogs>.
- [19] A. S. Gillis, "What is internet of things (IoT)?," 08 2021. [Online]. Available: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>.
- [20] A. Suresh e T. V. Sarath, "An IoT Solution for Cattle Health Monitoring," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019.
- [21] H. Wang, B. Davies e A. O. Fapojuwo, "Inter-wireless body area network scheduling algorithm for livestock health monitoring," em *2015 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, 2015.
- [22] K. Ohno, R. Hamada, T. Hoshi, H. Nishinoma, S. Yamaguchi, S. Arnold, K. Yamazaki, T. Kikusui, S. Matsubara, M. Nagasawa, T. Kubo, E. Nakahara, Y. Maruno, K. Ikeda e T. Yamakawa, "Cyber-Enhanced Rescue Canine," *Springer Tracts in Advanced Robotics*, pp. 143-193, 2019.
- [23] J. Fernández-Lozano, A. Mandow, M. Martín-Guzmán, J. Martín-Ávila, J. Serón, J. Martínez, J. Gornez-Ruiz, C. Socarras-Bertiz, J. Miranda-Páez e A. García-Cerezo, "Integration of a Canine Agent in a Wireless Sensor Network for Information Gathering in Search and Rescue Missions," *2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pp. 5685-5690, 2018.
- [24] Y. Golan, B. Serota, A. Shapiro, O. Shriki e I. Nisky, "A Vibrotactile Vest for Remote Human-Dog Communication," em *2019 IEEE World Haptics Conference (WHC)*, 2019.
- [25] C. Beokhaimook, K. Ohno, T. Westfechtel, H. Nishinoma, R. Tamura e S. Tadokoro, "Cyber-enhanced canine suit with wide-view angle for three-dimensional LiDAR SLAM for indoor environments," *Annalen der Physik*, pp. 891-921, 2020.
- [26] C. Zeagler, C. A. Byrne, G. R. Valentin, L. E. Freil, E. Kidder, J. Crouch, T. Starner e M. M. Jackson, "Search and rescue: dog and handler collaboration through wearable and mobile interfaces," 2016.
- [27] (C-BER), INESC TEC Biomedical Engineering Research, Vital Sticker Version 5 Productions Guidelines, 2020.
- [28] Silicon Labs, "Simplicity Studio Software," [Online]. Available: <https://www.silabs.com/developers/simplicity-studio>.
- [29] AMBU, "Ambu® BlueSensor VL," [Online]. Available: <https://www.ambu.com/cardiology/ecg-electrodes/product/ambu-bluesensor-vl>.
- [30] OpenBCI, "Dry EEG Comb Electrodes (Pack of 30)," 2021. [Online]. Available: <https://shop.openbci.com/collections/frontpage/products/5-mm-spike-electrode-pack-of-30?variant=8120433606670>.
- [31] C. Wilson, "What Dog Breeds Should Not Be Shaved?," doodletips, [Online]. Available: <https://doodletips.com/what-dog-breeds-should-not-be-shaved/>.
- [32] pngkey, "Labrador Retriever Rubber Stamp," [Online]. Available: https://www.pngkey.com/detail/u2w7w7e6w7y3q8i1_labrador-retriever-rubber-stamp-rubber-stamp-dog-outline/.
- [33] M. Kaushik, S. H. Gupta e V. Balyan, "Implementation and Reliability Analysis of LEACH and SIMPLE protocols in WBAN for Health Monitoring of Canine," em *2019 International Conference on Issues and Challenges in Intelligent Computing Techniques (ICICT)*, 2019.