



Plataforma de Sensorização para Contagem de Utilizadores nos Transportes Públicos

João Carlos Lúcio e Costa

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia de Telecomunicações e Informática

Orientador: Prof^ª. Teresa Maria Sá Ferreira Vazão Vasques

Júri

Presidente: Prof. Ricardo Jorge Fernandes Chaves
Orientador: Prof^ª. Teresa Maria Sá Ferreira Vazão Vasques
Vogal: Prof. Rui Fuentecilla Maia Ferreira Neves

Mai 2021

Dedicado ao meu irmão e à minha filha, para que lutem sempre pela concretização dos seus sonhos.
Aos meus avós paternos, pelo desejo de verem o seu neto graduado.

Agradecimentos

Gostaria de começar por agradecer ao meu supervisor da dissertação, Professora Teresa Vazão Vasques, pela orientação prestada, incentivo e apoio que sempre prestou ao longo deste caminho. Um muito obrigado professora!

A todos os professores que dedicaram o seu tempo a transmitir o seu conhecimento.

Um agradecimento a todos os meus colegas com quem estudei e trabalhei durante os 5 anos de curso, pelo apoio e dedicação que levaram na conclusão de cada uma das unidades curriculares. Pelo espírito de equipa e companheirismo que se fez sentir desde o primeiro ano.

À minha namorada pelo apoio prestado nos momentos mais difíceis, mas essencialmente, por me ter ajudado a lutar e ultrapassar todas as adversidades.

Aos meus tios e primos por toda a força que foram dando para que mais uma etapa da minha vida pudesse chegar ao fim.

Por fim, um agradecimento muito especial aos meus pais e irmão, não só pela oportunidade que me deram para poder continuar a estudar e tirar um curso superior, como também pelo apoio incondicional que prestaram ao longo de toda a minha vida de estudante. Obrigado do fundo do coração, sem vocês nada disto seria possível.

A todos, o meu sincero e profundo agradecimento!

Abstract

There is a current trend towards the concentration of populations in large urban centres, thus overloading public transport systems which, because they are not always able to handle high demand, end up having a negative impact on mobility and consequently on the environment. For transport operators to be able to improve the service provided, it is essential that they know the needs of users through passenger counting systems.

To solve this problem, it was developed a platform using sensor technologies (infrared and ultrasonic sensors), to acquire data related to the entrance/exit of people, wireless networks (Wi-Fi), to identify their permanence through mobile devices, and location technologies (GNSS), to identify the location of the vehicle. An estimation system has also been implemented on a central server with the purpose of calculate the users affluence using the data collected.

Although the system tests were performed in a simulated environment, due to the limitations imposed by the desiasse COVID-19, it was verified that the ultrasound module performed well in identifying users, showing a F-Measure value above 0.97 for slow and normal speeds. Meanwhile, the identification of mobile devices was not successful due to the fact that the system could not always detect the presence of the devices. With regard to the geographical location of the vehicle, the system showed a difference of less than 1 meter to a defined point, with a standard deviation of 2-4 meters.

Keywords

People Counting; Public Transport; Sensors; Wireless Networks

Resumo

Existe uma tendência atual para a concentração das populações em grandes centros urbanos, sobrecarregando deste modo os sistemas de transporte público que, por nem sempre terem capacidade de resposta à elevada procura, acabam por causar um impacto negativo na mobilidade e consequentemente no ambiente. Para que os operadores de mobilidade consigam melhorar o serviço prestado, é fundamental que conheçam as necessidades dos utentes através dos sistemas de contagem de passageiros.

Para solucionar este problema, foi desenvolvida uma plataforma utilizando tecnologias sensoriais (sensores infravermelhos e ultrassons), para adquirir dados relacionados com a entrada/saída de pessoas, redes sem fios (Wi-Fi), para identificar a sua permanência através de dispositivos móveis, e tecnologias de localização (GNSS), para identificar a localização do veículo. Foi também implementado um sistema de estimação num servidor central com o objectivo de calcular a afluência dos utilizadores através dos dados recolhidos.

Apesar dos testes ao sistema terem sido realizados num ambiente simulado, devido às limitações impostas pela doença COVID-19, verificou-se que o módulo de ultrassons identificou corretamente a passagem de pessoas, apresentando um valor de F-Measure acima de 0.97 para velocidades lentas e normais. Já a identificação de dispositivos móveis não foi bem sucedida pelo facto do sistema nem sempre conseguir detetar a presença dos dispositivos. No que concerne à localização geográfica do veículo, o sistema apresentou uma diferença inferior a 1 metro para o ponto previamente definido, com um desvio padrão de 2-4 metros.

Palavras Chave

Contagem de Pessoas; Transportes Públicos; Sensores; Redes sem Fios

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento	3
1.2	Objetivos e contribuição	4
1.3	Estrutura do documento	4
2	Tecnologias de Suporte	5
2.1	Tecnologias de redes sem fios	7
2.1.1	Wi-Fi – IEEE 802.11	7
2.1.2	Bluetooth – IEEE 802.15.1	11
2.1.3	Radio Frequency Identification	12
2.1.4	Near Field Communication	13
2.1.5	Aplicação ao caso de estudo	13
2.2	Tecnologias de sensorização	14
2.2.1	Infravermelhos	14
2.2.2	Ultrassons	15
2.2.3	Células de carga	15
2.2.4	Câmaras de vídeo	15
2.2.5	Aplicação ao caso de estudo	16
2.3	Tecnologias de localização	17
2.3.1	Técnicas	17
2.3.2	Tecnologias e sistemas	18
2.3.3	Aplicação ao caso de estudo	20
3	Deteção e contagem de pessoas	21
3.1	Deteção em redes sem fios	23
3.1.1	Deteção por scanning	23
3.1.2	Deteção por associação	24
3.2	Deteção através de sensores	24
3.2.1	Sensores de infravermelhos	25

3.2.2	Sensores de ultrassons	25
3.2.3	Células de carga	25
3.2.4	Câmaras de vídeo	26
3.3	Revisão de literatura	26
3.3.1	RGB-D Video System for Bus Passenger Counting	26
3.3.2	Bluesound	27
3.3.3	Estimating Pedestrian Flows Using Wi-Fi and Bluetooth	27
3.3.4	RFID-based System for School Children Transportation	28
3.4	Síntese e análise	29
4	Arquitetura da solução	31
4.1	Requisitos	33
4.2	Componente autocarro	35
4.2.1	Deteção de dispositivos móveis	36
4.2.2	Deteção de entradas/saídas	38
4.2.3	Localização geográfica	39
4.2.4	Preparação dos dados	41
4.2.5	Base de dados local	41
4.2.6	Comunicação remota	42
4.3	Componente central	44
4.3.1	Base de dados central	44
4.3.2	Sistema de estimação	47
4.3.3	Página web	48
5	Implementação Técnica	51
5.1	Visão geral do sistema	53
5.2	Componente autocarro	55
5.2.1	Interligação entre os módulos	56
5.2.2	Deteção de dispositivos móveis – scanning Wi-Fi	57
5.2.3	Deteção de entradas/saídas – sensores de ultrassons	58
5.2.4	Localização geográfica – GNSS	60
5.2.5	Preparação dos dados	61
5.2.6	Base de dados local	62
5.2.7	Comunicação remota	62
5.3	Componente central	63
5.3.1	Base de dados central	63
5.3.2	Sistema de estimação	64

5.3.3	Página web	65
5.4	Limitações	65
6	Testes e resultados	67
6.1	Testes unitários	69
6.1.1	Deteção de dispositivos móveis – scanning Wi-Fi	69
6.1.2	Deteção de entradas/saídas – sensores de ultrassons	72
6.1.3	Localização geográfica – GNSS	74
6.2	Testes de integração	76
6.3	Síntese final	78
7	Conclusão	79
7.1	Realizações	81
7.2	Trabalho futuro	82

Lista de Figuras

2.1	Modos de funcionamento da norma IEEE 802.11 – Wi-Fi.	8
3.1	Imagens a cores e de profundidade do sistema apresentado em [1].	27
3.2	Disposição dos sensores do sistema apresentado em [2].	28
4.1	Arquitetura alto nível do sistema proposto.	33
4.2	Arquitetura alto nível da componente autocarro do sistema proposto.	36
4.3	Processo de aquisição de dados do módulo <i>scanning</i> Wi-Fi.	37
4.4	Processo de aquisição de dados do módulo sensores de infravermelhos.	38
4.5	Processo de aquisição de dados do módulo sensores de ultrassons.	39
4.6	Processo de aquisição de dados do módulo localização geográfica.	40
4.7	Diagrama entidade relação da base de dados local.	42
4.8	Arquitetura alto nível da componente central do sistema proposto.	44
4.9	Processo de estimação de entradas e saídas.	48
4.10	Página <i>web</i> do sistema proposto.	49
5.1	Disposição do módulos da componente autocarro.	54
5.2	Módulos constituintes da componente central.	55
5.3	Diagrama temporal do processo de emissão de sinais do módulo sensores de ultrassons.	58
5.4	Esquema de montagem do sensor de ultrassons.	59
6.1	Resultados dos testes unitários #1 e #4 do módulo <i>scanning</i> Wi-Fi.	70
6.2	Resultados do teste unitário #2 do módulo <i>scanning</i> Wi-Fi.	71
6.3	Resultados dos testes unitários #3 e #5 do módulo <i>scanning</i> Wi-Fi.	71
6.4	Montagem dos sensores de ultrassons sobre a porta.	72
6.5	Matriz de erros do teste unitário ao módulo sensores de ultrassons.	73
6.6	Percurso realizado pelo veículo no teste unitário ao módulo localização geográfica.	75
6.7	Resultados do teste integração entre as componentes autocarro e central.	77

6.7 Resultados do teste integração entre as componentes autocarro e central (cont.). 78

Lista de Tabelas

2.1	Comparação das normas mais relevantes do Wi-Fi. Adaptado de [3, 4].	10
2.2	Comparação do Bluetooth LE e BR/EDR. Adaptado de [5].	12
6.1	Resultados do teste unitário do módulo sensores de ultrassons.	74
6.2	Resultados do teste unitário do módulo localização geográfica.	75

Listagens

4.1	Informação mais relevante dos dados adquiridos no módulo <i>scanning</i> Wi-Fi.	37
4.2	Informação mais relevante dos dados adquiridos no módulo localização geográfica. . . .	40
4.3	Estrutura das mensagens do protocolo MongoDB Wire Protocol.	43
4.4	Estrutura do cabeçalho das mensagens do protocolo MongoDB Wire Protocol.	43
4.5	Estrutura de dados da base de dados central, para os dados provenientes do módulo <i>Scanning</i> Wi-Fi.	45
4.6	Estrutura de dados da base de dados central, para os dados provenientes do módulo sensores de infravermelhos.	46
4.7	Estrutura de dados da base de dados central, para os dados provenientes do módulo sensores de ultrassons.	46
4.8	Estrutura de dados da base de dados central, para os dados provenientes do módulo localização geográfica.	46

Siglas e Acrónimos

ACID	<i>Atomicity, Consistency, Isolation, Durability</i>
AoA	<i>Angle of Arrival</i>
AP	<i>Access Point</i>
ARP	<i>Address Resolution Protocol</i>
ASN.1	<i>Abstract Syntax Notation One</i>
BASE	<i>Basically Available, Soft state, Eventual consistency</i>
BPSK	<i>Binary Phase-Shift Keying</i>
BR/EDR	<i>Basic Rate/Enhanced Data Rate</i>
BSON	<i>Binary JSON</i>
BSS	<i>Basic Service Set</i>
BSSID	<i>Basic Service Set Identifier</i>
CHT	<i>Circular Hough Transform</i>
COVID-19	<i>Coronavirus Disease 2019</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
CSMA/CA	<i>Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance</i>
CSV	<i>Comma-Separated Values</i>
DBPSK	<i>Differential Binary Phase-Shift Keying</i>
DCF	<i>Distributed Coordination Function</i>
DIFS	<i>DCF Inter-Frame Spacing</i>
DQPSK	<i>Differential Quadrature Phase Shift Keying</i>
DSSS	<i>Direct-Sequence Spread Spectrum</i>
FIFO	<i>First In First Out</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPIO	<i>General-Purpose Input/Output</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GND	<i>Ground</i>
GSM	<i>Global System for Mobile communication</i>
FN	<i>Falso Negativo</i>
FP	<i>Falso Positivo</i>
HF	<i>High Frequency</i>
HOG	<i>Histogram of Oriented Gradients</i>

IAC	<i>Inquiry Access Code</i>
IBSS	<i>Independent Basic Service Set</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IR	<i>Infrared</i>
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
LE	<i>Low Energy</i>
LF	<i>Low Frequency</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
MIB	<i>Management Information Base</i>
NAS	<i>Network Attached Storage</i>
NFC	<i>Near Field Communication</i>
NIC	<i>Network Interface Controller</i>
NMEA	<i>National Marine Electronics Association</i>
NoSQL	<i>Not Only SQL</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
OID	<i>Object Identifier</i>
PCF	<i>Point Coordination Function</i>
PIR	<i>Passive Infrared</i>
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
QPSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
RFID	<i>Radio-Frequency IDentification</i>
RGB	<i>Red Green Blue</i>
RGBD	<i>Red Green Blue Depth</i>
RGPD	<i>Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados</i>
RSS	<i>Received Signal Strength</i>
RSSI	<i>Received Signal Strength Indicator</i>
RTS/CTS	<i>Request to Send / Clear to Send</i>
SCRAM	<i>Salted Challenge Response Authentication Mechanism</i>
SMI	<i>Structure of Management Information</i>
SMS	<i>Short Message Service</i>
SNMP	<i>Simple Network Management Protocol</i>
TDoA	<i>Time Difference of Arrival</i>
ToA	<i>Time of Arrival</i>
ToF	<i>Time of Flight</i>
UHF	<i>Ultra-High Frequency</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
VCC	<i>Power Supply</i>
VM	<i>Virtual Machine</i>

VN	Verdadeiro Negativo
VP	Verdadeiro Positivo
WPAN	<i>Wireless Personal Area Network</i>
XOR	<i>Exclusive OR</i>

1

Introdução

Conteúdo

1.1 Enquadramento	3
1.2 Objetivos e contribuição	4
1.3 Estrutura do documento	4

1.1 Enquadramento

Atualmente, é cada vez mais comum a concentração da população nos grandes centros urbanos. Esta situação causa uma enorme pressão sobre os sistemas de transporte público, que nem sempre conseguem responder de forma eficaz à procura. Os transportes ferroviários, que inclui o comboio e o metropolitano, tem uma grande capacidade de escoamento de passageiros, mas os seus percursos são limitados pela rede ferroviária, existindo muitas zonas que não são cobertas por estes serviços. Em consequência deste facto, verifica-se um aumento do número de carros em circulação, que para além de deteriorar ainda mais as condições de mobilidade nas grandes cidades, tem um impacto negativo nas condições ambientais [6, 7].

O reforço do serviço de transportes rodoviários tem sido uma das alternativas consideradas para reduzir o tráfego urbano [8]. Todavia, para que os operadores de mobilidade consigam melhorar o seu serviço, é fundamental que tomem conhecimento das necessidades dos seus utentes. Um dos aspectos mais relevantes a considerar neste domínio é a identificação dos padrões de mobilidade, que permitem adequar a oferta do serviço à procura.

Normalmente, os sistemas de bilhética em uno nos autocarros permitem efectuar a contagem de passageiros, através da leitura dos títulos de transporte à entrada do veículo, ou do tempo total de imobilização para a entrada e saída de passageiros. Apesar de se tratarem de métodos simples, a sua eficácia é reduzida, essencialmente por duas razões: primeiro, porque existe uma percentagem significativa de passageiros que não procede à validação do título à entrada, ou que o faz tardiamente; segundo, porque nem sempre permite identificar a saída do passageiro¹ [9]. Esta falta de informação, sobre a utilização do serviço impede que os operadores de transporte possuam dados relativos à ocupação real dos veículos, dos seus padrões de mobilidade, bem como de situações fraudulentas. Desta forma, estas empresas não conseguem efectuar um planeamento adequado das necessidades do serviço, nem uma gestão otimizada da capacidade instalada.

Por outro lado, as entidades responsáveis pela gestão do espaço público, nomeadamente os municípios, não detêm informações de mobilidade que lhes permita planear adequadamente a evolução dos espaços urbanos [10]. Esta ausência de informação reflecte-se numa má gestão do serviço prestado, causando descontentamento nos munícipes e degradação das condições de circulação, situações estas que têm um forte impacto na qualidade de vida e atractividade das cidades.

Em adição, e dada a situação atual do mundo perante a pandemia causada pelo vírus SARS-CoV2, causador da doença *Coronavirus Disease 2019* (COVID-19), novas regras tiveram que ser adotadas para minimizar a taxa de transmissão, como por exemplo limitar o número de pessoas em espaços fechados, como o caso dos transportes públicos [11].

Assim sendo, é fundamental ter um sistema automático e eficaz de contagem de passageiros nos

¹Caso da Carris.

transportes públicos, a fim de possibilitar a todos os intervenientes – operadores de transportes e municípios – administrarem melhor os seus recursos de mobilidade, bem como zelar pela segurança dos cidadãos.

A massificação das redes sem fios, dos *smartphones* e as novas capacidades de sensorização associadas ao desenvolvimento da Internet das Coisas, também designado de *Internet of Things* (IoT), vem permitir novas abordagens a este problema.

1.2 Objetivos e contribuição

O trabalho que se irá desenvolver, no contexto desta dissertação, tem como objectivo contribuir para a solução deste problema recorrendo à obtenção de dados através de tecnologias de sensorização múltipla e de redes sem fios. Os dados recolhidos são posteriormente utilizados para estimar a contagem de passageiros, e ainda à identificação do padrão de mobilidade nos transportes públicos.

As estimativas poderão ainda ser correlacionadas com os dados adquiridos pelos operadores de transporte público, a fim de ajustar a contagem de passageiros e identificar os elementos de sensorização que melhor fornecem estas informações.

1.3 Estrutura do documento

Este documento de dissertação é organizada da seguinte forma:

- **Capítulo 2**, onde é realizada uma apresentação descritiva de diferentes tecnologias que podem ser utilizadas para detetar e auxiliar na aferição do número de pessoas nos transportes públicos.
- **Capítulo 3**, que tem como objetivo apresentar as técnicas e mecanismos de deteção de pessoas tendo em consideração as tecnologias descritas no capítulo anterior.
- **Capítulo 4**, cujo intuito é apresentar uma proposta do sistema a desenvolver para contagem de utilizadores nos transportes públicos, detalhando cada componente por este constituído.
- **Capítulo 5**, onde é descrito de um modo geral o sistema proposto, bem como detalhada a implementação técnica de cada módulo.
- **Capítulo 6**, cuja finalidade é apresentar os testes e resultados realizados ao sistema apresentado.
- **Capítulo 7**, que sumariza o trabalho realizado nesta dissertação, com uma conclusão e recomendações para trabalhos futuros.

2

Tecnologias de Suporte

Conteúdo

2.1	Tecnologias de redes sem fios	7
2.2	Tecnologias de sensorização	14
2.3	Tecnologias de localização	17

Este capítulo tem como objetivo apresentar diferentes tecnologias para detetar e contabilizar pessoas nos transportes públicos. É dividido em três secções pela seguinte ordem: tecnologias de redes sem fios; tecnologias de sensorização; e tecnologias e técnicas de localização.

Numa primeira instância é efetuada uma descrição do funcionamento de cada uma das tecnologias, seguindo-se uma reflexão orientada ao âmbito do problema.

2.1 Tecnologias de redes sem fios

As tecnologias de redes sem fios, igualmente designadas de *wireless networks*, usam predominantemente as ondas rádio para transferir dados contudo, as ondas eletromagnéticas também podem ser utilizadas para este efeito.

2.1.1 Wi-Fi – IEEE 802.11

O Wi-Fi é uma tecnologia de comunicação sem fios normalizada pelo *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) através de um conjunto de normas [12], usualmente designadas por IEEE 802.11.

2.1.1.A Arquitetura do sistema

Uma rede Wi-Fi pode operar em dois modos distintos, o modo *ad-hoc* e o modo infraestruturado. No primeiro, os dispositivos comunicam diretamente entre si, enquanto que no segundo, os dispositivos acedem à Internet, ou comunicam entre si através de uma entidade central – Ponto de Acesso ou *Access Point* (AP).

No modo *ad-hoc*, a rede é composta somente por dispositivos terminais, sem qualquer controlo centralizado. Desta forma, os dispositivos apenas são capazes de interagir diretamente entre si, perdendo qualquer capacidade de comunicar com dispositivos presentes em redes externas. À rede formada pelos dispositivos terminais neste modo dá-se o nome de *Independent Basic Service Set* (IBSS).

No modo infraestruturado, a rede é constituída por diferentes *Basic Service Sets* (BSSs), conectados entre si, por *wireless* ou cabo, através de um sistema distribuído. Na BSS, a comunicação entre os sistemas terminais e o AP é geralmente efetuada via *wireless* [13].

As figuras 2.1(a) e 2.1(b) ilustram, na devida ordem, a arquitetura de uma rede *ad-hoc* e de uma rede infraestruturada.

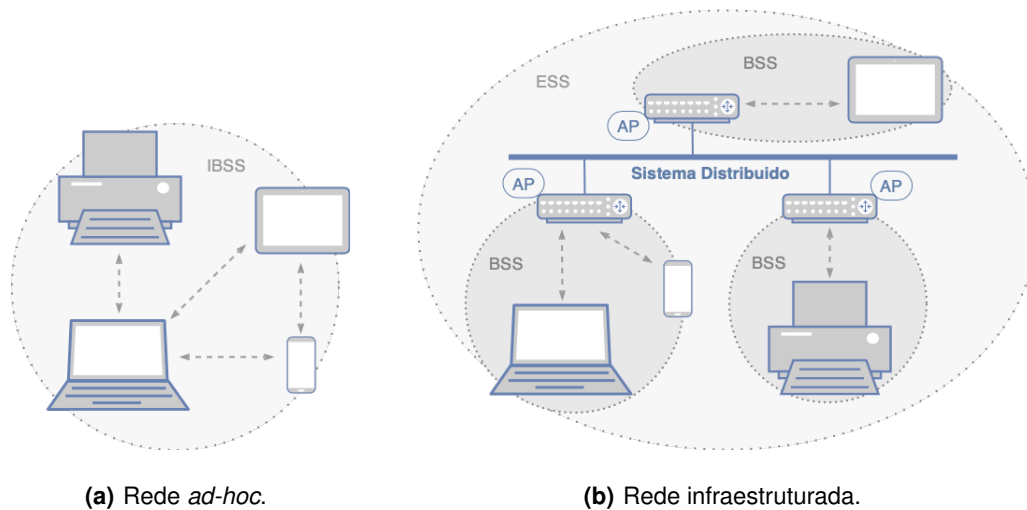


Figura 2.1: Modos de funcionamento da norma IEEE 802.11 – Wi-Fi.

2.1.1.B Arquitetura do protocolo

As redes Wi-Fi são redes locais, pelo que implementam, exclusivamente, as camadas inferiores da arquitetura de protocolos internet, nomeadamente a camada física e a camada de ligação de dados, que por sua vez possui uma sub-camada que efetua o acesso ao meio, *Media Access Control* (MAC).

Camada física

A camada física é a responsável pelo envio de dados entre dispositivos, através de um conjunto de tramas designadas para esse efeito. Estas podem ser de gestão, utilizadas na manutenção da comunicação; de controlo, para facilitar a troca de dados entre os dispositivos; e de dados, onde são introduzidas as informações a transmitir [3].

Para transmitir estas informações, é necessário convertê-las em sinais analógicos e, como tal, são utilizadas técnicas de modulação e taxas de codificação, que definem respetivamente como os dados são enviadas e a que velocidades de transmissão.

As técnicas de modulação utilizadas denominam-se *Direct-Sequence Spread Spectrum* (DSSS) e *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM), e têm como objetivo dividir a largura de banda total por vários canais, permitindo assim a existência de várias comunicações em simultâneo. Cada canal utiliza ainda outras técnicas de modulação de dados (*Differential Binary Phase-Shift Keying* (DBPSK), *Differential Quadrature Phase Shift Keying* (DQPSK), *Binary Phase-Shift Keying* (BPSK), *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK), *16-Quadrature Amplitude Modulation* (QAM), *64-QAM* e *256-QAM*), as quais têm um forte impacto na taxa de transmissão [3].

Camada ligação de dados

O controlo de acesso ao meio é realizado nesta camada através de dois mecanismos diferentes, *Distributed Coordination Function* (DCF) e *Point Coordination Function* (PCF).

Em DCF, um dispositivo averigua o estado do meio antes de proceder ao envio de pacotes, e inicia a transmissão caso este se encontre desocupado por um tempo superior a *DCF Inter-Frame Spacing* (DIFS). Caso se encontre ocupado, é gerado um valor aleatório, numa janela de tempo predefinida, o qual é somando a DIFS para ser tentado um novo acesso.

Este mecanismo de acesso dispõe de duas extensões, *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance* (CSMA/CA) e *Request to Send / Clear to Send* (RTS/CTS), sendo este último utilizado para mitigar o efeito do terminal escondido.

Em PCF, o acesso ao meio é controlado por um AP que divide o tempo de acesso em *super frames*. Estas janelas de tempo tanto podem ser utilizadas para alocar um período temporal para cada dispositivo, como para serem utilizadas pelos métodos descritos em DCF [13].

Gestão da camada ligação de dados

A gestão da camada de ligação de dados tem um papel fundamental no Wi-Fi, visto que controla todas as funções relacionadas com a integração de um dispositivo no sistema, nomeadamente *scanning* e associação a um AP, sincronização entre dispositivos, gestão de energia, entre outros.

O sincronismo entre dispositivos é alcançado através dos *beacons*, pequenos pacotes que contêm informações de gestão, e dos *timestamps*, que servem para ajustar o relógio local de forma a manter a referência temporal comum. Enquanto que no modo infraestruturado os *beacons* são enviados periodicamente, sempre que possível, pelo AP, no modo *ad-hoc* os relógios dos dispositivos são ajustados pelo primeiro *beacon* a ser enviado [14].

Quando um dispositivo terminal pretende associar-se a um *Access Point*, é realizada uma análise inicial das condições de ligação. Se houver mais do que um AP disponível, o dispositivo liga-se àquele que fornece melhores condições de ligação, ou seja, melhor força de sinal.

O *scanning* de APs pode ser realizado de duas formas [14]:

Scanning Ativo – O dispositivo terminal envia um *probe request* em cada canal. Na hipótese do AP receber esta mensagem, este irá responder com um *probe response* e com um *beacon*, de modo a que o dispositivo contenha as informações necessárias para se associar à BSS.

Scanning Passivo – O dispositivo escuta o meio e procura pelos *beacons* enviados pelo AP.

2.1.1.C Variantes da norma IEEE 802.11

As normas Wi-Fi habitualmente utilizadas pelos dispositivos móveis operam entre duas frequências distintas, *2.4GHz* e *5GHz*.

Uma vez que o comprimento de onda é menor para frequências mais elevadas, a interferência causada por obstáculos torna-se mais evidente quando se utiliza a gama dos 5GHz. Em contrapartida, e por não ser uma gama de frequências muito utilizada, a interferência causada por outros dispositivos, nomeadamente no efeito de colisão de pacotes, é menos notória.

Na tabela 2.1 são apresentadas algumas características das normas Wi-Fi mais relevantes.

Tabela 2.1: Comparação das normas mais relevantes do Wi-Fi. Adaptado de [3,4].

Normas	Frequência	Modulação	Velocidade	RSSI (dBm)	Alcance (m)	
					Indoor	Outdoor
802.11a	5 GHz	BPSK – 64QAM	54 Mbit/s	-70	35	120
802.11b	2.4 GHz	DBPSK – QBPSK	11 Mbit/s	-85	38	140
802.11g	2.4 GHz	DBPSK – QBPSK	54 Mbit/s	-85	38	140
		BPSK – 64QAM				
802.11n	2.4 GHz	BPSK – 64QAM	600 Mbit/s	-64 (2.4 GHz)	70	250
	5 GHz			-61 (5 GHz)		
802.11ac	5 GHz	BPSK – 256QAM	6.93 Gbit/s	-	35	-

2.1.1.D Gestão de rede

Dada a complexidade e tamanho que uma rede pode assumir, é essencial que, através de uma entidade remota e das ferramentas apropriadas, um administrador possa monitorizar, gerir e controlar os componentes de *hardware* e *software*.

As três principais entidades da arquitetura de gestão de redes são:

- **Managing Entity** – Aplicação utilizada pelo administrador para interagir com os dispositivos de rede.
- **Managing Device** – Equipamento de rede regido pelo administrador.
- **Network Management Protocol** – Protocolo de comunicação utilizado entre o *managed device* e a *managing entity*.

Cada *managed device* possui uma árvore de objetos, denominada por *Management Information Base* (MIB), onde se encontram informações relacionadas com partes de *hardware* ou parâmetros de configuração do dispositivo. Cada objeto é identificado por uma sequência de números inteiros, denominada *Object Identifier* (OID), que define a sua localização na árvore [14].

Estes dispositivos dispõem também de um agente, *network management agent*, que habilita a gestão da rede por parte do administrador através do protocolo de gestão *Simple Network Management Protocol* (SNMP).

A linguagem utilizada pelo protocolo de gestão e pela MIB tem o nome de *Structure of Management Information* (SMI), uma adaptação da linguagem *Abstract Syntax Notation One* (ASN.1). Esta tem como principal objetivo garantir que a sintaxe e a semântica se encontram bem definidas e inequívocas [14].

2.1.2 Bluetooth – IEEE 802.15.1

O Bluetooth é uma tecnologia de redes sem fios do tipo *Wireless Personal Area Network* (WPAN), projetada para fornecer redes *wireless* a baixo custo. O facto de necessitar de pouco poder computacional, leva a que a autonomia da bateria dos dispositivos móveis que a possuem perdesse mais tempo face a outras tecnologias semelhantes.

À semelhança de algumas variantes do Wi-Fi, nomeadamente as versões 802.11b/g/n, o Bluetooth também opera na gama de frequência $2.4GHz$, o que pode originar interferências caso operem no mesmo espaço [13].

2.1.2.A Arquitetura do sistema

Esta tecnologia suporta três topologias de rede diferentes: *Mesh* (M:M), dirigida para a comunicação entre vários dispositivos; *Broadcast* (1:M), orientada para comunicação entre um dispositivo e outros; e Ponto-a-Ponto (1:1), a mais vulgar e direcionada para a comunicação somente entre dois dispositivos.

Nesta última existem quatro variedades de dispositivos contudo, apenas dois participam ativamente: os *Masters* (M), que definem um *hopping pattern* único de acordo com o seu *clock*, e os *Slaves* (S), que sincronizam com esse *hopping pattern*. Os restantes dispositivos são designados por *Parked* (P), quando não participam ativamente mas são conhecidos, ou por *Standby* (SB), quando se encontram “invisíveis” à rede.

Um dispositivo que se encontre no modo *Standby* pode iniciar um *Piconet*, ou seja, um conjunto de dispositivos sincronizados entre si, ou ligar-se a um já existente. Estes processos são efetuados através do modo *inquiry*, que consiste no envio de uma mensagem *Inquiry Access Code* (IAC), em *broadcast*, bem como na respetiva resposta por parte daqueles que estão periodicamente a escutar o meio [13].

2.1.2.B Variantes da norma IEEE 802.15.1

Atualmente o Bluetooth possui duas versões distintas para a transmissão de dados, a *Basic Rate/Enhanced Data Rate* (BR/EDR), otimizada para *streaming* de áudio, e *Low Energy* (LE), otimizada para pequenas transmissões de dados [5].

A versão BR/EDR suporta apenas a topologia Ponto-a-Ponto, enquanto que a versão LE suporta todas. As suas diferenças encontram-se apresentadas na tabela 2.2.

Tabela 2.2: Comparação do Bluetooth LE e BR/EDR. Adaptado de [5].

	Bluetooth Low Energy (LE)	Bluetooth Basic Rate/Enhanced Data Rate (BR/EDR)
Canais	40 com 2MHz de espaçamento (3 para advertise e 37 para dados)	79 com 1 MHz de espaçamento
Consumo de energia	0.01x - 0.5x valor de referência	1 (referência)
Débito de transmissão	125 Kb/s, 500 Kb/s, 1 Mb/s, 2 Mb/s	1 Mb/s, 2 Mb/s, 3 Mb/s
Potência de transmissão	Class 1: 20 dBm Class 1.5: 10 dBm Class 2: 4 dBm Class 3: 0 dBm	Class 1: 29 dBm Class 2: 4 dBm Class 3: 0 dBm
Tempo de configuração	< 6 ms	100 ms
Máximo de dispositivos (piconet)	Ilimitado	7

2.1.3 Radio Frequency Identification

Radio-Frequency Identification (RFID) é uma tecnologia de radiofrequência que recorre a técnicas de modulação, nomeadamente *backscatter modulation* ou *load modulation*, para enviar dados entre dois dispositivos.

É composta essencialmente por três componentes: *tags*, dispositivos com um *microchip* onde são guardados os dados; *readers*, dispositivos que não só detetam a presença das *tags*, como também recebem os dados enviados por estas; e antenas, componentes utilizados para a transmissão e receção de dados [15]. O seu funcionamento depende das *tags* utilizadas, as quais podem ser:

Tags Ativas – Possuem uma bateria para enviar informações, bem como para alimentar qualquer outro tipo de componente, por exemplo um sensor. O seu alcance poderá chegar aos 15 metros.

Tags Passivas – As mais utilizadas devido ao seu tamanho e custo reduzido. Estas absorvem as ondas provenientes dos *readers* para poderem enviar e receber dados. Dependem fortemente da antena, logo quanto maior esta for, mais energia o dispositivo utiliza. O alcance destas pode chegar aos 3 metros.

Os sistemas RFID diferem consoante a frequência a que os *readers* transmitem, *Low Frequency* (LF) (30 – 300 kHz), *High Frequency* (HF) (3 – 30 MHz) e *Ultra-High Frequency* (UHF) (300 MHz – 3 GHz), e o alcance do sistema, *close-coupling* (0 – 1 cm), *remote-coupling* (0 – 1 m) e *long-range* (> 1 m). As técnicas de modulação variam com a frequência de operação do sistema, sendo que a técnica *load modulation* é utilizada para as frequências LF e HF, enquanto que a técnica *backscatter modulation* é para as frequências UHF [15].

2.1.4 Near Field Communication

Near Field Communication (NFC) é não só uma tecnologia muito semelhante ao RFID por tirar proveito da técnica *load modulation* para transmitir dados entre dois dispositivos, como é compatível com esta tecnologia até um máximo de 20 *cm*), dado que numa única interface são combinadas as funções de *reader* e de *tag*.

A comunicação entre dispositivos depende do modo utilizado [15], podendo estes ser:

Modo Ativo – O dispositivo que inicia a comunicação (*initiator*) ativa o transmissor e, através de uma corrente HF que passa na antena, induz um campo magnético que é captado pela antena de outro dispositivo (*target*). Quando a comunicação é efetuada no sentido oposto, estes invertem as funções. Este modo difere do RFID na alimentação da interface que recebe os dados, uma vez que é efetuada pelo próprio dispositivo, e não através do campo magnético induzido pelo *initiator*.

Modo Passivo – Tal como sucede no modo ativo, o *initiator* ativa o transmissor e envia os dados no entanto, mesmo após o envio, continua a induzir o campo magnético para que o *target* consiga responder. A negociação das funções de cada dispositivo é uma vantagem deste modo, permitindo que um dispositivo com pouca bateria adote o comportamento de *target*.

Quando um dispositivo NFC comunica com um dispositivo RFID, opta por um destes modos:

- *Reader-Emulation Mode*, em que funciona como um RFID *reader*.
- *Card-Emulation Mode*, em que funciona como um *contactless smart card*.

2.1.5 Aplicação ao caso de estudo

Atualmente, grande parte dos veículos dos operadores de serviço público dispõem de acesso à Internet através da tecnologia Wi-Fi. Assim, com recurso às mecanismos apropriados, nomeadamente à análise dos pacotes através da técnica de *scanning*, torna-se possível contabilizar o número de dispositivos móveis e consequentemente estimar o número de pessoas em viagem num dado momento.

Todavia o grau de confiança que se obtém através desta medida é reduzido, devido a inúmeras razões, entre as quais as pessoas nem sempre terem a interface de rede dos seus dispositivos ativa, por poderem ligá-la e desligá-la a qualquer momento da viagem, ou mesmo por usarem múltiplos dispositivos em simultâneo. Por estas razões torna-se improvável saber em que estações ou paragens os utilizadores entram e saem dos veículos públicos.

A utilização do Bluetooth também poderá ser considerada, uma vez que tem havido um aumento de utilização de dispositivos auditivos, como *wireless headsets*, e de acessórios de desporto e *fitness*, tais como *smartwatches* e outro tipo de *wearables*. Todavia, o uso desta tecnologia ainda se encontra pouco generalizado, havendo uma probabilidade relativamente baixa de passageiros com o Bluetooth

ativo nos seus dispositivos. Não obstante, o aparecimento de aplicações de *contact tracing* [16, 17] para minimizar o risco de contágio por COVID-19, poderá enaltecer o uso desta tecnologia para fins de contagem de passageiros.

Nos transportes públicos, a tecnologia RFID está presente nos cartões eletrónicos, também designados de *contactless smart cards*, e nos leitores encontrados dentro dos veículos. Apesar de ser uma tecnologia vantajosa na identificação de passageiros, contém algumas lacunas, como por exemplo a incapacidade de detetar a saída de passageiros, ou a falta de identificação quando estes não validam o título de viagem.

À semelhança do RFID, o NFC também não é o mais apropriado na contagem de passageiros pelas mesmas razões, agravando-se o facto de se tratar de uma tecnologia de leitura praticamente por contacto.

Em conclusão, as tecnologias preferenciais de contagem de passageiros através de redes sem fios são o Wi-Fi e o Bluetooth, na medida em que apresentam como grande vantagem o facto de ser possível recorrer ao seu uso, através dos telemóveis dos utentes do serviço. Todavia, a precisão da informação de contagem é limitada e muito dependente do comportamento dos próprios passageiros. Desta forma, deve ser complementada com outras tecnologias, nomeadamente de sensorização, conforme se descreve na secção seguinte.

2.2 Tecnologias de sensorização

As tecnologias de sensorização são compostas por dispositivos que respondem a estímulos físicos ou químicos, transformando a energia detetada em dados.

2.2.1 Infravermelhos

Os sensores *Infrared* (IR) têm inúmeras aplicações no quotidiano, como por exemplo na abertura e fecho dos portões das garagens ou em sistemas de segurança. Estes têm dois modos de funcionamento dependendo do tipo de sensor utilizado, os quais podem ser:

Sensores Passivos – Denominados por *Passive Infrared* (PIR), e podem ser compostos por um único detetor, que responde a uma variação da temperatura, ou por dois detetores, cujo funcionamento é idêntico apesar da diferença de tensão nos dois subtrair automaticamente o efeito do meio ambiente. O uso de um único detetor tem a desvantagem de ser necessário ajustar a sensibilidade caso hajam alterações na temperatura ambiente [18].

Sensores Ativos – Compostos por um emissor e um recetor que se encontram normalmente em linha de vista (*line of sight*). Quando o recetor deixa de visualizar o feixe infravermelho emitido pelo

emissor, um evento é acionado, alertando para a presença de um objeto [19].

2.2.2 Ultrassons

Tal como os sensores IR ativos, os sensores de ultrassons utilizam um emissor e um recetor, geralmente acoplados ou próximos um do outro, para detetar a presença de um objeto.

O emissor transmite ao recetor ondas de HF, que as recebe devido à reflexão causada pelas superfícies opostas a ambos. Deste modo, se um objeto se situar entre o sensor e a superfície oposta, o tempo de viagem da onda tende a ser inferior ao esperado, podendo em alguns casos ser superior caso esta seja refletida numa direção que não a do sensor.

Comparativamente aos IR, os ultrassons não sofrem de interferências causadas por variações de luminosidade, ainda que alguns materiais possam não refletir as ondas emitidas [20].

2.2.3 Células de carga

As células de carga são compostas por transdutores que convertem a força aplicada sobre eles numa outra grandeza. As células existentes distinguem-se pela forma como detetam o peso (flexão, compressão, tensão, entre outros) ou pelo tipo de sinal que é gerado (pneumático, hidráulico ou elétrico).

As células mais comuns denominam-se de *Strain Gauge*, e geram sinais elétricos pela deformação de uma membrana estrutural composta por resistências. A variação do valor da resistência é proporcional à carga exercida no material, por isso, quanto maior for a carga exercida, maior é a intensidade do sinal gerado.

Em comparação com outro tipo de sensores, estes não sofrem de interferências causadas por fontes luminosas, sonoras ou térmicas. Em contrapartida, e por apenas darem uma perceção da força exercida na superfície, não são os mais indicados para o contexto desta dissertação, dado que a entrada e saída de pessoas pode ser realizada em simultâneo [21].

2.2.4 Câmaras de vídeo

As câmaras de vídeo são dispositivos que possuem mecanismos capazes de capturar imagens em tempo real, podendo fazê-lo de diversas maneiras dependendo do tipo de tecnologia utilizada.

2.2.4.A Térmicas ou de infravermelhos

À semelhança dos sensores IR, as câmaras térmicas detetam e medem a energia transmitida pelos objetos e seres vivos. São compostas por um sistema ótico que direciona a energia captada para um conjunto de pixels, onde cada qual reage de maneira diferente. Os impulsos produzidos por cada pixel

são enviados posteriormente para uma unidade de processamento de sinal, que traduz as informações em dados visíveis [22].

2.2.4.B Cores

O princípio de funcionamento de uma câmara a cores, ou *Red Green Blue* (RGB), é idêntico ao de uma câmara IR no entanto, ao invés de captar a energia transmitida pelos objetos, capta a luz do meio ambiente, tornando-se assim capaz de reproduzir a cores todos os objetos que estejam no seu campo de visão.

2.2.4.C Estereoscópicas

As câmaras estereoscópicas permitem, através de dois sensores óticos distanciados entre si, obter a profundidade de um objeto, tal como acontece no olho humano. Esta é calculada pela diferença de posição de um pixel equivalente nas duas imagens, dado que ambos os sensores possuem uma perspetiva diferente do local capturado [23].

2.2.5 Aplicação ao caso de estudo

As tecnologias de sensorização descritas na secção 2.2 não necessitam de equipamentos adicionais para identificar pessoas num transporte público, tornando-se assim uma vantagem face às tecnologias apresentadas na secção 2.1, contudo possuem alguns inconvenientes por estarem diretamente relacionadas com o meio envolvente.

No caso dos sensores IR passivos, a luz solar, variações bruscas na temperatura ambiente causadas por correntes de ar, a utilização de roupa com um bom isolamento térmico, bem como a proximidade entre as pessoas, poderão impossibilitar a deteção ou contagem de passageiros. Nos sensores IR ativos, visto que o emissor e o recetor necessitam de estar em *line of sight*, a passagem de duas pessoas em simultâneo poderá não ser devidamente identificada.

O ruído causado por outros veículos, ou até mesmo o ruído produzido pelo próprio transporte público, poderá levar à deteção errónea de pessoas através dos sensores de ultrassons. Em contrapartida, e como referenciado na subsecção 2.2.2, os ultrassons não sofrem de interferências causadas por variações na luminosidade ou da temperatura ambiente, podendo ser assim utilizados em qualquer altura do dia ou estação do ano.

As células de carga, por medirem apenas a força exercida numa dada superfície, só podem ser aplicadas para a contagem de pessoas nos transportes públicos quando a largura das portas é reduzida, ou seja, quando a entrada e saída de passageiros é realizada de forma ordeira.

Ao contrário da maior parte dos dispositivos de sensorização referidos anteriormente, as câmaras de vídeo necessitam de uma unidade com bom poder computacional para poder ser realizado o processamento das imagens, bem como o custo de aquisição é relativamente mais elevado face a outras tecnologias de sensorização. Por outro lado, apenas um dispositivo é necessários para contornar o problema de entradas e saídas de pessoas em simultâneo.

Em suma, as tecnologias de sensorização preferenciais para contagem de passageiros são os sensores IR ativos e os sensores de ultrassons, uma vez que não dependem dos dispositivos móveis pessoais, como o caso das tecnologias Bluetooth e Wi-Fi. Adicionalmente, o custo de aquisição destas tecnologias de sensorização também é reduzido, face às restantes tecnologias de sensorização descritas em 2.2. Porém, a precisão pode ser limitada por diferentes fatores, como por exemplo a entrada e saída de pessoas em simultâneo, ou a obstrução dos sensores. Estas condicionantes levam a que ambas as tecnologias devam ser complementares uma da outra, a fim de minimizar os erros causados na aquisição de dados.

2.3 Tecnologias de localização

Os sistemas de localização têm como função fornecer a posição, absoluta ou relativa, de um determinado dispositivo através de um conjunto de entidades coordenadas entre si. Estes podem ser concebidos tanto para espaços exteriores como para espaços interiores.

2.3.1 Técnicas

A localização de dispositivos é realizada baseando-se num conjunto de métricas, geralmente características do sinal emitido pelos dispositivos.

Após aquisição dos valores respeitantes às métricas, e efetuados os cálculos necessários, são aplicados métodos para determinar a posição relativamente a um referencial previamente estabelecido.

2.3.1.A Métricas utilizadas

As principais métricas podem agrupar-se em três categorias diferentes: ângulo de incidência do sinal, intensidade e tempo de propagação do mesmo [24].

Angle of Arrival (AoA) – A grandeza AoA indica o ângulo formado entre a direção de propagação do sinal e a direção de referência, dada por dois recetores cujas localizações são conhecidas.

Received Signal Strength (RSS) – Esta grandeza indica a intensidade do sinal recebido na antena de um dispositivo, e é geralmente apresentada através do seu indicador, *Received Signal Strength Indicator* (RSSI).

Time of Arrival (ToA) – O tempo de propagação da onda num único sentido é utilizado para calcular a distância entre o emissor e o recetor, e para um correto funcionamento, ambos devem possuir os seus relógios sincronizados.

Time Difference of Arrival (TDoA) – Esta métrica é calculada a partir de dois sinais distintos. A diferença do tempo de propagação unidirecional entre os dois sinais a velocidades diferentes, permite calcular a distância entre dois dispositivos.

Time of Flight (ToF) – Esta indica o tempo utilizado numa comunicação bidirecional, ou seja, o tempo desde que um dispositivo envia um sinal até ao momento em que obtém a resposta. Apesar de não ser necessário sincronizar os relógios entre os dispositivos, o emissor tem que saber antecipadamente o tempo de processamento do dispositivo que responde ao sinal.

2.3.1.B Métodos de localização

Após aquisição dos parâmetros relativos às métricas, são aplicadas técnicas para localizar um dispositivo, sendo as quatro principais [25]:

Proximidade – A localização de um dispositivo é dada pela sua proximidade a um outro, cuja localização é conhecida. Um exemplo deste método é na tecnologia RFID, onde geralmente a posição do *reader* é conhecida.

Trilateração – É medida a distância entre um dispositivo e vários com localização conhecida. Após medidas estas distâncias, são traçados círculos com o centro nestes pontos. A interseção de três ou mais círculos indica o ponto onde o dispositivo se encontra.

Fingerprinting – A técnica de *fingerprinting* consiste em analisar e corresponder características eletromagnéticas de um dispositivo, nomeadamente o RSSI, a um mapa cujos pontos são definidos por estas características.

Dead Reckoning – A localização é dada através da última posição conhecida de um dispositivo, e dos diferentes movimentos por este tomado. Estes movimentos são caracterizados por direções, velocidades, distâncias, entre outros.

2.3.2 Tecnologias e sistemas

A distinção dos sistemas de localização é efetuada pelo modo como é calculada a posição de um dispositivo móvel.

Num sistema *self-positioning* o dispositivo móvel calcula a sua posição através de informações provenientes de vários transmissores em posições conhecidas, já num sistema *remote-positioning*, o dispositivo móvel envia as informações para unidades fixas, as quais reencaminham para uma unidade

central encarregue de calcular a posição do dispositivo [24].

2.3.2.A Global Navigation Satellite System

O termo *Global Navigation Satellite System* (GNSS) refere-se a sistemas de posicionamento geoespacial através do uso de satélites artificiais ¹.

Arquitetura do sistema

Estes sistemas são compostos pelos segmentos espaço, controlo e utilizador [26].

O segmento espaço é constituído por uma constelação de satélites artificiais, cuja função é fornecer dados para que um dispositivo possa calcular a sua posição (longitude, latitude e elevação).

O segmento de controlo é responsável por garantir o correto funcionamento do sistema, rastreando os satélites a fim de corrigir eventuais mudanças de rota, monitorizando as suas transmissões e protegendo os serviços contra utilizadores não autorizados.

Por fim, o segmento de utilizador é caracterizado pelos dispositivos recetores que, a partir das informações provenientes dos satélites, calculam a sua posição geodésica.

Metodologia de localização

Para calcular a posição de um recetor a 3 dimensões (latitude, longitude e elevação) é necessário de pelo menos 4 satélites. Cada um destes envia uma mensagem em *broadcast*, contendo o tempo a que esta foi enviada e a sua posição naquele instante de tempo. A partir destas informações, e do tempo de propagação das mensagens, o recetor calcula a distância a que está dos satélites, aplicando posteriormente o método da trilateração para calcular a sua posição [26].

2.3.2.B Wi-Fi e Bluetooth

Ao contrário dos sistemas GNSS, que suportam apenas localização exterior devido ao facto de operarem a uma gama de frequências elevada, as tecnologias de redes sem fios Wi-Fi e Bluetooth fornecem serviços de localização tanto num espaço aberto como fechado. Estas duas tecnologias podem utilizar todas as métricas referidas na subsecção 2.3.1.A contudo, as que são baseadas no tempo de propagação conseguem alcançar melhores resultados. A técnica geralmente utilizada é a de *fingerprinting*, no entanto também pode ser utilizada a técnica da trilateração [25].

2.3.2.C RFID e NFC

A localização nas tecnologias RFID e NFC é relativamente mais simples, uma vez utilizam somente o método de proximidade para identificar a posição de um determinado dispositivo [25].

¹Os mais conhecidos são o Norte Americano (GPS), Russo (GLONASS), Europeu (Galileo) e Chinês (BeiDou) [26].

2.3.3 Aplicação ao caso de estudo

O uso de sistemas GNSS nos transportes públicos é importante para correlacionar a entrada e saída de passageiros com a localização geográfica das paragens, possibilitando verificar quais os locais com maior afluência, bem como a variação do nível de ocupação ao longo do percurso.

As tecnologias Wi-Fi e Bluetooth têm uma finalidade diferente dos sistemas GNSS, pois para além da função de contagem de passageiros, podem ser utilizadas para validar a entrada e saída de passageiros, utilizando a intensidade do sinal, RSSI, do dispositivo móvel. Esta técnica de localização prescinde de qualquer equipamento auxiliar, tornando-se assim a principal vantagem da sua utilização. Em contrapartida, a mesma não é capaz de dar uma medida exata para calcular a distância ao dispositivo móvel.

Em síntese, a existência de um módulo de localização com recurso a sistemas GNSS, é essencial para um correlacionar os dados adquiridos pelos sistemas de sensorização com a localização geográfica das paragens. Deste modo, é possível fornecer informações de mobilidade aos responsáveis pela gestão do espaço público, de maneira a que possam otimizar a evolução dos mesmos. No que diz respeito à deteção de entradas e saídas dos veículos públicos, o Wi-Fi e o Bluetooth possuem as características necessárias para complementar as tecnologias de sensorização referidas em 2.2.5, essencialmente por não necessitarem de equipamentos auxiliares para dar uma indicação da proximidade dos dispositivos móveis.

3

Deteção e contagem de pessoas

Conteúdo

3.1 Deteção em redes sem fios	23
3.2 Deteção através de sensores	24
3.3 Revisão de literatura	26
3.4 Síntese e análise	29

Este capítulo vem introduzir os mecanismos de contagem de pessoas através das tecnologias apresentadas em 2.1 e 2.2, e caso se aplique, dos métodos de localização indicados em 2.3.2.

Na primeira parte são introduzidas as técnicas e mecanismos baseados em redes sem fios, seguindo-se uma orientação às tecnologias de sensorização.

3.1 Deteção em redes sem fios

A deteção de pessoas com recurso a redes sem fios pode ser efetuada pela identificação de dispositivos móveis nas proximidades, ou averiguando os que se encontram associados à rede.

No Wi-Fi e Bluetooth, a identificação dos dispositivos é realizada através do endereço *MAC*, identificador único associado à *Network Interface Controller* (*NIC*), enquanto que no *RFID* e *NFC*, a identificação é realizada através da informação que estes dispositivos fornecem.

3.1.1 Deteção por scanning

A técnica de rastreamento, ou *scanning*, é utilizada somente nas tecnologias Wi-Fi e Bluetooth. Esta consiste em detetar sistemas terminais que possuam a interface de rede ativa, mesmo não estando conectados a uma rede. O processo de identificação consiste na captura e análise de pacotes circulantes no meio de acesso.

Para verificar a posição dos dispositivos relativamente ao transporte, poderão ser aplicadas as técnicas de localização referidas na subsecção 2.3.1.

Funcionamento em Wi-Fi

A identificação de sistemas terminais recorrendo ao *scanning* é efetuada por um outro dispositivo com a interface de rede em *monitor mode*, que por sua vez monitoriza todo o tráfego recebido num canal *wireless* e, através de ferramentas adequadas (*Wireshark* [27], *Kismet* [28] e *airodump-ng* [29]) realiza a análise dos pacotes. As mensagens mais relevantes para o efeito são as de controlo e gestão, podendo também ser utilizadas as de dados.

Algumas destas ferramentas indicam, para além do endereço *MAC* do dispositivo, a potência de sinal recebida, que é um dado relevante para averiguar a posição destes relativamente a um ponto previamente definido.

Funcionamento em Bluetooth

Quando um dispositivo pretende iniciar uma ligação com outro dispositivo na tecnologia Bluetooth, envia uma mensagem *inquiry* em *broadcast*. O outro dispositivo, e caso se encontre a escutar o meio,

responde identificando-se através do seu nome e endereço MAC de Bluetooth. Assim, ao se analisar estas mensagens, é possível identificar os dispositivos no meio envolvente e, conseqüentemente, estimar o número de passageiros nos transportes públicos.

As ferramentas de penetração *Bluelog* [30] e *Blueranger* [31] procuram este tipo de mensagens, sendo que a última devolve ainda uma aproximação da distância a estes. Existe ainda a ferramenta *Redfang* [32] que descobre dispositivos nas imediações mesmo que estes não se encontrem visíveis.

3.1.2 Detecção por associação

Quando um dispositivo se associa a uma rede sem fios, ou a outro dispositivo, deixa um registo da sua identidade que, mesmo sendo provisório, poderá ser consultado na entidade competente.

É possível identificar este registo nas tecnologias Wi-Fi, RFID e NFC. Já no Bluetooth o mesmo não é alcançável pelo facto da rede ser geralmente criada em âmbito privado, ou seja, a associação é geralmente realizada entre os dispositivos terminais dos utilizadores.

Funcionamento em Wi-Fi

No modo infraestruturado do Wi-Fi, a deteção de dispositivos terminais é realizada pela análise da MIB dos *Access Point*.

Sempre que um novo dispositivo se associa a uma rede, a tabela *Address Resolution Protocol* (ARP) do AP, que contém a relação entre os endereços MAC e os correspondentes endereços IP, é atualizada. Deste modo, e por meio do protocolo SNMP, é possível extrair informações relevantes à identificação dos utilizadores.

Através da MIB também é possível adquirir outros dados, como por exemplo o estado dos dispositivos (*reachable*, *stale*, *delay*, *etc*) e o *timestamp* do último *update* [33].

Funcionamento em RFID/NFC

Nas tecnologias RFID e NFC, a identificação é realizada após a troca de informação entre um par de dispositivos (*tag* e *reader* no RFID, *initiator* e *target* no NFC). Ao ocorrer uma associação entre estes, o identificador que se encontra tanto na *tag*, como no dispositivo NFC, é partilhado com o outro dispositivo. Deste modo, e com recurso ao RFID *reader* ou ao par do dispositivo NFC, é possível saber quem efetuou a associação.

3.2 Detecção através de sensores

Os sensores introduzidos na secção 2.2 também podem ser utilizados para identificar e contabilizar pessoas nos transportes públicos. Na deteção em redes sem fios é necessário que as pessoas possuam

um dispositivo móvel, ao contrário do que acontece nas tecnologias de sensorização, que recorrem somente à leitura dos sensores.

3.2.1 Sensores de infravermelhos

Os sensores de infravermelhos, e pelo facto de darem apenas uma indicação de movimento com a interrupção do feixe ou com a variação da temperatura, são indicados para locais em que a entrada e saída de pessoas é feita ordeiramente.

O posicionamento destes sensores difere de acordo com o tipo. Os passivos, por possuírem uma área de abrangência maior devido à utilização de lentes *Fresnel*, devem ficar situados sobre as portas, já os sensores de infravermelhos ativos, e dado que funcionam à base de feixes, devem ficar situados lateralmente a fim de detetar todas as faixas etárias. A sequência pela qual dois sensores, seguidos um do outro, detetam a passagem de uma pessoa, indica o sentido tomado por esta [2].

3.2.2 Sensores de ultrassons

A deteção de pessoas através de sensores de ultrassons é realizada com base no tempo de propagação da onda transmitida pelo emissor.

Inicialmente é calculado o tempo médio de propagação da onda em condições normais, ou seja, sem qualquer objeto entre os sensores e a superfície oposta a estes. Ao passar uma pessoa em frente dos sensores, o tempo de propagação da onda tende a diminuir, ou eventualmente a aumentar caso a onda seja refletida numa direção que não a do sensor. Assim, sempre que o tempo de propagação da onda for inferior ao normal, ou substancialmente superior, pode considerar-se a passagem de uma pessoa sob os sensores [2].

Contudo esta abordagem não é eficaz se duas pessoas passarem em simultâneo, ainda que haja uma solução que passa pelo posicionamento de um *array* de sensores por cima da porta, embora não possam atuar ao mesmo tempo para não ocorrerem interferências de sinal entre eles.

3.2.3 Células de carga

À semelhança dos sensores de infravermelhos, as células de carga não são capazes de distinguir duas ou mais pessoas em simultâneo, uma vez que são apenas sensíveis à força exercida no chão e não ao ponto de contacto. Todavia, desde que a entrada nos veículos seja feita de forma ordeira, estas poderão indicar corretamente a passagem de pessoas.

3.2.4 Câmaras de vídeo

A deteção de passageiros utilizando câmaras de vídeo é realizada através de algoritmos de tratamento de imagens, que detetam primeiramente os objetos e os respetivos limites, para fins de localização e rastreamento, seguindo-se de métodos de classificação, para identificar as pessoas.

Existem diversos algoritmos de deteção de pessoas, no entanto, e de acordo com [34], os mais simples e conhecidos são:

Frame differencing – Considerado um dos mais simples e comuns, o algoritmo tem como objetivo detetar objetos em movimento, fazendo a diferença entre o modelo *background* (instante t) e a imagem seguinte (instante $t + 1$).

Um pixel só é considerado como pertencente ao primeiro plano da imagem caso o resultado da subtração dos valores dos pixels encontrados na mesma posição e nas duas imagens, seja acima de um determinado valor.

A deteção de pessoas é realizada analisando o tamanho das caixas circundantes das manchas criadas após a subtração de ambas as imagens.

Circular Hough Transform (CHT) – Este algoritmo consiste em detetar a forma circular da cabeça das pessoas, recorrendo a câmaras posicionadas num plano superior e direcionadas para baixo.

Para calcular a forma, primeiro são identificados as arestas dos objetos e, para cada ponto destas, é feito um círculo com raio R , previamente estabelecido. O ponto em que os pequenos círculos se intersejam representa o centro do objeto circular.

Histogram of Oriented Gradients (HOG) – Utiliza a distribuição dos gradientes de intensidade de uma imagem, ou das direções dos limites dos objetos, para definir a forma dos mesmos. A imagem é decomposta em células e, para cada uma, é calculado um histograma de gradientes. Posteriormente são aplicados classificadores que detetam a presença de pessoas.

3.3 Revisão de literatura

Detetar pessoas num espaço público tem vindo a tornar-se cada vez mais uma necessidade comum em diversos domínios de aplicação, levando assim ao desenvolvimento de diversos sistemas. De seguida são descritos quatro sistemas relevantes no contexto da presente tese, que tentam cobrir as diferentes tecnologias estudadas.

3.3.1 RGB-D Video System for Bus Passenger Counting

O sistema apresentado em [1] teve o propósito de contabilizar entradas e saídas de pessoas nos autocarros públicos através de câmaras de vídeo *Red Green Blue Depth* (RGBD), ligadas ao computador

de bordo do veículo para ser realizado o tratamento das imagens adquiridas. Era ainda composto pelos sistemas existentes no transporte público, nomeadamente um sistema de localização *Global Positioning System* (GPS), de abertura e fecho de portas, e um sistema de venda e validação de bilhetes.

Os dados provenientes do sistema global eram armazenados numa base de dados local e relacionados pelo instante de tempo a que foram adquiridos, a fim de estabelecer uma ligação entre o número de entradas e saídas e a localização das paragens do autocarro. A fim de evitar falsos positivos, a aquisição de imagens cingia-se ao intervalo de tempo em que as portas se encontravam abertas.

Na figura 3.1 encontram-se as imagens capturadas pela câmara deste sistema de contagem de passageiros.

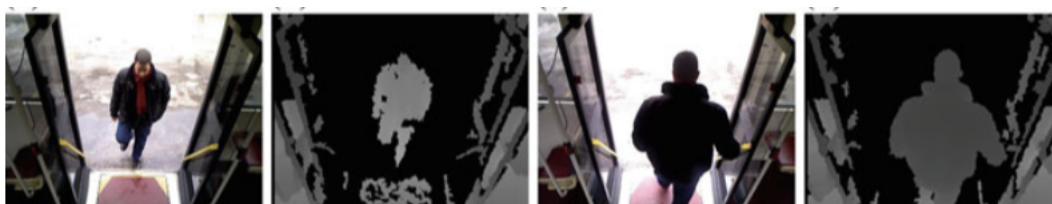


Figura 3.1: Imagens a cores e de profundidade do sistema apresentado em [1].

A taxa de sucesso deste sistema foi bastante elevada, apresentando de um total de 106 entradas, 4 indevidamente identificadas. Para as saídas, de um total de 105 passageiros, 3 não foram identificadas corretamente.

3.3.2 Bluesound

Em [2] é descrito um sistema de contagem de pessoas com recurso a sensores de ultrassons, para as detetar, e de infravermelhos passivos, para averiguar o sentido tomado.

Neste sistema foram utilizados entre um a quatro sensores de ultrassons no entanto, por não funcionarem corretamente em simultâneo, teve que ser definido uma ordem de funcionamento em *round-robin*. Após esta deteção, um módulo Bluetooth LE enviava os dados para um telemóvel, que estava encarregue de os reencaminhar para um centro de dados onde eram armazenados e analisados.

Na figura 3.2 encontra-se representada a disposição dos sensores utilizados neste sistema.

A velocidade de passagem era posteriormente calculada pelo intervalo de tempo em que os sensores PIR e de ultrassons detectavam o movimento.

3.3.3 Estimating Pedestrian Flows Using Wi-Fi and Bluetooth

O sistema descrito em [35], constituído por dois computadores portáteis com a interface de rede em *monitor mode*, tinha como objetivo detetar dispositivos terminais num aeroporto alemão através da

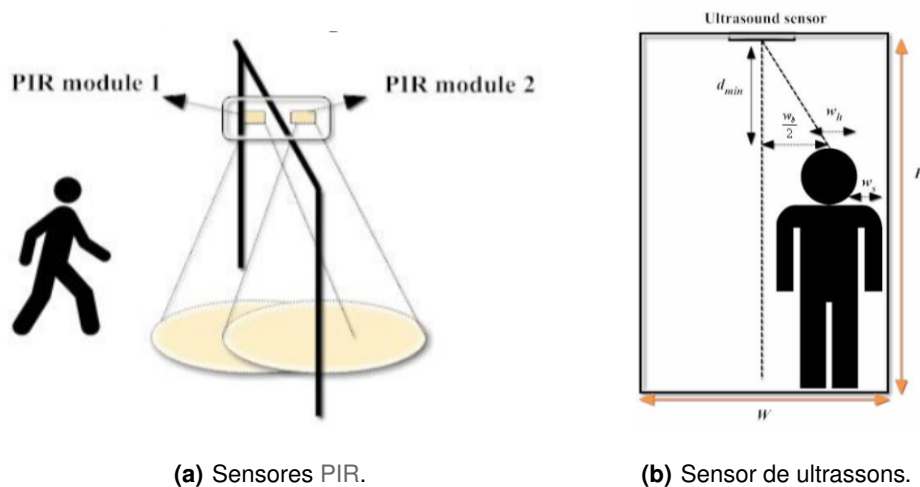


Figura 3.2: Disposição dos sensores do sistema apresentado em [2].

captura e análise de pacotes Wi-Fi e Bluetooth. Um dos computadores situava-se junto a uma porta de embarque, enquanto que o outro encontrava-se no controlo de segurança, distando 40 metros entre si.

Através do Wi-Fi foram analisadas todas as tramas de gestão, excluídos os *beacons*, já pelo Bluetooth foi realizada uma *inquiry scan* a cada minuto. Destes processos recolheram-se o RSSI, endereço MAC de cada dispositivo e instante de tempo de cada coleta.

O fluxo de pessoas foi medido por três métodos diferentes. No primeiro mecanismo foi registado o primeiro e último instante de tempo em que um endereço MAC foi capturado por um dos dispositivos. No segundo só foram registados os dispositivos terminais cuja intensidade de sinal se encontrava acima de um determinado valor. O último e terceiro método consistia na junção dos dois anteriores.

Em termos de desempenho, o Bluetooth foi o que obteve piores resultados, atingindo apenas 53% de correlação média com o *ground truth*. Em contrapartida, o Wi-Fi obteve resultados bem superiores, chegando aos 74% através dos valores RSSI, 63% através dos *timestamps* e 75% usando a combinação dos dois casos.

3.3.4 RFID-based System for School Children Transportation

Por fim, os autores de [36] apresentaram um sistema de identificação de crianças num transporte escolar através da tecnologia RFID. Para tal, cada criança possuía uma *tag*, de modo a ser lida tanto à entrada como à saída do veículo.

O autocarro dispunha ainda de um computador para receber os dados provenientes dos *readers* e, através de um *modem Global System for Mobile communication (GSM)*, enviava uma *Short Message Service (SMS)* para outro *modem* situado na escola. Após a chegada da informação ao segundo *modem*, esta era inserida numa base de dados de forma a que os pais pudessem verificar, através de

uma página *web*, se os seus filhos já se encontravam dentro do transporte escolar.

Este sistema apresenta como desvantagens o facto das crianças terem que transportar uma *tag* RFID, bem como os custos associados ao envio das mensagens SMS.

3.4 Síntese e análise

Tecnologias estudadas

Para fins de contagem de pessoas, as câmaras de vídeo são as que melhor desempenham este papel no entanto, o custo de implementação associado é substancialmente mais elevado comparativamente às outras tecnologias estudadas [37]. Além desta desvantagem, acrescem ainda as questões legais associados ao Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados (RGPD).

Caso se pretenda utilizar uma tecnologia sem custos de implementação, e considerando que o veículo já possui uma infraestrutura de redes sem fios, o Wi-Fi é o mais indicado. Nesta tecnologia, a deteção de dispositivos conectados ao *Access Point* poderá ser realizada através da análise da MIB no entanto, caso a intenção seja detetar também dispositivos desconectados da rede mas com a interface de rede ativa, a técnica de *scanning* é a mais indicada.

Outras tecnologias de identificação de pessoas com um custo relativamente baixo. são os infravermelhos e os ultrassons. Estes apresentam como maior vantagem o facto de não necessitarem de dispositivos adicionais para estimar o número de pessoas num determinado veículo. Em contrapartida, podem sofrer de interferências causadas pelo meio ambiente ou depararem-se com problemas de oclusão. Por outro lado, este tipo de sistema de sensorização necessita de uma infraestrutura física capaz de proteger devidamente os sensores de qualquer tipo de danificação ou vandalismo. Esta infraestrutura, bem como a sua instalação, é totalmente dependente da estrutura do veículo contudo, é recomendável esconder a cablagem no interior do autocarro a fim de minimizar eventuais cortes ou desconexões, e criar caixas e suportes de fixação com recurso a impressão 3D, uma tecnologia económica e facilmente personalizável [38].

As restantes tecnologias descritas no capítulo não solucionam eficazmente o problema apresentado neste relatório e, como tal, não serão consideradas.

Revisão da literatura

Os sistemas apresentados neste capítulo possuíam tecnologias diferentes para deteção e, em alguns casos, contagem de pessoas. Apesar de estar descrita uma amostra relativamente pequena, grande parte dos trabalhos estudados apresentavam pontos comuns, nomeadamente nas tecnologias utilizadas.

O artigo mais relevante no âmbito desta dissertação, *RGB-D Video System for Bus Passenger Counting* (3.3.1), descreve um sistema eficaz de contagem de passageiros em transportes públicos recorrendo a câmaras de vídeo contudo, e como referido no artigo *RFID-based System for School Children Transportation* (3.3.4), este tipo de sistema tem um custo elevado de implementação, assim como pode violar políticas de privacidade.

Relativamente à solução apresentada no sistema *Bluesound* (3.3.2), a contagem de pessoas a atravessar uma porta é realizada através de dois tipos de sensores de baixo custo, os sensores de ultrassons e os sensores de infravermelhos passivos. Apesar de apenas se terem utilizado os de ultrassons para fins de contabilização de utilizadores, os sensores de infravermelhos demonstraram ser eficazes na identificação das mesmas, condição essencial para solucionar o problema apresentado nesta tese. Outro aspecto relevante no sistema *Bluesound* é o facto de se utilizar o módulo de sensores de infravermelhos para averiguar o sentido tomado pelas pessoas. Deste modo, e adaptando aos transportes públicos, é possível determinar o número de entradas e saídas efetuadas tanto pelas portas dianteiras como traseiras dos veículos.

Por fim, o sistema *Estimating Pedestrian Flows Using Wi-Fi and Bluetooth* (3.3.3) demonstrou ser capaz de contabilizar utilizadores através de redes sem fios, tirando proveito das tecnologias Wi-Fi e Bluetooth presente nos dispositivos móveis. Deste modo, e recorrendo a um dispositivo computacional capaz de suportar estas tecnologias em modo de monitorização, é possível averiguar a afluência de dispositivos terminais num transporte público, através do tempo de permanência, e consequentemente estimar o número de pessoas.

4

Arquitetura da solução

Conteúdo

4.1 Requisitos	33
4.2 Componente autocarro	35
4.3 Componente central	44

Este capítulo tem como objetivo apresentar uma proposta do sistema a desenvolver para contagem de utilizadores nos transportes públicos. Inicialmente é efetuada uma análise dos requisitos, seguida de uma descrição da arquitetura.

O sistema foi idealizado com duas componentes principais, uma composta pelos sistemas existentes em cada autocarro, os quais efetuam a sensorização – *scanning* Wi-Fi, sensores de infravermelhos, sensores de ultrassons e localização geográfica – e outra componente para o armazenamento, tratamento e apresentação dos dados.

Na figura 4.1 pode visualizar-se o desenho alto nível da arquitetura do sistema proposto.



Figura 4.1: Arquitetura alto nível do sistema proposto.

4.1 Requisitos

Tal como referido no capítulo inicial, o sistema a desenvolver no contexto desta dissertação tem o objetivo de fornecer estimativas de ocupação dos autocarros. A análise efetuada do trabalho relacionado permitiu identificar limitações aos processos de medida, por impedirem a obtenção de estimativas precisas, tanto por limitações tecnológicas, como por razões operacionais ou comportamentais dos próprios passageiros.

De forma a compreender melhor quais os sensores que se adequam à contagem de passageiros nos transportes públicos, é necessário que o operador de mobilidade forneça o suporte necessário para o desenvolvimento do conceito, satisfazendo os seguintes requisitos.

Requisitos para o operador

- Possibilidade de aceder a um autocarro em funcionamento para testar o protótipo do sistema de sensorização.
- Permitir que o sistema de sensorização tenha acesso à rede Wi-Fi do veículo, para efeitos de transmissão de informação.
- Fornecer acesso aos dados da carreira, nomeadamente o seu identificador e localização das paragens, de forma a identificar o percurso.

- Fornecer acesso em tempo real à localização do veículo, de forma a relacionar os dados de entrada/saída de passageiros com as paragens.
- Permissão para utilizar a informação de controlo de acesso obtida pelo operador (entradas e saídas), a fim de relacionar com os dados obtidos pelo sistema de sensorização.
- Possibilidade do veículo alimentar o dispositivo computacional, dispensando deste modo uma fonte de alimentação portátil.

Caso não seja possível cumprir com os requisitos descritos em cima, o sistema fica com as seguintes limitações:

- Inexequibilidade de testar o protótipo do sistema de sensorização num ambiente real, para qual o mesmo foi desenhado.
- Impossibilidade de guardar os dados num sistema central, nos instantes seguintes à aquisição dos mesmos. Esta limitação pode ser contornada utilizando a infraestrutura de rede do terminal rodoviário, aquando do recolher do veículo.
- Incapacidade de correlacionar o número de entradas e saídas do veículo, com as carreiras e respetivas paragens.
- Incapacidade de correlacionar o número de entradas e saídas do veículo, com a localização geográfica do mesmo. Contudo, esta limitação pode ser contornada instalando um módulo GPS no sistema de sensorização.
- Impossibilidade de relacionar os dados adquiridos pelo sistema de sensorização, com os obtidos pelo operador, inviabilizando a identificação dos elementos sensoriais que melhor desempenham a função de contagem de passageiros.
- Tempo útil de funcionamento do sistema limitado pela capacidade da fonte de alimentação portátil.

Por outro lado, o próprio sistema tem de suportar requisitos de concepção de engenharia, ou requisitos de desenho.

Requisitos de desenho

- O sistema deve ser modular para possibilitar a sua modificação e facilitar a manutenção do código a qualquer momento.
- O sistema deve ser flexível a fim de permitir a utilização de diferentes tipos de sensores, sem alteração significativa da estrutura geral.

- O formato dos dados deverá ser normalizado, de forma a possibilitar a introdução de novos dispositivos de sensorização, mantendo os mecanismos de processamento de informação.
- O sistema deve garantir que a comunicação associada à transferência de dados para o sistema central não sobrecarrega a rede do autocarro de forma significativa, bem como não represente um aumento substancial do custo das comunicações.
- O sistema deve garantir a salvaguarda dos dados no veículo em caso de falha de comunicação com o sistema central.
- O sistema deve ser seguro, garantindo a privacidade, a confidencialidade e o anonimato dos passageiros.
- O sistema terá que ser de baixo custo, possibilitando assim o seu uso numa frota relativamente grande e sem custos de aquisição significativos.

4.2 Componente autocarro

A componente autocarro tem como objetivo adquirir dados respeitantes à lotação dos mesmos através de um sistema de sensorização, composto por dispositivos computacionais e sensores. Esta componente é constituída pelos seguintes elementos:

- **Deteção de dispositivos móveis** – Identificação de dispositivos sem fios recorrendo à técnica de *scanning* Wi-Fi.
- **Deteção de entradas/saídas** – Identificação de pessoas à entrada e saída do veículo, por meio de sensores IR ativos e sensores de ultrassons.
- **Localização geográfica** – Obtenção da localização do autocarro e respetiva velocidade, através de um módulo GPS.
- **Preparação dos dados** – Tratamento da informação proveniente dos diferentes módulos, removendo informações irrelevantes, bem como criando a estrutura de dados a ser enviado para a componente central.
- **Base de dados local** – Base de dados utilizada para guardar de forma persistente os dados provenientes dos diversos módulos, a fim de evitar perdas de informação em caso de falhas do sistema.
- **Comunicação remota** – Envio periódico dos dados para o sistema central, através da rede Wi-Fi do veículo ou de outra, como por exemplo a rede do terminal de autocarros.

Na figura 4.2 estão representados os diversos módulos desta componente.

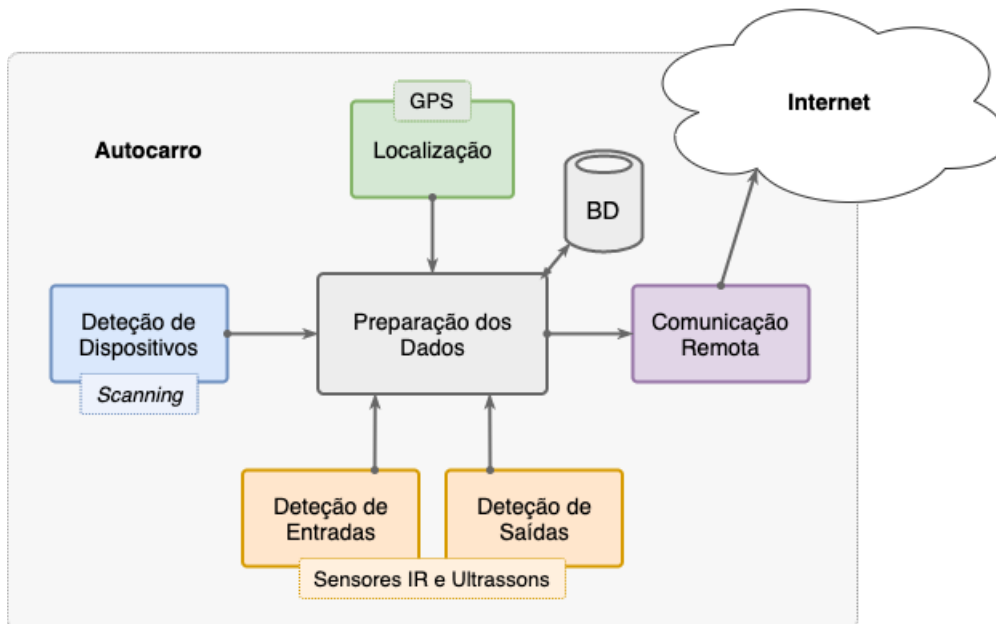


Figura 4.2: Arquitetura alto nível da componente autocarro do sistema proposto.

Os dados oriundos destes módulos são posteriormente correlacionados através do instante de tempo a que foram adquiridos. É ainda utilizado uma métrica de relevância, relacionada com o estado do veículo (andamento ou parado) e com padrões anormais aquando do processo de aquisição de dados, a fim de enaltecer a precisão do sistema.

4.2.1 Deteção de dispositivos móveis

O processo de *scanning* de dispositivos sem fios, ilustrado na figura 4.3, consiste na recolha periódica de um conjunto de informações do meio envolvente, e é constituído por: (1) uma fase inicial, onde é realizada a preparação do dispositivo para dar início à monitorização de pacotes Wi-Fi, nomeadamente na identificação da interface física utilizada para o efeito, terminação de processos que possam causar interferências, e colocação da interface no modo de monitorização, (2) uma fase intermédia, onde são recolhidos um conjunto de dados, e por fim (3) a fase de análise preliminar e armazenamento da informação recolhida.

Relativamente ao conjunto de dados recolhido, este é constituído por: endereço MAC do dispositivo terminal, utilizado para identificar a presença de pessoas a usufruir do serviço de transporte; e instantes de tempo em que o dispositivo foi detetado pela primeira e última vez – este conjunto de informação é utilizado para estabelecer uma relação com o número de estações que a pessoa se manteve dentro do veículo. É também recolhida a maior potência de sinal registada (RSSI) do dispositivo móvel, de

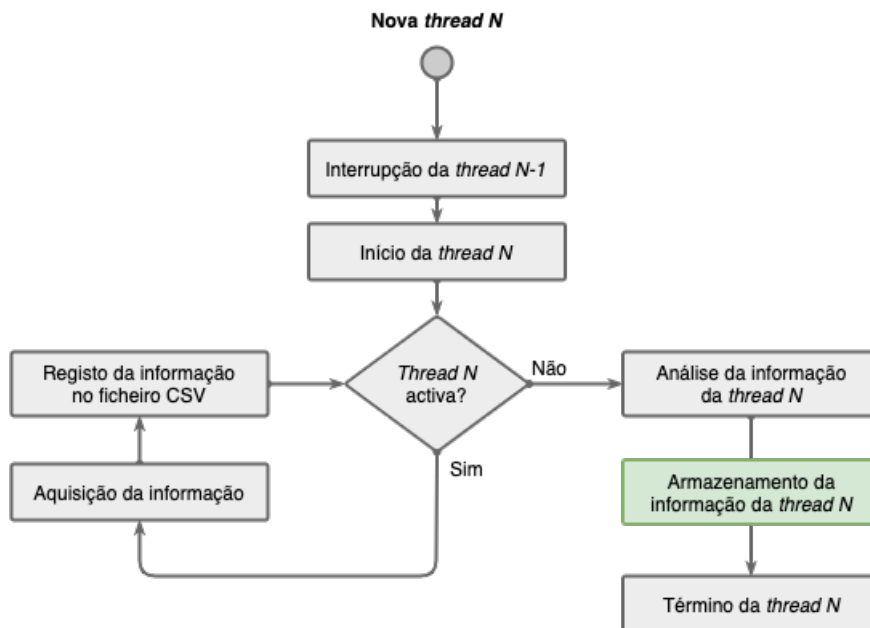


Figura 4.3: Processo de aquisição de dados do módulo *scanning* Wi-Fi.

forma a auxiliar na deteção de utilizadores à entrada e saída do autocarro, bem como o endereço MAC do AP instalado no veículo, de modo a permitir a identificação da rede sem fios do veículo e a obter informação geo-referenciada dos passageiros, reforçando a sua deteção.

De seguida, em 4.1, são apresentados dois exemplos do *output* deste programa, com evidência dos dados relevantes para o sistema de contagem de pessoas ¹.

Listagem 4.1: Informação mais relevante dos dados adquiridos no módulo *scanning* Wi-Fi.

98:00:C6:XX:XX:XX, 2019-07-07 09:32:43, 2019-07-07 09:32:43, -80, 6, B0:C1:9E:XX:XX:XX

- 98:00:C6:XX:XX:XX – MAC address do dispositivo terminal
- -80 – Maior potência de sinal registada (RSSI)
- B0:C1:9E:XX:XX:XX – BSSID do AP ao qual o dispositivo se encontra ligado

E6:0E:D7:XX:XX:XX, 2019-07-07 09:32:46, 2019-07-07 09:32:46, -80, 6, (not associated)

- 2019-07-07 09:32:46 – Instante de tempo em que o dispositivo foi detetado pela primeira vez
- 2019-07-07 09:32:46 – Instante de tempo em que o dispositivo foi detetado pela última vez

De maneira a garantir a privacidade dos utilizadores, é realizada uma *hash*, com recurso ao algoritmo SHA-256, da concatenação do MAC address do dispositivo móvel com uma chave privada. Deste modo, ao invés de se utilizar o identificador real do dispositivo para fins de contagem, é utilizado um

¹De modo a garantir a privacidade dos utilizadores, foi omitida parte do identificador dos dispositivos.

conjunto de caracteres ilógicos, garantido assim que a informação permanece segura e irreconhecível.

4.2.2 Detecção de entradas/saídas

Tal como o processo de *scanning* Wi-Fi, o de deteção de entradas e saídas de pessoas com recurso a sensores de infravermelhos ativos e de ultrassons, é realizado com periodicidade, a fim de ressaltar eventuais perdas de informação.

Sensores de infravermelhos

A deteção de utilizadores através dos sensores de infravermelhos é realizada pela interrupção de um feixe infravermelho. Neste módulo, sempre que o recetor recebe o feixe enviado pelo emissor, um sinal é enviado para a unidade computacional, sendo este sinal invertido quando o feixe é interrompido pela passagem de uma pessoa.

O processo de aquisição de dados por parte deste módulo é realizado periodicamente por uma *thread*, com o objetivo de armazenar os dados obtidos por ciclos de medições distintos, bem como de maximizar o tempo de atividade do sensor. Estes ciclos consistem em registar o sinal de *output* do sensor (0 ou 1) com o respetivo *timestamp*, numa variável para ser posteriormente guardada na base de dados local.

Na figura 4.4 encontra-se ilustrado o processo de aquisição de dados através dos sensores de infravermelhos.

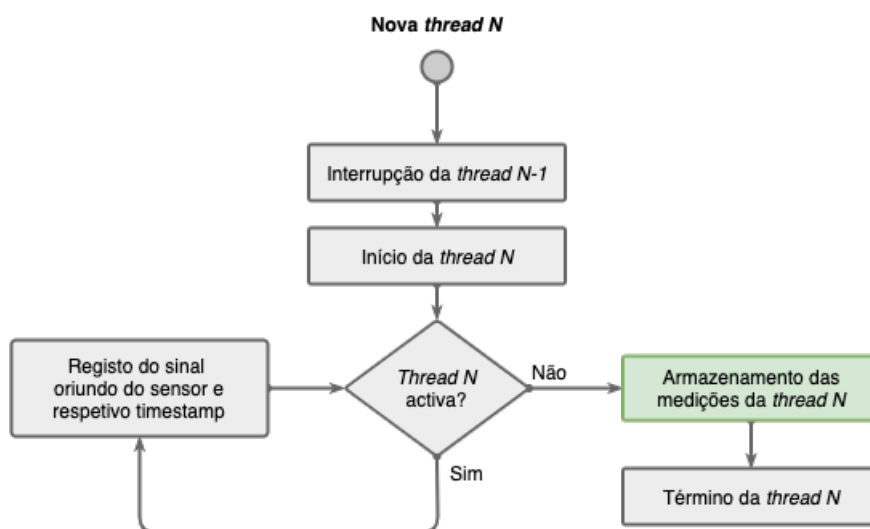


Figura 4.4: Processo de aquisição de dados do módulo sensores de infravermelhos.

Sensores de ultrassons

Como referido em 3.2.2, os sensores de ultrassons utilizam o tempo de propagação de uma onda HF para calcular a distância a um objeto/pessoa. Para o fim desta dissertação, a distância medida pelo sensor é utilizada para identificar uma passagem sob as portas do veículo.

À semelhança do módulo de *scanning* e infravermelhos, o processo de aquisição de dados é realizado periodicamente por uma *thread*, com o intuito de separar ciclos distintos de medição e armazenamento de dados, bem como de minimizar o tempo de inatividade dos sensores. Os ciclos de medições consistem em medir o tempo de propagação da onda, calcular e registar numa variável a respetiva distância para ser posteriormente guardada na base de dados local de forma persistente.

Na figura 4.5 encontra-se ilustrado o processo descrito.

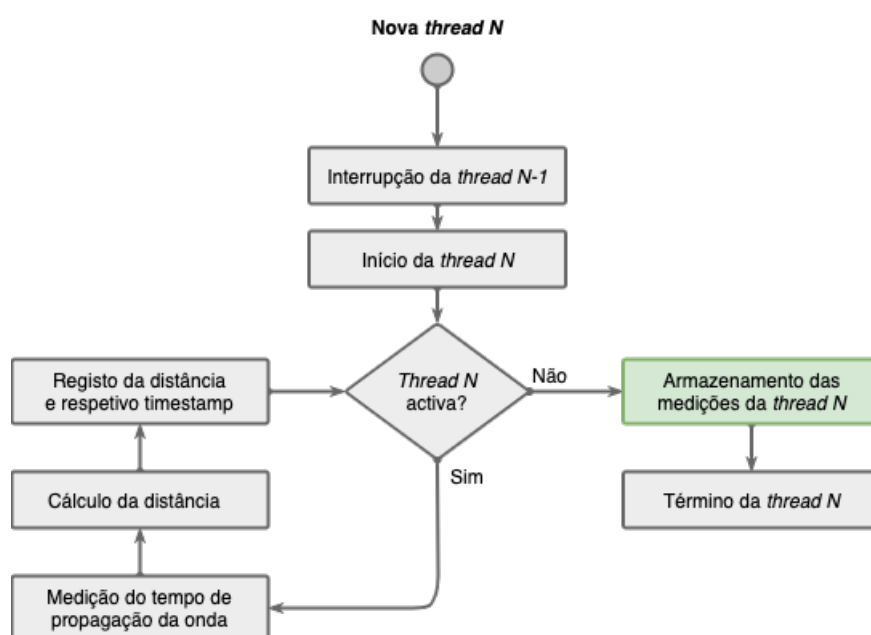


Figura 4.5: Processo de aquisição de dados do módulo sensores de ultrassons.

4.2.3 Localização geográfica

De modo a correlacionar os dados provenientes dos diversos módulos sensoriais com as paragens destinadas para a entrada e saída de passageiros, cuja localização é conhecida de antemão, é calculada a posição geográfica do veículo através de um recetor GPS. Este módulo, para além de calcular as coordenadas geodésicas do veículo, calcula também a velocidade do mesmo, facilitando a estimação de entradas e saídas no sistema central, nomeadamente na identificação dos instantes de tempo em que estas poderão ocorrer.

Bem como os restantes módulos referidos anteriormente, e pela mesma razão – salvaguardar a informação – a aquisição de dados é realizada por processos periódicos, tal como ilustra a figura 4.6.

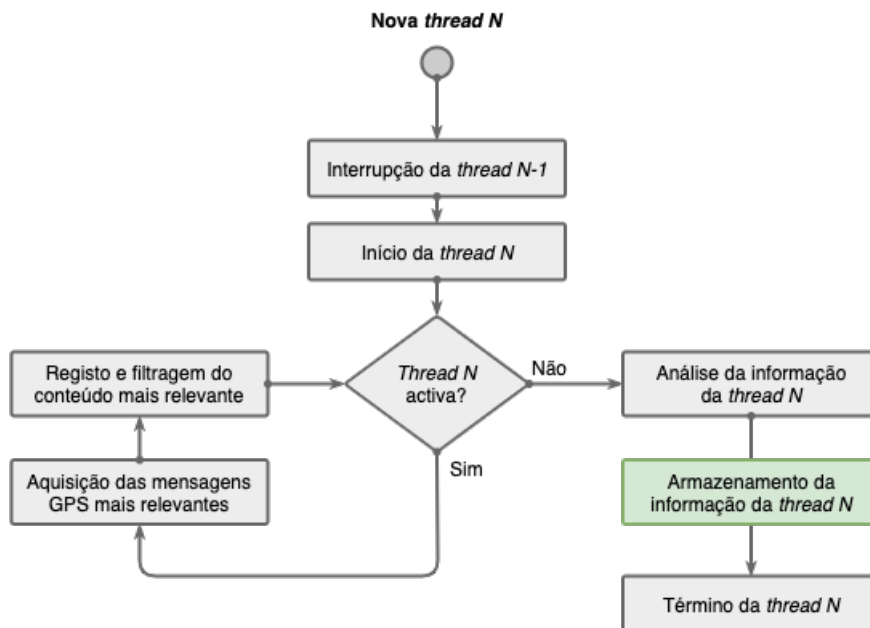


Figura 4.6: Processo de aquisição de dados do módulo localização geográfica.

Os dados adquiridos por este dispositivo são normalmente convertidos num formato *standard*, respeitando o protocolo *National Marine Electronics Association* (NMEA) 0183 [39]. Das mensagens geradas, destacam-se as: *GPGGA*, utilizadas para obter as coordenadas GPS; *GPVTG*, para obter a velocidade do veículo; e *GPRMC*, para adquirir a data e instante de tempo em que as coordenadas e a velocidade foram obtidas. De notar que estas mensagens são enviadas sequencialmente sempre pela mesma ordem, facilitando assim o tratamento de toda a informação e o respetivo correlacionamento.

Em 4.2 são apresentados exemplos destas três mensagens, destacando-se a laranja, com respetiva descrição, os campos mais significativos.

Listagem 4.2: Informação mais relevante dos dados adquiridos no módulo localização geográfica.

\$GPGGA,111508.400,3844.3285,N,00909.4698,W,2,8,0.97,82.3,M,50.7,M,0000,0000*7C

- 3844.3285,N - Latitude do recetor (38°44.3285' N)
- 00909.4698,W - Longitude do recetor (09°09.4698' W)
- 2 - Indicador de qualidade GPS (valores aceitáveis: 1,2,3,4,5)
- 82.3,M - Altitude em relação ao nível médio do mar (geoid)
- 50.7,M - Altura geoid acima da elipsoide WGS-84

\$GPVTG,255.31,T,,M,13.48,N,24.98,K,D*31

- 24.98,K - Velocidade do recetor em relação ao solo (24.98 Km/h)
- D - Indicador de modo (valores aceitáveis: A,D)

\$GPRMC,111508.400,A,3844.3285,N,00909.4698,W,13.48,255.31,250913,,,D*47

- 111508.400 - Hora a que os dados foram recolhidos (11:15:08.400)
- A - Estado do sistema (valores aceitáveis: A)
- 250913 - Data a que os dados foram recolhidos (25-09-2013)

4.2.4 Preparação dos dados

O módulo de preparação dos dados é composto por duas fases: uma primeira, que se procede à aquisição dos dados e tem como objetivo filtrar os mais significativos para o sistema de contagem de passageiros; uma segunda, onde é criada a estrutura de dados a ser guardada localmente e consequentemente a ser enviada para o sistema central.

Esta estrutura de dados consiste numa lista de elementos chave-valor, e visa facilitar a leitura e tratamento da informação no sistema central, bem como em qualquer outro ambiente computacional. É composta por um conjunto de dados comuns a todos os módulos, listados de seguida, e por um conjunto específico de cada processo de sensorização, os quais se encontram destacados nas seções 4.2.1 a 4.2.3

Route (string) – Identificador da carreira (designação adotada pelo operador).

Bus Plate (string) – Identificador do autocarro, composto pela matrícula do veículo.

Door (string) – Identificador da porta do autocarro, podendo ser um dos seguintes valores: *Front* para a porta dianteira; *Middle* para a do meio; e *Back* para a posterior.

Start Datetime (date) – Instante em que o processo de aquisição de dados foi iniciado.

End Datetime (date) – Instante em que o processo de aquisição de dados foi interrompido.

4.2.5 Base de dados local

Após o fim de cada ciclo de medição/aquisição de dados, procede-se o armazenamento local dos mesmos, com o objetivo de evitar bloqueios nos processos de medição/aquisição e armazenamento remoto aquando do acesso a variáveis partilhadas. No fim do veículo chegar ao seu destino, ou a seguir de recolher após o seu serviço, o dispositivo computacional encarrega-se de enviar os dados para a componente central.

Para implementar o armazenamento local, foi escolhida uma base de dados relacional em *SQLite*. Esta base de dados foi desenvolvida com o intuito de providenciar às aplicações um modo conveniente de gerirem as suas informações, sem os custos geralmente associados aos sistemas relacionais de gestão de dados [40].

Deste sistema, são destacadas as seguintes características: dispensabilidade de um processo servidor para ser operada; integração com a aplicação através de uma única biblioteca, tornando-se deste

modo bastante compacta (menos de 1 *megabyte*); segurança em acessos provenientes de diferentes processos ou tarefas, bloqueando-se em cada escrita.

Contudo, este tipo de base possui algumas limitações, nomeadamente a nível de: tamanho, estando limitada a 2 *terabytes* de armazenamento, com a agravante de por cada 1 *megabyte* ser necessário 256 *bytes* de memória *Random Access Memory* (RAM); rede, uma vez que não garante o correto funcionamento numa arquitetura cliente/servidor [41]; tipo de dados, estando limitado às classes *integer*, *real* e *text*.

Relativamente à estrutura, este módulo é composto por 6 tabelas, apresentadas na figura 4.7, das quais uma é utilizada para guardar o *rowid*, identificador de cada linha das tabelas, com o intuito de retomar as atualizações na base de dados central, sem sobrecarregar a componente autocarro com leituras desnecessárias à base dados local.

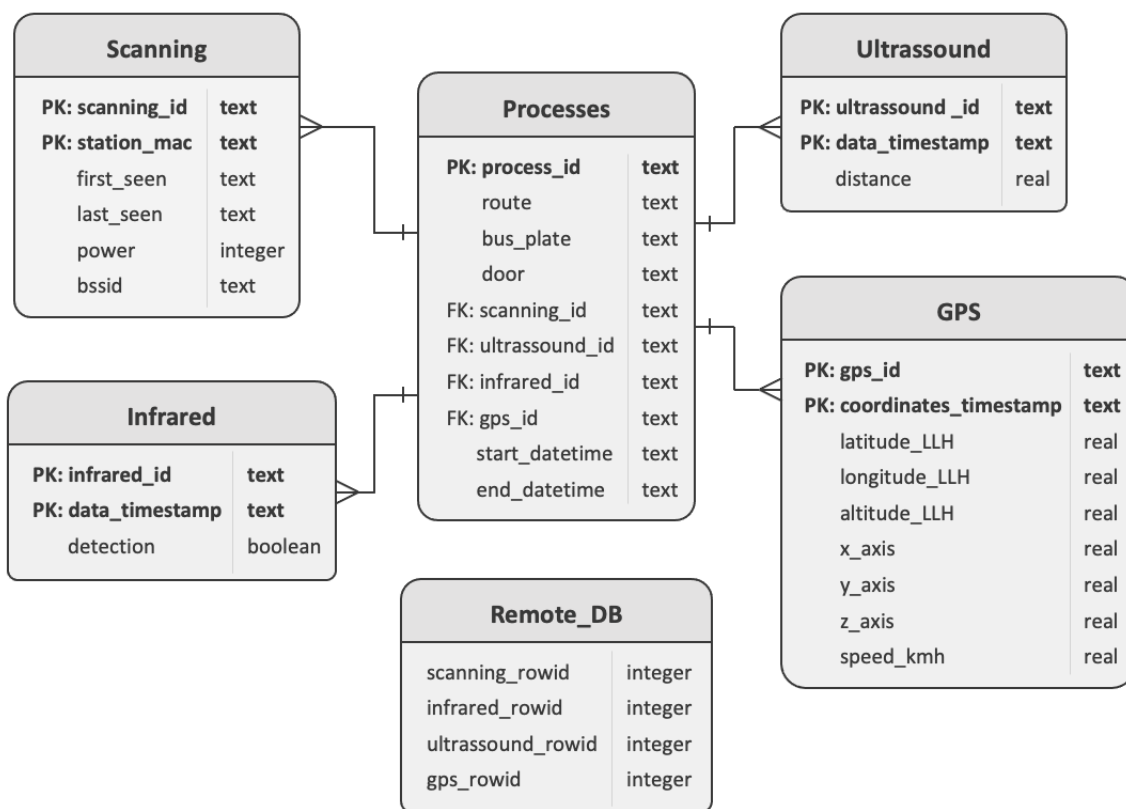


Figura 4.7: Diagrama entidade relação da base de dados local.

4.2.6 Comunicação remota

A comunicação entre os clientes, dispositivos computacionais presentes nos veículos, e o servidor de base de dados a correr no sistema central, é realizada através do protocolo *MongoDB Wire Protocol*,

mediante a utilização de *sockets* TCP/IP normais [42]. Este protocolo possui apenas dois tipos de mensagens: um tipo utilizado pelos clientes, a fim de efetuar pedidos de alterações, ou solicitações de informação; e outro tipo, utilizado pelo servidor, em resposta ao primeiro. Contudo, para o âmbito desta dissertação, apenas foram utilizadas as mensagens do primeiro tipo, nomeadamente as que têm o propósito de atualizar a base de dados com a informação mais atualizada.

Estas mensagens, denominadas de *OP_INSERT*, são constituídas por um cabeçalho seguido dos campos específicos ao pedido, ilustrado em 4.3 e 4.4, respetivamente [42].

Listagem 4.3: Estrutura das mensagens do protocolo MongoDB Wire Protocol.

```
struct OP_INSERT {
    MsgHeader header;           # cabeçalho da mensagem
    int32      flags;          # flags a utilizar na mensagem
    cstring    fullCollectionName; # estrutura onde os dados são guardados
    document*  documents;     # dados a enviar para o servidor
}
```

Listagem 4.4: Estrutura do cabeçalho das mensagens do protocolo MongoDB Wire Protocol.

```
struct MsgHeader {
    int32  messageLength; # tamanho total da mensagem
    int32  requestID;     # identificador da mensagem
    int32  responseTo;   # requestID da mensagem original
    int32  opCode;       # tipo de pedido (OP_INSERT = 2002)
}
```

Para prevenir acessos indevidos à base de dados, é utilizado o mecanismo de autenticação *Salted Challenge Response Authentication Mechanism* (SCRAM), também conhecido como protocolo desafio-resposta. Neste tipo de protocolo, o servidor gera uma questão em resposta à tentativa de conexão do cliente, a fim de perceber se o cliente tem conhecimento da palavra-passe utilizada para se autenticar [43].

4.3 Componente central

A componente central tem como função fazer o tratamento dos dados provenientes da componente autocarro e, com base nestes, estimar e apresentar a lotação dos veículos ao longo do percurso. Esta é composta pelos seguintes elementos:

- **Base de dados central** – Local de armazenamento dos dados oriundos do sistema de sensorização, bem como do número estimado de entradas e saídas nos veículos.
- **Contagem de passageiros** – Sistema de estimação de entradas e saídas, utilizando os dados fornecidos pelo sistema de sensorização, pelo operador de transporte, caso sejam fornecidos, bem como pelo histórico do próprio sistema.
- **Página web** – Elemento visual para fins de demonstração dos dados.
- **Base de dados operador** – Local de armazenamento dos dados adquiridos pelo operador de transportes públicos

Na figura 4.8 encontra-se representados os módulos por esta constituinte, bem como a interligação entre estes.

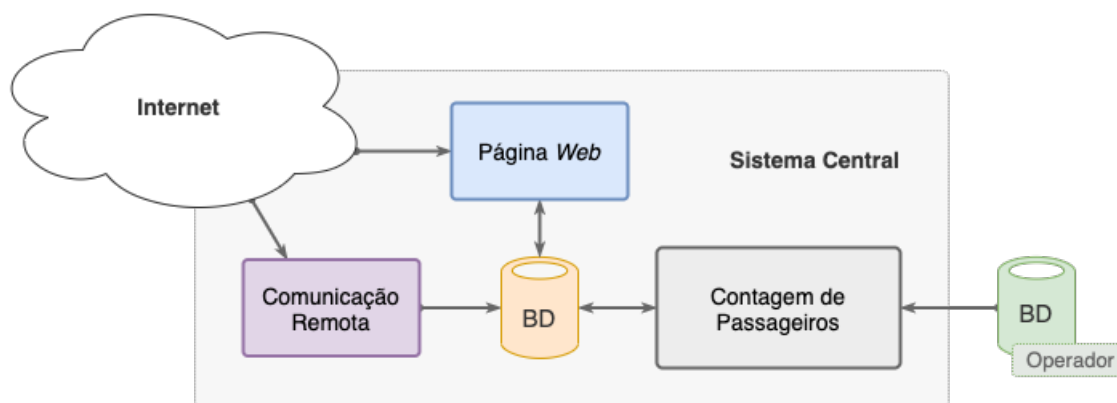


Figura 4.8: Arquitetura alto nível da componente central do sistema proposto.

4.3.1 Base de dados central

Para a implementação da base de dados central, foi primeiramente realizada uma análise dos diferentes tipos, dos quais se destacam as relacionais, que obedecem às propriedades *Atomicity*, *Consistency*, *Isolation*, *Durability* (ACID), e as não relacionais, que obedecem às propriedades *Basically Available*, *Soft state*, *Eventual consistency* (BASE).

As primeiras garantem, não só a atomicidade nas transações, podendo estas serem bem ou mal sucedidas, bem como a consistência no sistema, revertendo para o estado anterior caso uma operação falhe, e ainda o isolamento nas transações, sendo completas sem qualquer interferência e processadas independentemente, e a durabilidade, através do registo das operações a fim de recuperar o sistema em caso de falhas anormais. Por outro lado, as segundas focam-se maioritariamente na disponibilidade dos dados, replicando-os por diversos nós, como também na constante alteração do estado do sistema e na consistência dos dados após operações de escrita, existindo margem temporal até que os dados se encontrem atualizados por todas as réplicas [44].

Do ponto de vista de IoT, bem como desta dissertação, é importante que a base de dados central seja escalável horizontalmente, isto é, que possibilite gerir o número de nós (servidores) de acordo com as necessidades da aplicação, uma vez que a quantidade de dados aumenta consoante o número de veículos abrangidos pelo sistema, como também seja flexível e heterogénea, possibilitando a adição de dados provenientes de novos sensores sem que seja necessário alterar a estrutura da mesma. Adicionalmente, esta tem que providenciar boas capacidades de concorrência, tanto para escritas como leituras, sem que o desempenho do sistema deteriore face a um aumento do número de acessos.

Por estas razões, procedeu-se à escolha de uma base de dados não relacional, também designada de *Not Only SQL* (NoSQL), nomeadamente uma base de dados do tipo *MongoDB*.

Este sistema de gestão de dados guarda a informação no formato *Binary JSON* (BSON), uma derivação mais eficiente da notação *JavaScript Object Notation* (JSON), por codificar a informação relativa ao tipo e tamanho dos dados. Cada documento BSON contém pares valor-chave, o que permite simplificar o processo inicial de tratamento de informação nos dispositivos computacionais instalados nos transportes públicos, bem como no processo de estimação de entradas e saídas [45].

A estrutura adotada para guardar os dados provenientes do sistema autocarro, nomeadamente dos módulos *scanning* Wi-Fi, sensores de infravermelhos, sensores de ultrassons e localização geográfica, encontra-se detalhado nas listagens 4.5, 4.7 e 4.8, pela respetiva ordem.

Listagem 4.5: Estrutura de dados da base de dados central, para os dados provenientes do módulo *Scanning* Wi-Fi.

```
{
  "_id" : ObjectId("5f203b25604f34cb19514ef7"),
  "route" : "738",
  "bus_plate" : "IS-20-TE",
  "door" : "Front",
  "start_datetime" : ISODate("2020-07-22T16:51:00Z"),
  "end_datetime" : ISODate("2020-07-22T16:52:00Z"),
```

```

    "station_mac" : "57a27c2aee6fe20a2b6cfe4a7..",
    "first_seen" : ISODate("2020-07-22T16:51:56Z"),
    "last_seen" : ISODate("2020-07-22T16:51:56Z"),
    "power" : -63,
    "bssid" : "8fba1ccea183d82ebbc09485fc.."
  }

```

Listagem 4.6: Estrutura de dados da base de dados central, para os dados provenientes do módulo sensores de infravermelhos.

```

{
  "_id" : ObjectId("3b2ac1cbafcca0a58798420c"),
  "route" : "738",
  "bus_plate" : "IS-20-TE",
  "door" : "Back",
  "start_datetime" : ISODate("2020-07-20T10:37:00Z"),
  "end_datetime" : ISODate("2020-07-20T10:38:00Z"),
  "data_timestamp" : ISODate("2020-07-20T10:37:00.184Z"),
  "detection" : True
}

```

Listagem 4.7: Estrutura de dados da base de dados central, para os dados provenientes do módulo sensores de ultrassons.

```

{
  "_id" : ObjectId("5f203b26604f34cb19514ef8"),
  "route" : "738",
  "bus_plate" : "IS-20-TE",
  "door" : "Back",
  "start_datetime" : ISODate("2020-07-16T18:42:00Z"),
  "end_datetime" : ISODate("2020-07-16T18:43:00Z"),
  "data_timestamp" : ISODate("2020-07-16T18:42:00.364Z"),
  "distance" : 38.83
}

```

Listagem 4.8: Estrutura de dados da base de dados central, para os dados provenientes do módulo localização geográfica.

```
{
  "_id" : ObjectId("5f203b27604f34cb19517a4b"),
  "route" : "738",
  "bus_plate" : "IS-20-TE",
  "door" : "Front",
  "start_datetime" : ISODate("2020-07-23T17:36:00Z"),
  "end_datetime" : ISODate("2020-07-23T17:37:01Z"),
  "coordinates_timestamp" : ISODate("2020-07-23T17:35:37Z"),
  "latitude_LLH" : 38.76935073333333,
  "longitude_LLH" : -9.166926483333333,
  "altitude_LLH" : 190,
  "x_axis": 4915.952,
  "y_axis": -793.299,
  "z_axis": 3972.505,
  "speed_kmh" : 0
}
```

4.3.2 Sistema de estimação

O sistema de contagem de passageiros tem como objetivo estimar o número de entradas e saídas através das tecnologias propostas, e caso o operador providencie dados, utilizar o erro relativo para aperfeiçoar os resultados.

No que diz respeito aos dados provenientes das tecnologias de sensorização, apenas são considerados aqueles cujo instante de tempo seja coincidente com os momentos em que o veículo se situe próximo de uma paragem e no estado imóvel. Já para os dados proveniente do sistema de *scanning*, são contabilizados todos, uma vez que a contagem de dispositivos móveis é realizada pela identificação do mesmo dispositivo em pelo menos duas paragens consecutivas ou desfasadas.

Após a contagem individual, os dados provenientes de ambos os sensores são posteriormente agregados, utilizando o instante de tempo em que a passagem de um utilizador é identificada. Esta junção dos dados permite reconhecer falsos positivos, dado que a passagem de um utilizador terá que ser identificada tanto pelos sensores de ultrassons como pelos sensores de infravermelhos. Esta estimativa é ainda auxiliada pelo número total dispositivos móveis identificados entre as duas paragens adjacentes.

O cálculo da afluência dos utilizadores nos transportes públicos tem ainda em consideração as esti-

mativas dos dias anteriores, para o mesmo percurso e horário, bem como o erro obtido nessas mesmas estimativas, calculado com recurso aos dados provenientes do operador, caso este os disponibilize.

Na figura 4.9 encontra-se representado este sistema, o qual deverá evoluir para um sistema de aprendizagem automática com recurso a algoritmos e técnicas de *machine learning*.

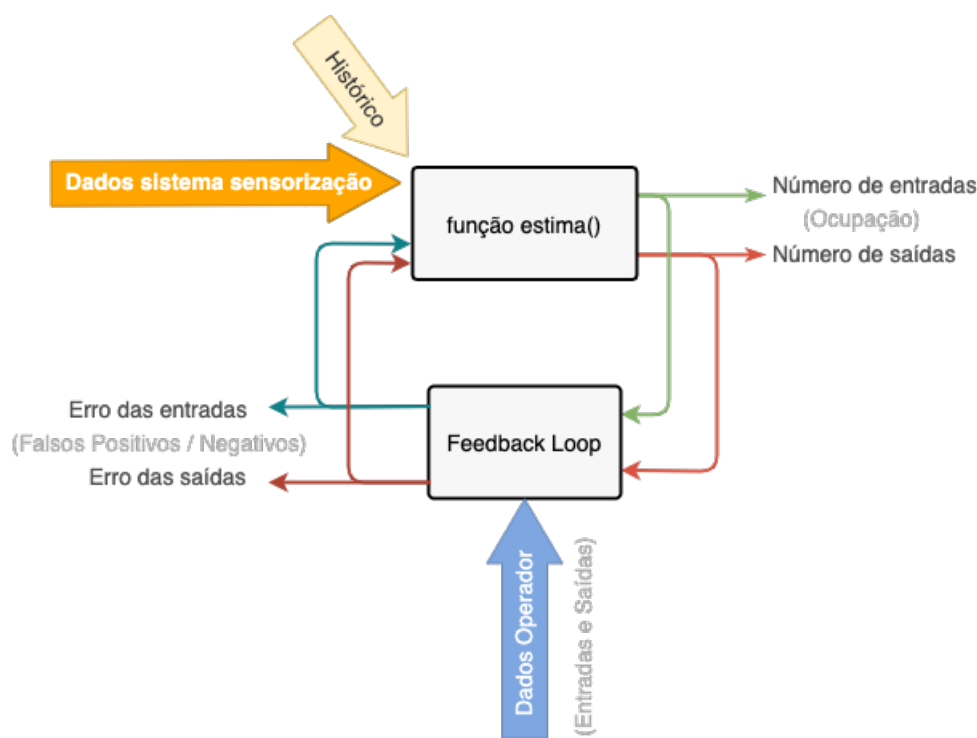


Figura 4.9: Processo de estimação de entradas e saídas.

4.3.3 Página web

Esta componente tem como objetivo providenciar uma interface intuitiva e de fácil utilização para apresentar, de um modo agregado, as medições efetuadas pelos diversos módulos do sistema de sensorização.

A página *web*, ilustrada na figura 4.10, possui diversos elementos ilustrativos, dos quais se destacam:

Formulários em formato de lista – De modo a escolher a carreira, sentido e horário de partida do veículo.

Formulário em formato de calendário – A fim de seleccionar a data referente à qual os dados serão apresentados.

Mapa – Elemento ilustrativo com o intuito de apresentar a lotação e variação de entradas e saídas ao longo do percurso.

Tabela – Elemento para identificar as paragens bem como a afluência de passageiros.

Gráfico – Elemento gráfico ilustrativo da tabela, com o objetivo de apresentar os dados de um modo mais elegível.

Cartão – Utilizado para apresentar valores estatísticos.

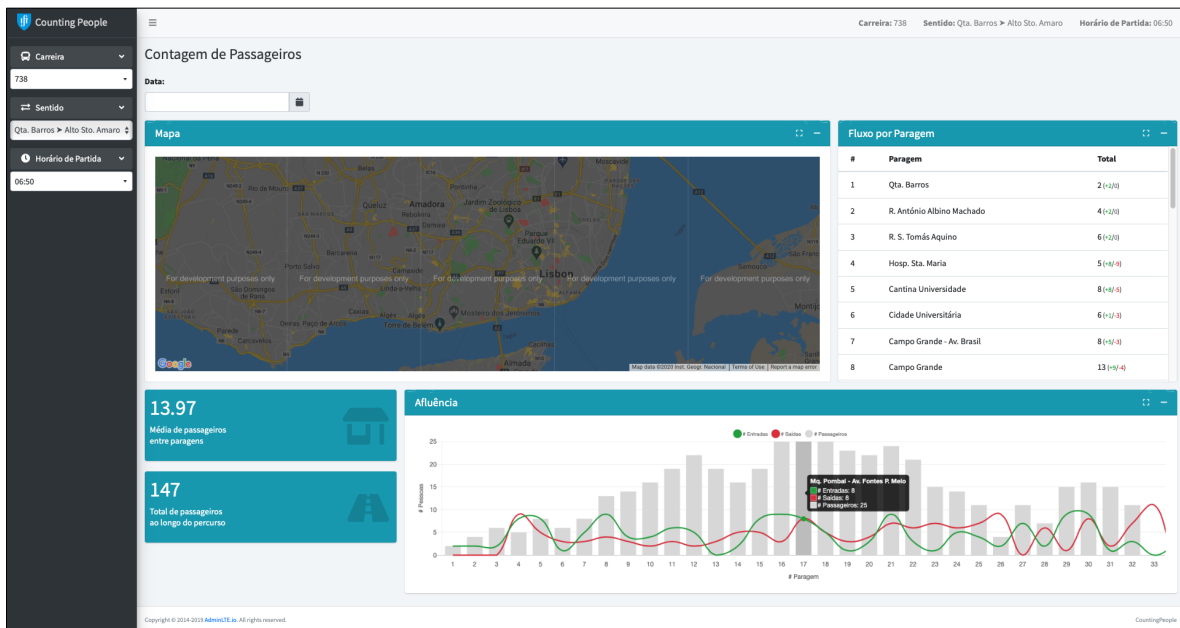


Figura 4.10: Página web do sistema proposto.

Estes elementos visuais podem ser adaptados às necessidades do operador de transporte público, nomeadamente na utilização de grafismos mais complexos para apresentar a afluência dos veículos de um modo mais granular, podendo ser feitas comparações com outras datas à escolha, bem como apresentar as contagens individuais e respetiva precisão dos diversos meios de sensorização.

5

Implementação Técnica

Conteúdo

5.1	Visão geral do sistema	53
5.2	Componente autocarro	55
5.3	Componente central	63
5.4	Limitações	65

O presente capítulo tem como objetivo descrever de um modo geral o sistema proposto para contagem de passageiros em transportes públicos, bem como detalhar a implementação técnica das componentes constituintes, nomeadamente a componente autocarro, encarregue por adquirir os dados referentes aos módulos de sensorização, e a componente central, responsável não só pelo tratamento dos mesmos, como pela apresentação das estimativas calculadas.

5.1 Visão geral do sistema

O corrente sub-capítulo tem como propósito apresentar, de um modo geral, o protótipo funcional do sistema idealizado. Apesar de não ter sido possível implementar tecnicamente a componente autocarro num veículo real, devido à falta de condições e oportunidades tendo em conta a situação atual imposta pelo vírus, a componente central ficou devidamente implementada e operacional.

Componente autocarro

O dispositivo computacional escolhido para implementar o protótipo funcional da componente autocarro foi o Raspberry Pi 3 Model B+, dado que permite uma fácil integração com todos módulos de sensorização e comunicação, bem como com a base de dados local. Apesar de se ter optado por um modelo mais capaz a nível de desempenho e de funcionalidades, qualquer um desempenha corretamente a sua função. No entanto, são recomendáveis aqueles que possuem processadores com diversos núcleos, a fim de se poder fazer uma separação eficiente das tarefas, assim como os dispositivos que possuem uma placa de rede integrada. Caso não seja possível cumprir com esta última característica, e desde que o dispositivo possua portas *Universal Serial Bus* (USB) disponíveis, poderá ser utilizada uma placa de rede móvel.

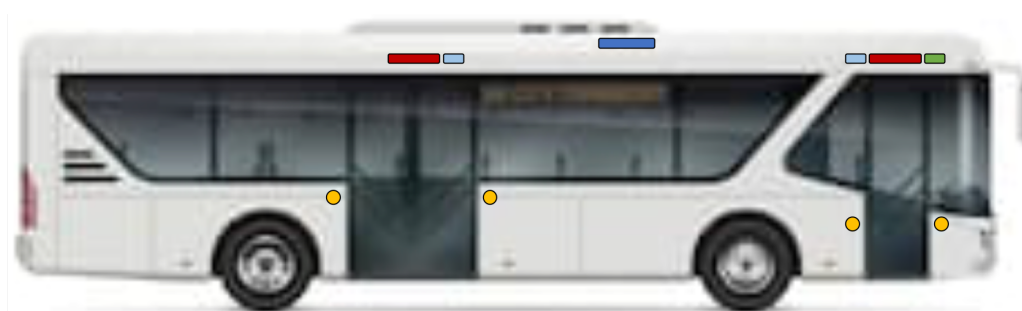
No que diz respeito ao número de dispositivos, foi estabelecido um para cada porta, de maneira a diminuir a complexidade associada à componente técnica, bem como física – ligação dos sensores aos respetivos Raspberry Pies. Quanto à posição destes, o local mais indicado é sobre as portas para, não só facilitar a integração dos sensores, como para possibilitar a identificação de entradas e saídas de dispositivos móveis através do módulo de *scanning*, dado que a potência de sinal tem o seu valor mais significativo neste local – método semelhante ao do sistema descrito em [46] para estimar o tempo das filas de espera num estabelecimento de atendimento ao público.

Em termos de sensorização, são utilizados os seguintes elementos:

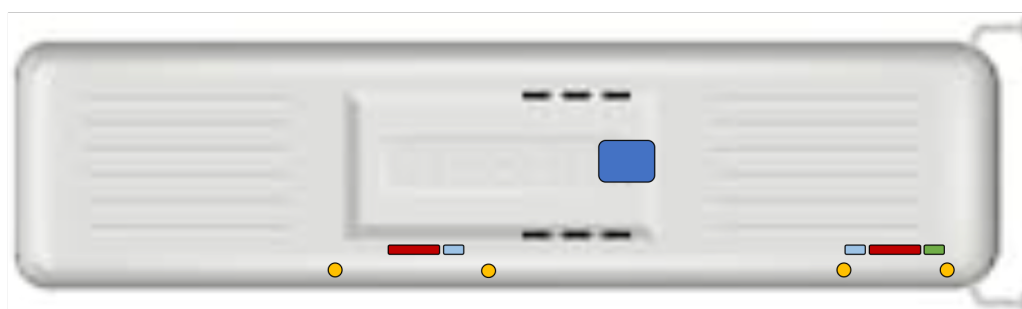
- 1x Sensor de ultrassons, colocado sobre cada porta.
- 1x Par de emissores e recetores infravermelhos, colocado nas laterais de cada porta.

- 1x Módulo Wi-Fi, por dispositivo computacional, tanto para o *scanning* de dispositivos móveis, como para o envio de dados para a componente central.
- 1x Módulo GPS, para obter a localização do veículo e respetivo estado (em circulação ou parado). Este módulo apenas necessita de estar conectado a um dos dispositivos computacionais.

Na figura 5.1 pode visualizar-se a disposição dos elementos essenciais à contagem de passageiros num autocarro, para o sistema proposto.



(a) Vista lateral.



(b) Vista de topo.



Figura 5.1: Disposição do módulos da componente autocarro.

Para a gestão de todos os módulos inerentes a esta componente, foi escolhida a linguagem de programação Python, pela diversificidade de bibliotecas capazes de auxiliar não só na parte sensorial (aquisição dos dados), bem como no armazenamento local de toda a informação adquirida, e na comunicação com a componente central.

Componente central

Em termos de *hardware* da componente central, foi utilizada uma *Network Attached Storage* (NAS), localizada numa *Local Area Network* (LAN) doméstica, e acessível através do endereço público do *router* providenciado pelo fornecedor de acesso à Internet contratualizado, por meio de políticas de encaminhamento de portas. Este dispositivo tem como propósito receber e guardar toda a informação proveniente da componente autocarro, a fim de poder realizar posteriormente a estimação de entradas e saídas registadas ao longo do percurso dos veículos, tal como de hospedar o *website* para apresentar as estimativas calculadas pelo sistema.

A implementação dos módulos nesta componente foi realizada por meio de ambientes virtuais, pelo facto de existir apenas um dispositivo computacional, NAS, para correr as tarefas inerentes aos diferentes módulos.

Tal como na componente autocarro, foi utilizada a linguagem de programação Python dada a simplicidade e facilidade de interligar todos os módulos, nomeadamente na análise dos dados registados na base de dados central, na estimação do número de entradas e saídas dos veículos, e no envio para o *website* os respetivos valores. No que diz respeito a este último módulo, *website*, foram utilizadas linguagens de programação *front-end*, nomeadamente Javascript, CSS e HTML5, para a elaboração do aspecto gráfico e respetiva interação com o utilizador.

Na figura 5.2 pode visualizar-se os elementos constituintes da componente central.

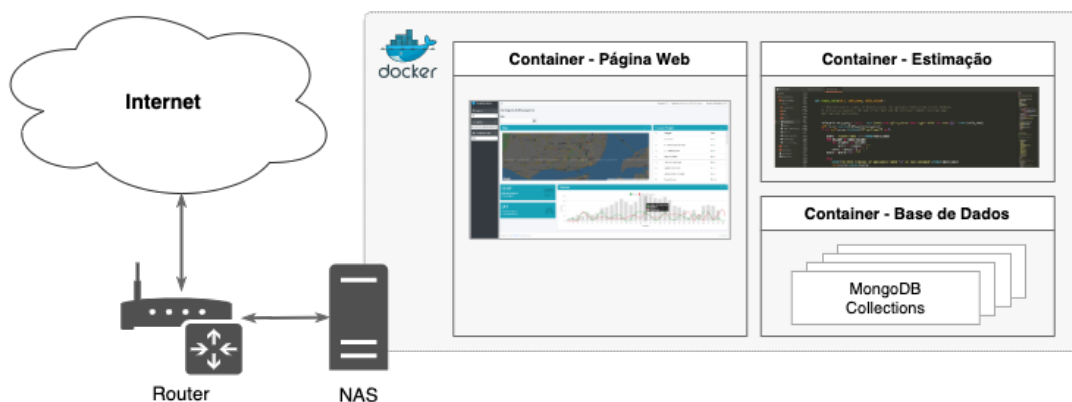


Figura 5.2: Módulos constituintes da componente central.

5.2 Componente autocarro

Como referido em 4.2, a componente autocarro tem como função detetar utilizadores nos autocarros, bem como adquirir todos os dados relevantes para relacionar a entrada e saída dos mesmos, com os locais destinadas para o efeito. Como tal, neste sub-capítulo é descrito individualmente como foi realizada a implementação de cada um dos módulos.

No que concerne ao equipamento necessário para a realização desta componente, os diferentes módulos partilham o seguinte material:

- **Raspberry Pi 3 Model B+** – Computador de pequenas dimensões, com processador *quad-core* de 64-bits a 1.4 GHz, e memória RAM de 1 Gibabyte;
- **Raspberry Pi Power Supply** – Fonte de alimentação do Raspberry Pi 3 Model B+, utilizada apenas para fins de teste;

5.2.1 Interligação entre os módulos

Para integrar os diferentes módulos no sistema, recorreu-se à implementação de duas técnicas de processamento, *multithreading* [47] e *multiprocessing* [48], que derivam dos termos *thread* e *process*, respetivamente, e cujas definições são as seguintes:

Process – Instância de um programa computacional que é executada pelo sistema operativo. Cada instância tem o seu espaço de memória, querendo isto dizer que corre de forma independente bem como é isolada das restantes. Em dispositivos computacionais com mais do que um *Central Processing Unit* (CPU), os processos são divididos de maneira a poderem correr em simultâneo – paralelismo [49].

Thread – Unidade de execução de um processo, que utiliza a memória e os recursos por este alocados. Um processo pode ter mais do que uma *thread* a correr (quase) em simultâneo, através da alocação de períodos de tempo para cada uma – concorrência [49].

Na componente autocarro, estas técnicas são providenciadas pelas bibliotecas Python *multiprocessing* e *threading*, respetivamente, e têm como objetivo maximizar o desempenho do sistema, mantendo em separado não só o espaço de memória destinado a cada um dos módulos de sensorização (*scanning* Wi-fi, sensores de ultrassons, sensores de infravermelhos, localização geográfica e comunicação remota), bem como os diferentes ciclos de aquisição e armazenamento local dos dados. Contudo, as melhorias de desempenho apenas são notórias em dispositivos computacionais com mais do que um CPU, uma vez que é possível dividir os módulos pelas diferentes unidades de processamento.

Relativamente à sua implementação, foi criada uma classe com os seguintes atributos: (1) identificador do módulo; (2) fila *First In First Out* (FIFO) para tarefas pendentes; (3) instância encarregue de executar as tarefas pendentes, em *threads* individuais, a fim de separar a execução dos diferentes módulos. As tarefas de aquisição e tratamento dos dados são adicionadas à respetiva fila FIFO periodicamente através da biblioteca de Python *schedule*, a qual permite agendar a execução de funções com recurso ao relógio do dispositivo [50].

Deste modo, e uma vez que se pretende salvaguardar a aquisição dos dados provenientes dos

diferentes módulos aquando de falhas no sistema, foi definido um período de 5 minutos para a aquisição dos dados, sendo estes guardados na base de dados local após este intervalo de tempo.

5.2.2 Detecção de dispositivos móveis – scanning Wi-Fi

A deteção de dispositivos terminais num autocarro é realizada através da técnica *scanning*. O processo, referido em 3.1.1, consiste na captura e análise de pacotes circulantes no meio de acesso, com o intuito de identificar o *MAC address* associado à placa de rede dos dispositivos, e registar uma *hash* da concatenação deste identificador com uma chave privada, a fim de garantir o anonimato dos utilizadores.

Material necessário

Para detetar dispositivos terminais através da técnica de *scanning*, é essencial que a placa de rede utilizada para o efeito possua funcionalidades de monitorização. Contudo, e uma vez que o dispositivo utilizado não tem esta funcionalidade pré-definida, foi necessário alterar o *kernel*, componente do sistema operativo que interliga a camada de *hardware* com a camada de *software* [51, 52]. Com esta modificação, o modo de monitorização fica habilitado no entanto, a comunicação fica inoperante.

Em alternativa a esta solução, é possível utilizar uma placa de rede externa com funcionalidades de monitorização, no entanto esta alternativa encarece o custo total do sistema, bem como pode condicionar a utilização de outros módulos que necessitem de portas *USB*, como o caso do módulo de localização geográfica, caso o dispositivo não possua entradas suficientes.

Funcionamento

De modo a iniciar o processo de *scanning*, é necessário colocar a interface rede do dispositivo em modo de monitorização. Esta etapa é realizada através da ferramenta *airmon-ng* [53], que recebe como parâmetro o nome da interface, obtido automaticamente pelo sistema através do módulo criado em Python e do endereço *MAC* da mesma. Porém, para que o modo de monitorização funcione corretamente, é necessário terminar os processos que possam causar problemas, igualmente através da ferramenta *airmon-ng*.

A etapa seguinte consiste em iniciar um processo que captura e análise de tramas 802.11, com recurso à ferramenta *airodump-ng* [29]. Esta ferramenta recebe como parâmetros o nome e formato do ficheiro (*CSV*) para qual o *output* é redirecionado, o intervalo de escrita no ficheiro, bem como o nome da interface utilizada para o efeito.

A seleção dos dados mais relevantes é realizada posteriormente após o início de um novo processo de aquisição de dados, e consiste em analisar o ficheiro *CSV* previamente criado. Após a análise, os dados são armazenados na base de dados local e o ficheiro apagado, com o objetivo de assegurar

a privacidade dos utilizadores. O sincronismo no acesso às variáveis partilhadas não só pelos dois processos de *scanning*, a correr respetivamente na *thread N* e *thread N+1* como indicado na figura 4.3, bem como no acesso à base de dados local, é garantido por meio de *locks* [48].

5.2.3 Deteção de entradas/saídas – sensores de ultrassons

O sensor de ultrassons escolhido para o desenvolvimento da presente dissertação, HC-SR04, possui dois transdutores, um com o objetivo de transmitir ondas HF, e outro com o intuito receber as ondas refletidas pelas pessoas e/ou objetos. É ainda constituído por quatro pinos: (1) 5 V *Power Supply* (VCC), utilizado para alimentar o sensor; (2) *Ground* (GND); (3) *Trigger*, utilizado para desencadear a emissão da onda; e (5) *Echo*, utilizado para indicar o tempo de viagem da onda transmitida.

O processo de medição, detalhado na figura 5.3 é composto por três fases [54]:

1. O dispositivo computacional (Raspberry Pi) envia um pulso de pelo menos 10 μs , para o *pin Trigger*, de modo a ativar a transmissão da onda HF;
2. Em resposta ao pulso de 10 μs , o sensor transmite oito pulsos a uma frequência de 40 *kHz*. Esta assinatura permite ao módulo recetor distinguir a onda refletida do ruído de fundo;
3. Após o envio dos oito pulsos, o *pin Echo* do sensor passa ao estado *High*, mantendo-se assim até o sensor receber a onda refletida, ou até passar um *timeout* de 60 *ms*.

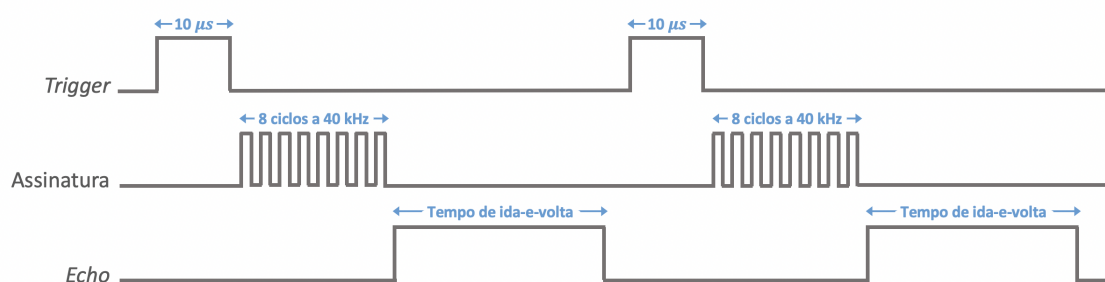


Figura 5.3: Diagrama temporal do processo de emissão de sinais do módulo sensores de ultrassons.

Após receção da onda refletida, o dispositivo computacional calcula a distância ao ponto de reflexão através da fórmula 5.1, em que d é a distância entre o sensor e o objeto/pessoa, v é a velocidade do som (343 *ms* ou 0.0343 *cm/μs*)¹, e t o tempo de propagação do sinal, num único sentido.

$$v = \frac{d}{t} \quad (5.1)$$

¹Em condições normais de propagação.

Em associação a estes dados, é também recolhido o instante temporal em que as medições são realizadas, a fim de correlacionar posteriormente com os outros módulos de sensorização.

Material utilizado

Para a realização deste módulo de sensorização, foram necessários os seguintes materiais:

- **Sensor HC-SR04** – Sensor de ultrassons utilizado para identificar a passagem de pessoas;
- **Resistências** – Resistência de $1\text{ k}\Omega$ e resistência de $2\text{ k}\Omega$, ligadas em série, a fim de evitar que os pinos *General-Purpose Input/Output* (GPIO) do Raspberry Pi se danifiquem, uma vez que estes suportam uma voltagem inferior à utilizada pelo pino *Echo* do sensor.
- **Jumper wires** – Fios utilizados para ligar os diversos componentes deste módulo entre si;
- **Matriz de contacto** – Placa utilizada para ligar o sensor de ultrassons e os componentes eletrónicos necessários ao seu correto funcionamento, ao Raspberry Pi;

O valor das resistências provém da fórmula 5.2, sendo V_{out} a voltagem pretendida ($3.3V$), V_{in} a voltagem de saída do sensor ($5V$), e $R1$ e $R2$ o valor das resistências a utilizar.

$$V_{out} = V_{in} * \frac{R2}{R1 + R2} \quad (5.2)$$

Assumindo que a resistência $R1$ é de $1\text{ k}\Omega$, o valor da resistência $R2$ é de aproximadamente $2\text{ k}\Omega$. Na figura 5.4 pode visualizar-se o esquema de montagem deste módulo.

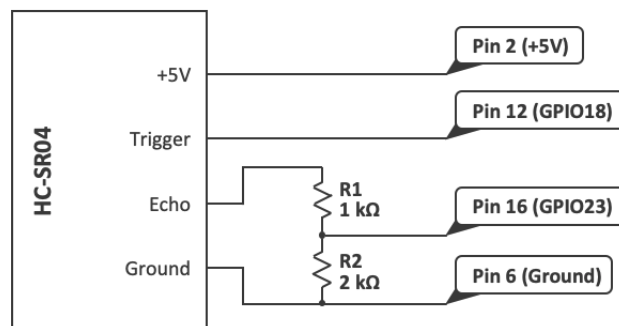


Figura 5.4: Esquema de montagem do sensor de ultrassons.

Funcionamento

Como indicado em 5.2.3, o dispositivo computacional desencadeia o envio de oito pulsos a uma frequência de $40kHz$. A partir deste instante, o dispositivo inicia uma contagem de tempo, a fim de medir a duração que estes oito pulsos demoram a regressar ao sensor.

Este processo, no entanto, serve somente para calcular a distância a uma pessoa/objeto uma única vez, pelo que é necessário criar um ciclo de medição. De modo a garantir a detecção de passagens, tendo em conta as diferentes velocidades que os utilizadores podem tomar, bem como as recomendações feitas na *datasheet* do sensor [54], foi escolhida uma frequência de medição de 60 *ms*, contudo, esta frequência pode estar sujeita a erros de medição, nomeadamente a detecção de ondas provenientes de ciclos anteriores devido à proximidade do sensor a diversas superfícies, como por exemplo vidros ou paredes.

5.2.4 Localização geográfica – GNSS

Os sistemas de localização com recurso a satélites desempenham um papel crucial nesta dissertação. Estes têm como propósito fornecer as coordenadas geográficas do veículo ao longo do seu percurso de modo a se poder correlacionar os dados provenientes dos diferentes módulos. Deste modo, é possível obter estimativas de entradas e saídas por estação, e conseqüentemente avaliar o fluxo de utilizadores ao longo dos percursos efetuados pelos transportes públicos.

Material utilizado

Uma vez que não houve possibilidade de adquirir um recetor GPS compatível com o dispositivo computacional, recorreu-se à utilização de um *smartphone* Android com Bluetooth integrado, e uma aplicação móvel para obter as coordenadas GPS.

Funcionamento

A aquisição das mensagens características dos sistemas GNSS foi realizada mediante uma aplicação móvel para Android e, com recurso à tecnologia de redes sem fios Bluetooth do dispositivo móvel, realizou-se o envio de toda a informação para o dispositivo computacional. Estas mensagens são geralmente atualizadas com uma frequência de 1*Hz*, ou seja, a cada segundo.

Para se proceder com o envio das mensagens em formato NMEA para o dispositivo computacional, é necessário que ambos os dispositivos (Raspberry Pi e *smartphone* Android) se encontrem conectados e, para tal, é essencial saber qual o canal utilizado pela aplicação móvel, bem como o endereço MAC de Bluetooth do dispositivo móvel. O canal é obtido através da ferramenta *sdptool* [55], que retorna uma lista informações respeitantes aos serviços ativos no *smartphone*.

Depois de obtidas as informações necessários, o dispositivo computacional conecta-se ao *smartphone* através da ferramenta *rfcomm* [56], recebendo como parâmetros a interface do dispositivo computacional utilizada para o efeito, o endereço MAC de Bluetooth do dispositivo móvel, e o canal utilizado pela aplicação. Após estabelecida a ligação, os dados de localização ficam acessíveis no Raspberry através da porta série do Bluetooth, permitindo assim a leitura e análise das mensagens NMEA a fim de identificar as coordenadas geográficas e a velocidade do veículo.

5.2.5 Preparação dos dados

Este módulo tem como objetivo efetuar um tratamento inicial das informações recolhidas pelos módulos de sensorização, nomeadamente em filtrar os dados mais relevantes e adaptá-los ao sistema de contagem de passageiros, como por exemplo passar todos os *timestamps* dos dados adquiridos para o formato *datetime*, de maneira a poderem ser tratados e correlacionados devidamente.

Para o caso do módulo de *scanning* Wi-Fi, esta etapa consiste em, ao analisar o ficheiro de *output* do programa *airodump-ng*, obter os campos destacados em 4.1 e, para além de converter os dados para os tipos mais adequados, realizar uma *hash* da concatenação de uma chave privada com o identificador tanto dos dispositivos móveis, como dos pontos de acesso aos quais os dispositivos se encontram associados.

O outro módulo que carece de um tratamento de dados mais pormenorizado é o módulo de localização geográfica. Neste, é efetuada uma filtragem das mensagens NMEA mais relevantes, as quais se encontram indicadas em 4.2.3, e, para cada uma delas, verificada a integridade da mensagem e o indicador de qualidade dos dados, a fim de identificar possíveis erros de transmissão e aquisição, respetivamente. Caso os dados se encontrem válidos, são posteriormente calculadas as coordenadas cartesianas através geodésicas, com o intuito de auxiliar o sistema central na identificação da aproximação do veículo às paragens destinadas para a entrada e saída de passageiros. Esta distância é calculada através da fórmula 5.3, com $P_1(x_1, y_1, z_1)$ e $P_2(x_2, y_2, z_2)$ a serem as coordenadas cartesianas dos dois pontos.

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} \quad (5.3)$$

No que concerne à integridade das mensagens, esta é verificada através da comparação do *checksum* calculado da mensagem, através de um 8-bit *Exclusive OR* (XOR) de todos os caracteres que se situem entre o \$ e * t, com o enviado no final da mesma [57]. Relativamente à aferição das coordenadas cartesianas, são utilizadas as eqs. (5.5) a (5.7) para o cálculo do eixo das abcissas, ordenadas e cotas, respetivamente, onde R_n é o raio da curvatura no eixo vertical principal, calculado através da fórmula 5.4, h a altura acima da elipsóide, ambos em metros, ϕ e λ a latitude e longitude em radianos, respetivamente, e f o achatamento da elipsóide, cujo valor é $1/298.257223563$. Para calcular o valor do raio da curvatura é ainda utilizada a variável a , que representa o valor do semieixo maior da elipsóide, cujo valor é 6378137 metros [57].

$$R_n = \frac{a}{\sqrt{1 - f(2 - f)(\sin \phi)^2}} \quad (5.4)$$

$$x_axis = (R_n + h) \cos \phi \cos \lambda \quad (5.5)$$

$$y_axis = (R_n + h) \cos \phi \sin \lambda \quad (5.6)$$

$$z_axis = ((1 - f)^2 R_n + h) \cos \phi \quad (5.7)$$

Quanto ao módulo sensores de ultrassons, e para cada medição efetuada, apenas é calculada a distância do sensor à superfície oposta através da fórmula 5.1, referida na subsecção 5.2.3.

5.2.6 Base de dados local

A implementação técnica deste módulo foi realizada através da biblioteca *sqlite3* para Python [58], a qual permite criar e gerir uma base de dados local comum a todos os módulos de sensorização. Esta base de dados, presente num ficheiro com extensão *.db* e guardada na diretoria da componente autocarro, viabiliza a transferência manual dos dados adquiridos para outro sistema computacional em caso de falha de comunicação com a componente central.

A conexão a esta base de dados é estabelecida uma única vez, na inicialização do sistema, e gerida pelos módulos de sensorização através do objeto Python inicialmente criado. Os dados são posteriormente inseridos na base de dados por meio de *queries* e com recurso a uma lista de valores, em que cada valor corresponde a uma linha da tabela, ou seja, cada valor é representado por uma lista de dados destinados a cada coluna. De modo a manter o sincronismo no acesso à base de dados local, e uma vez que os ciclos de aquisição de dados nesta fase não interferem uns com os outros, apenas é utilizado um *lock* para garantir a partilha do mesmo objeto pelos diferentes módulos de sensorização.

5.2.7 Comunicação remota

No que concerne à comunicação com a componente central, foi utilizada a biblioteca *pymongo* para Python [59], a qual estabelece uma ligação com a base de dados central através de *sockets* TCP/IP. No mínimo são utilizados dois *sockets*, uma para monitorizar o estado da base de dados central, e outro para gerir as operações a executar, podendo este último ser escalável de acordo com a quantidade de operações.

Para estabelecer esta ligação, são necessários quatro parâmetros: (1) endereço IP do *router* que fornece à componente central conectividade à Internet; (2) porta utilizada pela base de dados; (3) nome de utilizador; e (4) password do mesmo.

Para minimizar o impacto na rede associado à transferência de dados para a componente central, a ligação com a base de dados central apenas é estabelecida na aproximação do autocarro à garagem, nomeadamente quando este se encontra a menos de 100 metros do local de recolha, cujo cálculo é

realizado através da fórmula 5.3 com recurso às coordenadas cartesianas dos dois pontos. Esta aproximação interrompe ainda os módulos sensoriais, através do envio de um sinal de interrupção (SIGINT) pelo módulo de localização geográfica, o qual fica encarregue de averiguar esta aproximação, para a função principal do sistema, interrompendo deste modo qualquer outro módulo em funcionamento, apesar destes não terem relevância neste instante devido ao facto do veículo se encontrar em situação de recolha.

5.3 Componente central

De maneira a centralizar o sistema de contagem de pessoas, tanto para fins de armazenamento dos dados, como para a estimação e apresentação das entradas e saídas nos veículos públicos, recorreu-se à utilização de uma NAS, acessível publicamente, bem como de Docker *containers*, ou seja, ambientes virtualizados a correr sobre o sistema operativo do anfitrião. Esta tecnologia de containerização apresenta diversas vantagens face às *Virtual Machines* (VMs) a nível de desempenho, segurança, redes e armazenamento, como indicado em [60].

5.3.1 Base de dados central

Os dados provenientes da componente sensorial dos diferentes veículos são armazenados numa base de dados não relacional do tipo **MongoDB**, que se encontra a correr num Docker *container*, instalado na NAS. Estes dois elementos, Docker *container* e NAS, encontram-se em duas redes distintas, ligados por uma *bridge* virtual, dispositivo da camada de ligação de dados que encaminha o tráfego entre diferentes segmentos de rede. Relativamente aos dados, estes são armazenados numa diretoria da NAS, através do mapeamento de volumes.

A fim de serem atualizados apenas os dados mais recentes, é utilizada a tabela *Remote_DB* da base de dados local, apresentada na figura 4.7, cuja função é guardar o identificador das últimas linhas a serem enviadas para a base de dados remota. Deste modo, sempre que se proceder à atualização de novos dados, apenas são adquiridos da base de dados local aqueles cujo identificador é posterior ao guardado na tabela *Remote_DB*.

No fim de adquiridos, procede-se à transferência destes para a base de dados remota, sucedendo-se no final a atualização da tabela *Remote_DB* com o identificador da linha do último valor a ser enviado. Os dados são enviados por meio *queries* e, tal como no módulo de base de dados local, são enviados em forma de lista, em que cada valor corresponde a uma linha.

5.3.2 Sistema de estimação

Para a elaboração do sistema de estimação utilizou-se novamente a *NAS* e um *Docker container*, a fim de se poder realizar a estimação de entradas e saídas de utilizadores dos veículos após o envio dos dados por parte da componente autocarro. Para a realização desta análise recorreu-se à utilização de *change streams*, uma funcionalidade da base de dados MongoDB que permite realizar tarefas quando ocorrem alterações na base de dados central, nomeadamente a adição de novos dados. Deste modo, sempre que o módulo de comunicação remota de um veículo envia os dados adquiridos para a base de dados central, uma nova tarefa é iniciada automaticamente com o objetivo de analisar estes dados e consequentemente estimar as entradas e saídas de pessoas ao longo do tempo de serviço do veículo.

Uma vez que a base de dados central é partilhada por diversos veículos, é adicionado a cada mensagem um campo adicional cujo objetivo é dar indicação ao sistema central que não receberá novas mensagens, de modo a se poder iniciar o tratamento dos dados. O sistema central calcula ainda o intervalo de tempo que cobre todos os dados de sensorização provenientes de um único veículo e porta, a fim de calcular as estimativas somente para estes instantes de tempo.

Após calculado o instante de tempo preponderante à realização das estimativas, o sistema vai buscar à base de dados central todos os dados existentes relativos a este período, procedendo-se a análise dos mesmos. No processo de análise começa-se por identificar os períodos de tempo em que o autocarro se encontrou imóvel e próximo a uma paragem destinada para a entrada e saída de passageiros, num raio máximo de 15 metros. Com esta informação, é possível restringir a quantidade de dados sensoriais e consequentemente identificar a passagem de pessoas sob as portas. Já a estimação com recurso ao *scanning* Wi-Fi é realizado com os dados obtidos ao longo de todo percurso do veículo, pelo que é necessário conhecer o primeiro e último instante de tempo em que um determinado dispositivo móvel foi identificado, bem como a potência de sinal registada.

Uma vez que não foi possível correlacionar os dados adquiridos pelos diferentes módulos, devido às limitações causadas pela pandemia COVID-19, apenas é descrito o processo estimação de entradas e saídas de utilizadores com recurso aos sensores de ultrassons.

Sensores de ultrassons

Para contabilizar a passagem de utilizadores sob as portas do veículo num determinado intervalo de tempo, é realizada uma filtragem inicial dos dados, excluindo-se todos os valores cujas medições se situem entre a altura da porta menos 120cm (exemplo: 200cm - 120cm = 80cm) e os 800cm. A primeira medida foi escolhida de maneira a que o sistema conseguisse contabilizar a passagem de crianças com mais ou menos 12 anos de idade, já a segunda foi definida como um limite indicativo para a passagem de pessoas, uma vez que a onda pode ser refletida numa direção contrária à dos sensores, devido à fisionomia das humanos, levando a que esta não seja detetada e consequentemente à medição de

valores relativamente altos para o tempo de viagem da onda.

Depois da filtragem inicial, é calculada a diferença de tempo entre duas medições consecutivas que, para ser considerada uma passagem, o valor tem que ser abaixo de 1 segundo. O número de entradas ou saídas é posteriormente incrementada após o próximo valor cuja diferença para o anterior é superior a 1 segundo. Esta diferença teve como base um conjunto de medições realizadas aquando do teste do funcionamento do sensor, contudo deve ser ajustado às condições de implementação para melhorar o desempenho do sistema.

5.3.3 Página web

Depois de estimadas as entradas e saídas do veículo, a entidade responsável pelo transporte público pode visualizar os dados adquiridos e calculados através de uma página *web*. Esta é composta por diversos elementos, identificados no capítulo anterior em 4.3.3, e têm como propósito apresentar uma estimativa para a afluência dos transportes ao longo do seu percurso.

A integração da página *web* com a base de dados central foi realizada através da *web framework* para Python, *Flask* [61], a qual permite enviar os dados armazenados na base de dados para a página *web*, em formato JSON, a fim de se proceder à construção dos elementos ilustrativos através dos parâmetros selecionados pelo utilizador, nomeadamente na carreira, sentido do percurso e horário de partida do veículo. A alteração destes parâmetros, realizada por meio de formulários, desencadeia automaticamente a aquisição de novos dados e conseqüentemente a atualização destes elementos ilustrativos. Contudo, na presente dissertação os valores presentes na página *web* são meramente ilustrativos, dado que não foi possível integrar o sistema num ambiente real.

Relativamente ao alojamento da página *web*, foi utilizado o armazenamento local da NAS, bem como um Docker *container* onde se encontra a correr a *framework* Flask, de modo a que a interação do utilizador com a página ocorra de forma fluída. Tal como acontece na componente de base de dados central, estes dois elementos, NAS e Docker *container*, encontram-se em duas redes distintas, ligados por uma *bridge* virtual. Já o acesso à página é realizado através do url <https://dissertacao.joaocarlos95.synology.me>².

5.4 Limitações

Uma vez que a implementação do sistema proposto ocorreu num período com diversas restrições, devido à evolução do número de casos de infeção pela doença COVID-19, não foi possível realizar a integração num veículo. Em adição a esta limitação, também não foi possível adquirir o sensor de

²Acessível através do Google Chrome.

infravermelhos, restringindo a implementação da parte sensorial apenas aos sensores de ultrassons e ao *scanning* de dispositivos sem fios através da tecnologia Wi-Fi.

Apesar destas limitações, a componente autocarro ficou arquitecturada para incorporar módulos adicionais sem qualquer esforço. Os dados adquiridos pelas componentes desenvolvidas permitiram ainda detetar dispositivos móveis nas imediações, realizar medições através dos sensores de ultrassons, obter as coordenadas geográficas e velocidade do veículo, bem como guardar localmente os dados e enviá-los para a base de dados central através da aproximação do transporte público ao seu local de recolha.

No que concerne à componente central, esta ficou igualmente operacional, dado que recebe os dados provenientes da componente autocarro e os guarda na base de dados central, bem como inicia automaticamente o processo de estimação de entradas e saídas. Contudo, este processo não ficou devidamente implementado, tendo ficado restrito à identificação de dispositivos móveis durante um determinado período de tempo, faltando correlacionar com a localização do veículo, e à estimação de passagens sob as portas apenas com recurso aos dados provenientes dos sensores de ultrassons, uma vez que a implementação dos infravermelhos não foi possível de realizar. Já a página *web* ficou parcialmente implementada, ficando apenas a faltar a integração com as estimativas calculadas e guardadas na base de dados central.

6

Testes e resultados

Conteúdo

6.1 Testes unitários	69
6.2 Testes de integração	76
6.3 Síntese final	78

O sexto e penúltimo capítulo desta dissertação visa avaliar o desempenho do sistema desenvolvido através de um conjunto de testes unitários e de integração.

Devido às limitações apresentadas na subsecção 5.4, os testes foram realizados num ambiente simulado e somente para os módulos que ficaram devidamente implementados. Foi ainda considerado que a entrada e saída de passageiros é realizada sempre em portas distintas do veículo, não sendo feita qualquer distinção entre o sentido tomado pelas pessoas na passagem sob uma porta.

6.1 Testes unitários

Os testes unitários têm como objetivo testar individualmente cada módulo do sistema, uma vez que é nestes que se encontra a “base” para a estimação de entradas e saídas de utilizadores nos transportes públicos. Este tipo de testes incidiu somente em três módulos da componente autocarro, nomeadamente no *scanning* Wi-Fi, sensores de ultrassons e no módulo de localização geográfica.

6.1.1 Detecção de dispositivos móveis – scanning Wi-Fi

Os testes unitários ao módulo *scanning* Wi-Fi têm não só o propósito de verificar a capacidade do sistema para identificar a presença de um determinado dispositivo móvel ao longo do percurso do veículo, mesmo que este não se encontre associado ao AP ou se desconecte do mesmo no decorrer do trajeto, registando o primeiro e último instante de tempo em que ficou visível, como também de verificar a aptidão para reconhecer a proximidade do dispositivo móvel ao AP, através da potência de sinal registada. Deste modo, foram pensados os seguintes testes:

Teste #1: Ligar a placa de rede do dispositivo durante 5 minutos, sem associar o dispositivo ao AP.

Teste #2: Ligar a placa de rede do dispositivo durante 5 minutos, associando-o à rede no início, desassociando-o passados 2 minutos e reassociando-o novamente aos 4 minutos.

Teste #3: Ligar a placa de rede do dispositivo durante 5 minutos, associando-o à rede.

Teste #4: Com a placa de rede do dispositivo ligada e este não estando associado à rede, efetuar uma passagem a cerca de 2 metros de distância, do Raspberry.

Teste #5: Com a placa de rede do dispositivo ligada e este estando associado à rede, efetuar uma passagem a cerca de 2 metros de distância, do Raspberry.

Para a realização deste conjunto de testes, foi omitido parcialmente o endereço MAC, não só dos dispositivos móveis detetados, como dos APs. O *smartphone* utilizado nestes testes, com o endereço MAC "D8:CE:3A:8A:XX:XX", foi ainda colocado próximo do AP a fim de ser facilmente distinguido dos restantes, uma vez que a potência de sinal registada é superior neste cenário.

O primeiro dos cinco testes descritos, não foi bem sucedido pelo facto do dispositivo gerar um endereço MAC aleatoriamente, com alguma frequência, quando não se encontra associado a um AP. Esta medida de segurança, que se encontra mais presente nos *smartphones* recentes, torna a identificação de dispositivos e consequentemente o seu rastreamento mais difícil. Na figura 6.1 podemos verificar a mudança do endereço MAC por parte do dispositivo, o qual se destaca dos outros pela valor mais elevado do indicador da potência de sinal.

```

~/Desktop • 100%
→ python3 manage_scanning_data.py ScanningTeste1.txt
-----
| Dispositivo          | Intervalo de tempo (Δt) | Power | BSSID
-----
[ ] | 48:A6:B8:AB:XX:XX   | 20:33:00 -> 20:35:48 (168s) | -72 | 84:94:8C:F6:XX:XX
[ ] | A6:2A:7E:E4:XX:XX   | 20:33:53 -> 20:33:55 (2s)   | -68 | 00:06:91:CC:XX:XX
[ ] | E4:7D:BD:AA:XX:XX   | 20:33:11 -> 20:36:56 (225s) | -68 | None
[ ] | 16:F4:2D:96:XX:XX   | 20:33:21 -> 20:33:22 (1s)   | -44 | None
[X] | DE:78:5A:D9:XX:XX   | 20:33:34 -> 20:33:35 (1s)   | -28 | None
[ ] | BC:A5:8B:C9:XX:XX   | 20:34:00 -> 20:34:13 (13s)  | -72 | CC:19:A8:4D:XX:XX
[ ] | 30:07:4D:2B:XX:XX   | 20:34:37 -> 20:34:39 (2s)   | -68 | None
[ ] | B2:FF:09:63:XX:XX   | 20:34:08 -> 20:34:09 (1s)   | -56 | None
[X] | 02:D3:3E:11:XX:XX   | 20:34:24 -> 20:34:25 (1s)   | -28 | None
[ ] | F0:E4:A2:14:XX:XX   | 20:35:40 -> 20:36:40 (60s)  | -72 | 44:34:A7:2B:XX:XX
[ ] | 48:A6:B8:1B:XX:XX   | 20:35:30 -> 20:36:00 (30s)   | -72 | 00:26:5B:8A:XX:XX
[ ] | 52:BE:D0:EE:XX:XX   | 20:35:02 -> 20:35:53 (51s)  | -62 | CC:19:A8:01:XX:XX
[ ] | 60:23:A4:C4:XX:XX   | 20:36:12 -> 20:36:48 (32s)  | -62 | A4:91:B1:F0:XX:XX
-----
~/Desktop • 100%
→

```

Figura 6.1: Resultados dos testes unitários #1 e #4 do módulo *scanning* Wi-Fi.

O segundo teste realizado demonstrou que o sistema é capaz de reconhecer a presença de um dispositivo móvel, mesmo que este tenha períodos de desassociação. No entanto, o resultado apresentado na figura 6.2 demonstra que não foi capaz de identificar a associação à rede, dado que no *output* não aparece nenhum *Basic Service Set Identifier* (BSSID), ou seja, endereço MAC do ponto de acesso, demonstrando assim alguma incoerência nos resultados e consequentemente reduzindo a confiança na ferramenta utilizada.

O terceiro teste deste módulo conseguiu comprovar que o sistema é capaz de rastrear um dispositivo móvel ao longo do percurso do veículo, desde que este permaneça associado à rede sem fios do autocarro. Na figura 6.3 é possível verificar o tempo desde que o dispositivo foi detetado pela primeira até à última vez, perfazendo num total aproximadamente 5 minutos, tal como referido na descrição do teste.

O sucesso do quarto e quinto teste pode ser facilmente conferido com o resultado do primeiro e terceiro teste, figuras 6.1 e 6.3 respetivamente, onde é evidente a diferença da potência de sinal do dispositivo móvel utilizado, em relação aos restantes que foram detetados. Em ambos os cenários, tanto com o dispositivo associado ao AP, como desassociado, o sistema foi capaz de identificar corretamente

```

~/Desktop • 100%
→ python3 manage_scanning_data.py ScanningTeste2.txt

  | Dispositivo          | Intervalo de tempo (Δt)          | Power | BSSID
-----|-----|-----|-----|-----
[ ] | EC:9C:32:84:XX:XX    | 23:18:41 -> 23:21:41 (180s)    | -78   | 9C:52:F8:5A:XX:XX
[X] | D8:CE:3A:8A:XX:XX    | 23:18:06 -> 23:22:46 (280s)    | -64   | None

~/Desktop • 100%
→

```

Figura 6.2: Resultados do teste unitário #2 do módulo *scanning* Wi-Fi.

```

~/Desktop • 100%
→ python3 manage_scanning_data.py ScanningTeste3.txt

  | Dispositivo          | Intervalo de tempo (Δt)          | Power | BSSID
-----|-----|-----|-----|-----
[ ] | 22:95:5E:C5:XX:XX    | 20:15:05 -> 20:16:29 (84s)     | -52   | 00:25:00:FF:XX:XX
[ ] | 60:23:A4:C4:XX:XX    | 20:15:05 -> 20:19:24 (259s)    | -64   | A4:91:B1:F0:XX:XX
[ ] | 84:D1:5A:8B:XX:XX    | 20:15:12 -> 20:18:30 (198s)    | -64   | CC:19:A8:25:XX:XX
[ ] | F0:E4:A2:14:XX:XX    | 20:15:22 -> 20:15:45 (23s)     | -58   | 44:34:A7:2B:XX:XX
[ ] | DA:A1:19:0A:XX:XX    | 20:15:39 -> 20:15:46 (7s)      | -58   | None
[X] | D8:CE:3A:8A:XX:XX    | 20:15:00 -> 20:19:52 (292s)    | -34   | 9C:52:F8:5A:XX:XX
[ ] | 5C:51:81:9A:XX:XX    | 20:16:11 -> 20:16:29 (18s)     | -68   | A6:91:B1:F0:XX:XX
[ ] | EC:9C:32:84:XX:XX    | 20:16:10 -> 20:18:47 (157s)    | -62   | 9C:52:F8:5A:XX:XX
[ ] | 78:4F:43:54:XX:XX    | 20:16:27 -> 20:16:28 (1s)      | -28   | None
[ ] | 04:B1:67:65:XX:XX    | 20:17:05 -> 20:17:58 (53s)     | -72   | 4C:F9:5D:8A:XX:XX
[ ] | 52:BE:D0:EE:XX:XX    | 20:17:36 -> 20:17:44 (8s)      | -64   | CC:19:A8:01:XX:XX
[ ] | 48:A6:B8:AB:XX:XX    | 20:18:42 -> 20:19:48 (66s)     | -72   | 84:94:8C:F6:XX:XX
[ ] | 48:A6:B8:1B:XX:XX    | 20:19:46 -> 20:19:58 (12s)     | -66   | 00:26:5B:8A:XX:XX

~/Desktop • 100%
→

```

Figura 6.3: Resultados dos testes unitários #3 e #5 do módulo *scanning* Wi-Fi.

a sua proximidade.

Em suma, este módulo demonstrou ser capaz de identificar a presença de dispositivos móveis durante um determinado instante de tempo, apesar da eficácia reduzida, tendo também demonstrado capacidade de reconhecer a aproximação destes através da métrica RSSI. Contudo, e uma vez que não identificou corretamente a presença de dispositivos não associados à rede sem fios, conclui-se que não é o método mais eficaz para auxiliar na contagem de utilizadores nos transportes públicos. Em alternativa, e considerando apenas a deteção de dispositivos móveis associados à rede, a estimativa de entradas e saídas de utilizadores dos transportes públicos poderá ser auxiliado pela análise da MIB do AP, onde são registados todos os eventos de associação e desassociação de dispositivos móveis.

6.1.2 Detecção de entradas/saídas – sensores de ultrassons

Para averiguar o desempenho do sistema na deteção de passagens sob as portas, com recurso aos sensores de ultrassons, foi definido um conjunto de testes a três velocidades distintas – lenta, normal e rápida. Estas velocidades foram escolhidas de maneira a simular a passagem de uma pessoa com mobilidade reduzida, exemplo de idosos, de um adulto ou criança em condições normais de circulação, e de uma pessoa em passo acelerado. Não foram consideradas passagens com objetos, como por exemplo malas ou mochilas, pois este cenário não apresenta uma mais valia para a análise do sistema pelo facto destes objetos se encontrarem abaixo do limite definido para se considerar uma passagem ($120cm$), como também por se encontrarem demasiado próximos das pessoas, tornando-se assim imperceptíveis aos sensores.

Para a realização dos testes, o Raspberry Pi e os sensores de ultrassons foram colocados sobre as portas, como ilustrado na figura 6.4. Para cada conjunto de testes, ou seja, para as diferentes velocidades de passagem, foram realizadas 4 amostragens compreendidas por 25 passagens desfasadas em 10 segundos, perfazendo assim num total de 100 percursos de um único sentido.



Figura 6.4: Montagem dos sensores de ultrassons sobre a porta.

Depois de adquiridos os dados para cada amostragem, foi efetuada uma avaliação binária com recurso a uma matriz de erros, também conhecida como matriz de confusão, onde cada linha corres-

ponde a instâncias de uma classe prevista e cada coluna a instâncias de uma classe visualizada. Esta matriz, ilustrada na figura 6.5, foi posteriormente utilizada para medir a precisão do sistema, através dos seguintes vetores:

Verdadeiro Positivo (VP) - Passagem realizada e detetada;

Falso Negativo (FN) - Passagem realizada mas não detetada;

Verdadeiro Negativo (VN) - Passagem não realizada e não detetada;

Falso Positivo (FP) - Passagem não realizada mas detetada;

		Visualizado	
		Passagem	Não Passagem
Previsto	Passagem	Verdadeiro Positivo	Falso Negativo
	Não Passagem	Falso Positivo	Verdadeiro Positivo

Figura 6.5: Matriz de erros do teste unitário ao módulo sensores de ultrassons.

O desempenho do sistema foi medido através do *F-Measure*, o qual é calculado através da *precisão* e *sensibilidade* dos testes, onde precisão é o número de passagens corretamente identificadas a dividir pelo número total de resultados positivos, incluindo os que não foram identificados corretamente, e sensibilidade o número de passagens corretamente identificadas a dividir pelo número total de passagens que deveriam ter sido corretamente identificadas, cujas fórmulas são as eqs. (6.1) a (6.3), para a precisão, sensibilidade e F-Measure, respetivamente [62].

$$Precisão = \frac{VP}{VP + FP} \quad (6.1)$$

$$Sensibilidade = \frac{VP}{VP + FN} \quad (6.2)$$

$$F_1 = 2 * \frac{Precisão * Sensibilidade}{Precisão + Sensibilidade} \quad (6.3)$$

Esta métrica, F-Measure, é uma métrica que procura um equilíbrio entre a precisão do sistema, ou seja, do número de passagens que identificou quantas é que eram reais, e a sensibilidade, isto é, da quantidade real de passagens quantas é que o sistema conseguiu identificar. De notar que o valor ótimo para o F-Measure é 1, indicando uma precisão e sensibilidade perfeita, já 0 é o valor mais baixo

para esta medida.

Uma vez que foram realizadas 4 amostragens de 25 passagens cada, e de acordo com [63], o cálculo do F-Measure final foi ligeiramente diferente, não sendo feita uma média das 4 amostragens, mas sim utilizando o somatório de todas as amostras para cada vetor (VP, FN, VN e FP).

Os resultados para os testes realizados, a diferentes velocidades de passagem, encontram-se na tabela 6.1, onde são indicadas igualmente as medida de precisão e sensibilidade do sistema para os testes realizados.

Tabela 6.1: Resultados do teste unitário do módulo sensores de ultrassons.

	VP	FN	VN	FP	Precisão	Sensibilidade	F-Measure
Teste #1: Passagem Lenta	96	4	0	0	1.000	0.960	0.980
Teste #2: Passagem Normal	95	5	0	0	1.000	0.950	0.974
Teste #3: Passagem Rápida	82	18	0	0	1.000	0.820	0.901

Analisando os dados da tabela 6.1, pode concluir-se que o sistema tem uma ótima capacidade de identificar uma passagem sob as portas contudo, apresenta uma pequena lacuna na identificação de algumas passagens, sendo mais notório quando a velocidade das pessoas é consideravelmente mais rápida que o normal. Isto pode dever-se tanto à componente de estimação de entradas e saídas, como à frequência de medição dos sensores de ultrassons.

Não obstante, a componente de ultrassons demonstrou ser capaz satisfazer as necessidades do sistema no que diz respeito à identificação de entradas e saídas de utilizadores nos transportes públicos.

6.1.3 Localização geográfica – GNSS

O terceiro e último dos testes unitários, orientado ao módulo de localização geográfica, teve o propósito de avaliar o sistema não só quanto ao reconhecimento e distância aos locais destinados para a entrada e saída de passageiros, como também no tempo em que o veículo se encontra imobilizado para realizar estas tarefas. Deste modo, foi delineado um percurso a ser percorrido de carro com três locais de paragem, ilustrado na figura 6.6.

Nas primeiras duas paragens foi estabelecido 1 minuto de permanência, já para a terceira paragem foram estipulados 30 segundos de imobilização. Para serem realizados os cálculos de aproximação do veículo às paragens, foram utilizadas as coordenadas geográficas fornecidas pelo Google Maps, no exacto local onde o veículo teria que permanecer imóvel.

O teste consistiu em realizar o percurso cinco vezes, efetuando paragens nos locais previamente definidos pelos tempos referidos no parágrafo anterior. Depois de adquiridos os dados, foi calculado o tempo de permanência nesses locais, bem como a distância mínima aos pontos definidos. De maneira



Figura 6.6: Percurso realizado pelo veículo no teste unitário ao módulo localização geográfica.

avaliar a influência do ambiente externo, como o caso de árvores ou prédios, foi calculado o desvio padrão das distâncias calculadas.

Os resultados deste teste podem ser visualizados na tabela 6.2.

Tabela 6.2: Resultados do teste unitário do módulo localização geográfica.

	Paragem #1		Paragem #2		Paragem #3	
	Intervalo de tempo (Δt)	Distância (m)	Intervalo de tempo (Δt)	Distância (m)	Intervalo de tempo (Δt)	Distância (m)
Teste #1	16:45:41 -> 16:46:39 (58s)	2.594	16:47:33 -> 16:48:35 (62s)	3.144	16:49:18 -> 16:49:49 (31s)	3.929
Teste #2	17:08:41 -> 17:09:45 (64s)	2.966	17:10:38 -> 17:11:42 (64s)	4.709	17:12:20 -> 17:12:51 (31s)	3.282
Teste #3	17:13:56 -> 17:14:57 (61s)	1.270	17:15:43 -> 17:16:48 (65s)	8.711	17:17:29 -> 17:18:05 (36s)	3.808
Teste #4	17:19:07 -> 17:20:11 (64s)	3.509	17:20:55 -> 17:21:59 (64s)	7.866	17:22:35 -> 17:23:11 (36s)	4.439
Teste #5	17:33:27 -> 17:34:26 (59s)	2.132	17:35:10 -> 17:36:20 (70s)	11.378	17:36:55 -> 17:37:26 (31s)	3.742
Média		2.494		7.162		3.840
Desvio Padrão		0.761		2.927		0.371

Da análise da tabela pode concluir-se que o sistema é capaz de reconhecer facilmente a aproximação do veículo a uma paragem, apesar de existir alguma variação ao ponto previamente definido. Esta variação pode dever-se a vários fatores, como por exemplo a precisão do recetor GPS, condições meteorológicas, ou até mesmo a proximidade a edifícios altos. Este último ponto, proximidade a edifícios altos, é visível nos resultados da segunda paragem, onde podemos ver que existe um desvio padrão de aproximadamente 3 metros. Já para as restantes paragens o desvio padrão é bastante mais reduzido devido às características do espaço envolvente.

Em síntese, o módulo de localização geográfica demonstrou elevada capacidade de satisfazer as necessidades do sistema proposto ao detetar corretamente o tempo de permanência do veículo num ponto previamente definido.

6.2 Testes de integração

Os testes de integração têm como objetivo testar o funcionamento conjunto de pelo menos dois módulos. Dada a situação imposta pela doença COVID-19, apenas foi possível testar o sistema como um todo desde a aquisição dos dados por parte da componente autocarro até ao início do tratamento destes na componente central.

O presente teste tem como finalidade verificar a interligação entre as componentes autocarro e central, ou seja, o funcionamento do sistema desde a aquisição dos dados, por parte dos módulos de sensorização, até ao início do tratamento destes na componente central.

O processo começa na aquisição de dados pelo módulo dos sensores de ultrassons, durante aproximadamente 1 minuto. No fim deste minuto, e após estes serem guardados na base de dados local, é iniciada a transferência para a componente central, a qual vai armazenar na base de dados central e posteriormente realizar a identificação de passagens.

De modo a confirmar o correto funcionamento, foram registados o primeiro e último dado aquando da sua aquisição, bem como o número total de registos, a fim de serem posteriormente confirmados após a transferência para a componente central.

Nas figuras 6.7(a) e 6.7(b) encontra-se o *output* das funções de aquisição e tratamento de dados, das componentes autocarro e central, respetivamente. Foram ainda utilizados os *logs* da base de dados MongoDB e a ferramenta *tshark*, figuras 6.7(c) e 6.8(a), respetivamente, para comprovar o envio destes entre ambas as componentes do sistema.

Pela análise dos eventos registados nas figuras apresentadas em 6.7, pode verificar-se que após a aquisição dos dados dos sensores de ultrassons, ocorrida entre as 12:44:00 e as 12:45:00, a componente autocarro atualizou a base de dados local, levando cerca de 4 segundos a fazê-lo. Depois deste passo, e do processo de aquisição de dados ter terminado, a componente autocarro iniciou a transferência dos dados para a componente central às 12:45:05, levando aproximadamente um total de 7 a 8 segundos a concluir.

Já na componente central, e após a autenticação do utilizador na base de dados central, a qual demorou aproximadamente 2 segundos, foi iniciada a transferência da informação, ficando posteriormente disponível para uma posterior análise, que neste caso consistiu em verificar tanto o primeiro e último registo enviado, como também o número total de medições realizadas.

Com estes resultados, pode concluir-se que o sistema executa bem todo o processo desde a aquisição dos dados até ao início do tratamento destes no módulo de estimação, comprovando assim que se encontra capaz de ser implementado num ambiente real.

```

Command Line (ssh)  ~%3
pi@raspberrypi:~/Desktop $ python3 main.py
[12:43:40] Preparing ultrasound sensor
[12:43:42] Device ready to start
[12:44:00] Starting ultrasound process
[12:45:00] Stopping ultrasound process

[Info] Primeiro registro: 2020-12-01 12:44:00.288 | 87.31
      Último registro: 2020-12-01 12:45:00.278 | 88.17
      Total registros: 900

[12:45:00] Updating local database
[12:45:04] Exiting ultrasound module
[12:45:04] Clearing all scheduled processes
[12:45:05] Updating remote database
[12:45:13] Closing local database connection
[12:45:13] Closing remote database connection
[12:45:13] Exiting application
pi@raspberrypi:~/Desktop $

```

```

Command Line (-zsh)  ~%3
~/Desktop -100%
→ python3 manage_data.py
[12:43:28] Reading stream inserts
[12:45:07] Gathering data

[Info] Primeiro registro: 2020-12-01 12:44:00.288 | 87.31
      Último registro: 2020-12-01 12:45:00.278 | 88.17
      Total registros: 900
~/Desktop -100%
→

```

(a) *Output* da função de aquisição de dados do módulo sensores de ultrassons.

(b) *Output* da função de tratamento de dados do módulo sensores de ultrassons.

```

LogsMongoDB.csv
mongo
date,stream,content
2020-12-01 12:45:13,stdout,2020-12-01T12:45:13.478+0000 I NETWORK [conn1469] end connection 172.17.0.1:51828
(7 connections now open)
2020-12-01 12:45:13,stdout,2020-12-01T12:45:13.478+0000 I NETWORK [conn1468] end connection 172.17.0.1:51826
(8 connections now open)
2020-12-01 12:45:07,stdout,2020-12-01T12:45:07.904+0000 I ACCESS [conn1469] Successfully authenticated as
principal joaoCarlos95 on admin from client 172.17.0.1:51828
2020-12-01 12:45:07,stdout,"2020-12-01T12:45:07.478+0000 I NETWORK [conn1469] received client metadata from
172.17.0.1:51828 conn1469: { driver: { name: \"PyMongo\", version: \"3.10.1\" }, os: { type: \"Linux\", name:
\"Linux\", architecture: \"armv6l\", version: \"4.14.93-Re4son+\" }, platform: \"CPython 3.7.3.final.0\" }
"
2020-12-01 12:45:07,stdout,2020-12-01T12:45:07.476+0000 I NETWORK [listener] connection accepted from
172.17.0.1:51828 #1469 (11 connections now open)
2020-12-01 12:45:06,stdout,"2020-12-01T12:45:06.035+0000 I NETWORK [conn1468] received client metadata from
172.17.0.1:51826 conn1468: { driver: { name: \"PyMongo\", version: \"3.10.1\" }, os: { type: \"Linux\", name:
\"Linux\", architecture: \"armv6l\", version: \"4.14.93-Re4son+\" }, platform: \"CPython 3.7.3.final.0\" }
"
2020-12-01 12:45:06,stdout,2020-12-01T12:45:06.001+0000 I NETWORK [listener] connection accepted from
172.17.0.1:51826 #1468 (10 connections now open)

```

(c) *Logs* da base de dados MongoDB relativos à transferência dos dados para a componente central.

Figura 6.7: Resultados do teste integração entre as componentes autocarro e central.

```

tshark_partial_output.txt
1 2020-12-01 12:45:05.999823233 192.168.0.99 -> 89.115.187.XX TCP 74 34414 -> 27017 [SYN] Seq=0
2 2020-12-01 12:45:06.004454176 89.115.187.XX -> 192.168.0.99 TCP 74 27017 -> 34414 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1
3 2020-12-01 12:45:06.004657173 192.168.0.99 -> 89.115.187.XX TCP 66 34414 -> 27017 [ACK] Seq=1 Ack=1
4 2020-12-01 12:45:06.025984910 192.168.0.99 -> 89.115.187.XX TCP 319 [TCP segment of a reassembled PDU]
5 2020-12-01 12:45:06.040989724 89.115.187.XX -> 192.168.0.99 TCP 66 27017 -> 34414 [ACK] Seq=1 Ack=254
6 2020-12-01 12:45:06.042304708 89.115.187.XX -> 192.168.0.99 TCP 739 [TCP segment of a reassembled PDU]
7 2020-12-01 12:45:06.042420707 192.168.0.99 -> 89.115.187.XX TCP 66 34414 -> 27017 [ACK] Seq=254 Ack=674
8 2020-12-01 12:45:07.441152421 192.168.0.99 -> 89.115.187.XX TCP 74 34416 -> 27017 [SYN] Seq=0
9 2020-12-01 12:45:07.479432948 89.115.187.XX -> 192.168.0.99 TCP 74 27017 -> 34416 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1
10 2020-12-01 12:45:07.479623946 192.168.0.99 -> 89.115.187.XX TCP 66 34416 -> 27017 [ACK] Seq=1 Ack=1
...
250 2020-12-01 12:45:13.327350673 89.115.187.XX -> 192.168.0.99 TCP 66 27017 -> 34416 [ACK] Seq=2414 Ack=222655
251 2020-12-01 12:45:13.351678372 89.115.187.XX -> 192.168.0.99 TCP 296 27017 -> 34416 [PSH, ACK] Seq=2414 Ack=223476
252 2020-12-01 12:45:13.351851370 192.168.0.99 -> 89.115.187.XX TCP 66 34416 -> 27017 [ACK] Seq=223476 Ack=2644
253 2020-12-01 12:45:13.410329647 192.168.0.99 -> 89.115.187.XX TCP 309 [TCP segment of a reassembled PDU]
254 2020-12-01 12:45:13.477921812 89.115.187.XX -> 192.168.0.99 TCP 229 27017 -> 34416 [PSH, ACK] Seq=2644 Ack=223719
255 2020-12-01 12:45:13.478063810 192.168.0.99 -> 89.115.187.XX TCP 66 34416 -> 27017 [ACK] Seq=223719 Ack=2807
256 2020-12-01 12:45:13.480284783 192.168.0.99 -> 89.115.187.XX TCP 66 34414 -> 27017 [FIN, ACK] Seq=254 Ack=674
257 2020-12-01 12:45:13.480689778 192.168.0.99 -> 89.115.187.XX TCP 66 34416 -> 27017 [FIN, ACK] Seq=223719 Ack=2807
258 2020-12-01 12:45:13.484735728 89.115.187.XX -> 192.168.0.99 TCP 66 27017 -> 34414 [FIN, ACK] Seq=674 Ack=255
259 2020-12-01 12:45:13.484881726 192.168.0.99 -> 89.115.187.XX TCP 66 34414 -> 27017 [ACK] Seq=255 Ack=675
260 2020-12-01 12:45:13.485758715 89.115.187.XX -> 192.168.0.99 TCP 66 27017 -> 34416 [FIN, ACK] Seq=2807 Ack=223720
261 2020-12-01 12:45:13.485894713 192.168.0.99 -> 89.115.187.XX TCP 66 34416 -> 27017 [ACK] Seq=223720 Ack=2808

```

(a) Pacotes intercetados relativos à transferência dos dados para a componente central.

Figura 6.7: Resultados do teste integração entre as componentes autocarro e central (cont.).

6.3 Síntese final

Depois de realizada a implementação técnica dos módulos propostos nos capítulos 4.2 e 4.3, à exceção do módulo de sensores de infravermelhos devido às limitações relacionadas com a aquisição do sensor, procedeu-se à realização de um conjunto de testes unitários e de integração.

Relativamente aos testes unitários, e de acordo com os resultados obtidos para os testes relacionados com os módulos de sensorização, pode-se concluir que o sistema tem uma ótima precisão para identificar passagens sob as portas com recurso a sensores de ultrassons, apesar de apresentar algumas falhas de deteção quando as passagens são realizadas a uma velocidade relativamente rápida. Não obstante, estas falhas não são significativas.

O sistema demonstrou igualmente capacidade de identificar a permanência de um veículo numa paragem destinada para a entrada e saída de passageiros, dado este que é crucial para correlacionar os dados adquiridos pelos sistemas de sensorização com os locais geográficos, podendo ser feita posteriormente uma análise de acordo com os horários do dia e com o espaço público.

Por outro lado, o resultado dos testes realizados ao módulo de *scanning* Wi-Fi provaram que a ferramenta utilizada não é a mais indicada para auxiliar no cálculo do número de passageiros dentro dos transportes públicos. Em alternativa poderá ser efetuada uma análise da MIB do AP, contudo os dados adquiridos nesta análise poderão não ser suficientemente relevantes.

No que diz respeito aos testes de integração, o sistema demonstrou potencial para ser implementado numa frota com diversos veículos, onde a componente central realiza o armazenamento e tratamento de toda a informação adquirida para estimar o número de entradas e saídas de cada um deles.

7

Conclusão

Conteúdo

7.1 Realizações	81
7.2 Trabalho futuro	82

7.1 Realizações

Esta dissertação teve como objetivo desenvolver um sistema automático e eficaz de contagem de passageiros nos transportes públicos, a fim de auxiliar não só os operadores de transporte no dimensionamento e gestão dos seus recursos, como também os municípios no planeamento devido do espaço por estes gerido. Para a contagem de utilizadores nos transportes foi tido em consideração um conjunto de tecnologias de sensorização e de redes *wireless*, dada a massificação das redes sem fios, dos *smartphones* e as capacidades de sensorização associadas à IoT.

O trabalho consistiu no desenvolvimento de um sistema de deteção de pessoas em autocarros, com recurso a tecnologias de redes sem fios, nomeadamente no *scanning* de dispositivos móveis através do Wi-Fi, de tecnologias de sensorização, como o caso dos ultrassons e infravermelhos, bem como de localização, caso dos sistemas de posicionamento por satélite. Foi ainda desenvolvida a componente responsável pelo armazenamento, tratamento e apresentação de toda informação adquirida.

Para realizar a implementação do sistema foi utilizado o dispositivo computacional, Raspberry Pi, para gerir todos os módulos inerentes à componente autocarro, nomeadamente os sensores de ultrassons e de infravermelhos, GPS e base de dados local. Foi ainda utilizada uma NAS e Docker *containers*, onde foram implementados os módulos base de dados central, estimação de entradas e saídas, e página *web*. Para toda a implementação foi utilizada a linguagem de programação Python, dada a variedade de bibliotecas capazes de auxiliar no desenvolvimento do sistema.

Devido às limitações impostas pela doença COVID-19, não foi possível integrar o sistema num veículo real, pelo que toda a componente de teste cingiu-se a um ambiente simulado em casa. Por estas razões, todos os testes possíveis de serem realizados foram adaptados às condições disponíveis. Por outro lado, e uma vez que houve limitações na aquisição do sensor de infravermelhos, não foi possível implementar e consequentemente testar esta tecnologia na deteção de utilizadores.

Relativamente ao desempenho do sistema, verificou-se que o módulo de ultrassons identificou corretamente a passagem de pessoas sob portas, dado que o valor do F-Measure, média harmónica entre a precisão e a sensibilidade do sistema, situou-se acima de 0.97 (máximo de 1) para passagens com velocidade lenta e normal. Para passagens rápidas o sistema apresentou alguns falsos negativos, 18% do total de passagens, mesmo apesar do valor da média harmónica ter sido relativamente alto, 0.90. Ainda relativamente à estimação de utilizadores nos transportes públicos, foi possível verificar que o *scanning* de dispositivos móveis não identificou corretamente a presença destes quando não se encontram ligados à rede do veículo, não representando deste modo uma mais valia face à análise da MIB do AP.

No que concerne à identificação dos locais de paragem do veículo para a entrada e saída de passageiros, foi possível concluir que o módulo de localização cumpre corretamente com as necessidades do sistema, uma vez que apresentou uma diferença inferior a 1 metro para paragens que se encontrem

em linha de visão (*line of sight*) com os satélites, apesar de apresentar um desvio padrão médio de 2-4 metros para o local previamente estabelecido. Por outro lado, quando o veículo se encontra próximo de edifícios relativamente altos, a precisão do sistema baixa consideravelmente, tendo-se alcançado uma distância da paragem de sensivelmente 7 metros, com um desvio padrão de 3 metros.

Quanto ao funcionamento geral do sistema, foi possível verificar com o teste de integração que o processo de estimação é iniciado automaticamente após o envio dos dados, até então adquiridos, para a componente central.

7.2 Trabalho futuro

Os próximos passos no desenvolvimento do presente sistema devem incidir maioritariamente na implementação da componente autocarro num veículo real, bem como na integração de quaisquer outros módulos de sensorização ou componentes existentes, como o caso do sistema de abrir e fechar portas, sensores de pressão, entre outros.

Deverá ainda ser implementada o módulo de infravermelhos, o qual demonstrou ser promissor tendo em consideração a análise inicialmente realizada. No que diz respeito ao *scanning* de dispositivos móveis, deverão ser estudadas novas ferramentas, ou o desenvolvimento de uma nova, para realizar esta tarefa, dada a tendência de utilização de dispositivos móveis nos diversos locais públicos onde o acesso à Internet é disponibilizado gratuitamente. Em adição deverá também ser tido em consideração uma análise da MIB dos APs através de protocolos de gestão como o caso do SNMP.

No que respeita à componente de estimação de entradas e saídas de pessoas do transporte público, deverão ser estudados diferentes algoritmos de inteligência artificial, a fim de desenvolver um sistema eficaz.

Relativamente aos testes do sistema num ambiente real, deverão ser considerados diferentes locais para posicionar os sensores devido aos diferentes padrões de mobilidade dos utilizadores num transporte público, tendo sempre em consideração a arquitetura do veículo bem como questões relacionadas com o vandalismo e deterioração dos equipamentos.

Bibliografia

- [1] D. Liciotti, A. Cenci, E. Frontoni, A. Mancini, and P. Zingaretti, “An intelligent rgb-d video system for bus passenger counting,” in *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 531, 02 2017, p. 473–484.
- [2] G. Mokhtari, Q. Zhang, G. Nourbakhsh, S. Ball, and M. Karunanithi, “Bluesound: A new resident identification sensor—using ultrasound array and ble technology for smart home platform,” *IEEE Sensors Journal*, vol. 17, no. 5, pp. 1503–1512, March 2017.
- [3] T. Inc., “Wi-fi: Overview of the 802.11 physical layer and transmitter, measurements,” <https://www.tek.com/document/primer/wi-fi-overview-80211-physical-layer-and-transmitter-measurements>,
acedido a: 2019-05-11.
- [4] S. Sharma and R. Shah, “Comparitive study of ieee 802.11 a, b, g & n standards,” *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol. 3, no. 4, p. 1846–1851, Apr 2014.
- [5] “Radio versions,” <https://www.bluetooth.com/bluetooth-technology/radio-versions>, acedido a: 2018-12-07.
- [6] R. Ávila Chachado, R. Miguel do Carmo, D. Ferreira, and S. Santos, “Usos e meios de transporte na Área Metropolitana de Lisboa: uma abordagem qualitativa da mobilidade,” *Análise Social*, pp. 392 – 415, 06 2017. [Online]. Available: http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0003-25732017000200006&nrm=iso
- [7] I. N. de Estatística, “Estatísticas dos transportes e comunicações : 2018,” 2019. [Online]. Available: <https://www.ine.pt/xurl/pub/358630755>
- [8] T. Litman, *Evaluating public transit benefits and costs*. Victoria Transport Policy Institute Victoria, BC, Canada, 2015.
- [9] M. Cristina Delgado and I. Silveira Botelho, “Dimensionamento de vias dedicadas ao transporte público rodoviário de passageiros,” 12 2005. [Online]. Available: http://www.imt-ip.pt/sites/IMTT/Portugues/Planeamento/Documents/DimensionamentoTP_dggtt.pdf

- [10] C. Koszowski, R. Gerike, S. Hubrich, T. Götschi, M. Pohle, and R. Wittwer, *Active Mobility: Bringing Together Transport Planning, Urban Planning, and Public Health*. Cham: Springer International Publishing, 2019, pp. 149–171. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/978-3-319-99756-8_11
- [11] D. G. de Saúde, “Covid-19: Procedimentos nos transportes públicos,” 07 2020, orientação nº 027/2020 de 20/05/2020.
- [12] “802.11-2016 - ieee standard for information technology–telecommunications and information exchange between systems local and metropolitan area networks–specific requirements - part 11: Wireless lan medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications,” https://standards.ieee.org/standard/802_11-2016.html#Additional, acessado a: 2019-03-19.
- [13] J. H. Schiller, *Mobile Communications*, 2nd ed. Pearson, 2003.
- [14] J. F. Kurose and K. W. Ross, *Computer Networking: A Top-Down Approach (6th Edition)*, 6th ed. Pearson, 2012.
- [15] K. Finkenzerler, *RFID handbook: fundamentals and applications in contactless smart cards, radio frequency identification and near-field communication*. John Wiley & Sons, 2010.
- [16] H. Cho, D. Ippolito, and Y. W. Yu, “Contact tracing mobile apps for covid-19: Privacy considerations and related trade-offs,” 2020.
- [17] L. Ferretti, C. Wymant, M. Kendall, L. Zhao, A. Nurtay, L. Abeler-Dörner, M. Parker, D. Bonsall, and C. Fraser, “Quantifying sars-cov-2 transmission suggests epidemic control with digital contact tracing,” *Science*, vol. 368, no. 6491, 2020. [Online]. Available: <https://science.sciencemag.org/content/368/6491/eabb6936>
- [18] J.-S. Fang, Q. Hao, D. J. Brady, M. Shankar, B. D. Guenther, N. P. Pitsianis, and K. Y. Hsu, “Path-dependent human identification using a pyroelectric infrared sensor and fresnel lens arrays,” *Optics Express*, vol. 14, no. 2, pp. 609–624, 2006.
- [19] T. Teixeira, G. Dublon, and A. Savvides, “A survey of human-sensing: Methods for detecting presence, count, location, track, and identity,” *ACM Computing Surveys*, vol. 5, no. 1, pp. 59–69, 2010.
- [20] R. Burnett, “Understanding how ultrasonic sensors work,” <https://www.maxbotix.com/articles/how-ultrasonic-sensors-work.htm>, Mar 2019, acessado a: 2019-03-09. [Online]. Available: <https://www.maxbotix.com/articles/how-ultrasonic-sensors-work.htm>
- [21] M. Andries, “Object and human tracking, and robot control through a load sensing floor,” Theses, Université de Lorraine, Dec. 2015.

- [22] F. Corporation, “How infrared cameras work,” <https://www.fluke.com/en-us/learn/best-practices/measurement-basics/thermography/how-infrared-cameras-work>, acedido a: 2019-04-13.
- [23] J. Bartels, “2d or 3d camera? which 3d camera technology fits your application?” https://www.baslerweb.com/fp-1481127658/media/en/downloads/documents/white-papers/BAS1608_White_Paper_3D_Technologies.pdf, acedido a: 2019-05-13.
- [24] M. Vossiek, L. Wiebking, P. Gulden, J. Weighardt, and C. Hoffmann, “Wireless local positioning concepts, solutions, applications,” in *Radio and Wireless Conference, 2003. RAWCON’03. Proceedings.* IEEE, 2003, pp. 219–224.
- [25] D. Stojanović and N. Stojanović, “Indoor localization and tracking: Methods, technologies and research challenges,” *Facta Universitatis, Series: Automatic Control and Robotics*, vol. 13, no. 1, pp. 57–72, 2014.
- [26] B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, and E. Wasle, *GNSS—global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more.* Springer Science & Business Media, 2007.
- [27] W. Foundation, “Wireshark,” <https://www.wireshark.org>, acedido a: 2019-05-22.
- [28] Kismet, “Kismet,” <https://www.kismetwireless.net>, acedido a: 2019-05-22.
- [29] Aircrack-ng, “Airodump-ng,” <https://www.aircrack-ng.org/doku.php?id=airodump-ng>, acedido a: 2019-05-22.
- [30] K. Tools, “Bluelog,” <https://tools.kali.org/wireless-attacks/bluelog>, acedido a: 2019-05-22.
- [31] —, “Blueranger,” <https://tools.kali.org/wireless-attacks/blueranger>, acedido a: 2019-05-22.
- [32] —, “redfang,” <https://tools.kali.org/wireless-attacks/redfang>, acedido a: 2019-05-22.
- [33] S. Routhier, “Management information base for the internet protocol (ip),” Internet Engineering Task Force, Tech. Rep., 2006.
- [34] C. Raghavachari, V. Aparna, S. Chithira, and V. Balasubramanian, “A comparative study of vision based human detection techniques in people counting applications,” *Procedia Computer Science*, vol. 58, pp. 461–469, 2015.
- [35] L. Schauer, M. Werner, and P. Marcus, “Estimating crowd densities and pedestrian flows using wi-fi and bluetooth,” in *Proceedings of the 11th International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking and Services.* ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering, 2014, pp. 171–177.

- [36] A. Al-Lawati, S. Al-Jahdhami, A. Al-Belushi, D. Al-Adawi, M. Awadalla, and D. Al-Abri, "Rfid-based system for school children transportation safety enhancement," in *2015 IEEE 8th GCC Conference & Exhibition*. IEEE, 2015, pp. 1–6.
- [37] L. Robert Mauser, "Robert mauser, Ida." https://mauser.pt/catalog/index.php?cPath=1667_2669, acedido a: 2019-05-26.
- [38] B. Berman, "3-d printing: The new industrial revolution," *Business Horizons*, vol. 55, no. 2, pp. 155 – 162, 2012. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007681311001790>
- [39] "National marine electronics association," https://www.nmea.org/content/STANDARDS/NMEA_0183_Standard, acedido a: 2019-10-21.
- [40] J. A. Kreibich, *Using sqlite*. Shroff Publishers & Distr, 2014.
- [41] M. Owens and D. R. Hipp, *The definitive guide to SQLite*. Apress, 2006.
- [42] "Mongodb wire protocol," acedido a: 2020-07-29. [Online]. Available: <https://docs.mongodb.com/v4.2/reference/mongodb-wire-protocol/#wire-op-get-more>
- [43] C. Newman, Oracle, A. Menon-Sen, O. M. S. GmbH, A. Melnikov, L. Isode, and N. Williams, "Salted challenge response authentication mechanism (scram) sasl and gss-api mechanisms," Internet Engineering Task Force, Tech. Rep., July 2010.
- [44] S. Rautmare and D. M. Bhalerao, "Mysql and nosql database comparison for iot application," *2016 IEEE International Conference on Advances in Computer Applications (ICACA)*, 2016.
- [45] S. Amghar, S. Cherdal, and S. Mouline, "Which nosql database for iot applications?" *2018 International Conference on Selected Topics in Mobile and Wireless Networking (MoWNeT)*, 2018.
- [46] Y. Wang, J. Yang, Y. Chen, H. Liu, M. Gruteser, and R. P. Martin, "Tracking human queues using single-point signal monitoring," *Proceedings of the 12th annual international conference on Mobile systems, applications, and services - MobiSys 14*, 2014.
- [47] "threading - thread-based parallelism," acedido a: 2020-08-10. [Online]. Available: <https://docs.python.org/3/library/threading.html#module-threading>
- [48] "multiprocessing - process-based parallelism," acedido a: 2020-08-10. [Online]. Available: <https://docs.python.org/3/library/multiprocessing.html>
- [49] J. Hunt, *Concurrency and Parallelism*. Cham: Springer International Publishing, 2019, pp. 337–376. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/978-3-030-25943-3_29

- [50] D. Bader, "Python schedule 0.6.0," acesoado a: 2020-10-13. [Online]. Available: <https://schedule.readthedocs.io/en/stable/>
- [51] M. Schulz, D. Wegemer, and M. Hollick, "The nexmon firmware analysis and modification framework: Empowering researchers to enhance wi-fi devices," *Computer Communications*, vol. 129, pp. 269 – 285, 2018. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014036641731294X>
- [52] "Re4son-kernel for raspberry pi," acesoado a: 2020-07-31. [Online]. Available: <https://re4son-kernel.com/re4son-pi-kernel/>
- [53] "Aircrack-ng," acesoado a: 2020-08-04. [Online]. Available: <https://www.aircrack-ng.org/doku.php?id=airmon-ng>
- [54] ElecFreaks, "Hc-sr04 datasheet," <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf>.
- [55] Acesoado a: 2020-08-04. [Online]. Available: <https://linux.die.net/man/1/sdptool>
- [56] "rfcomm(1) - linux man page," acesoado a: 2020-08-04. [Online]. Available: <https://linux.die.net/man/1/rfcomm>
- [57] B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, and E. Wasle, *GNSS—global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*. Springer Science & Business Media, 2007.
- [58] "sqlite3 - db-api 2.0 interface for sqlite databases," acesoado a: 2020-08-10. [Online]. Available: <https://docs.python.org/3/library/sqlite3.html>
- [59] "Pymongo 3.10.1 documentation," acesoado a: 2020-07-29. [Online]. Available: <https://pymongo.readthedocs.io/en/stable/index.html#>
- [60] R. Dua, A. R. Raja, and D. Kakadia, "Virtualization vs containerization to support paas," in *2014 IEEE International Conference on Cloud Engineering*, 2014, pp. 610–614.
- [61] "Flask," acesoado a: 2020-11-09. [Online]. Available: <https://palletsprojects.com/p/flask/>
- [62] D. M. W. Powers, "Evaluation: from precision, recall and f-measure to roc, informedness, markedness and correlation," 2020.
- [63] G. Forman and M. Scholz, "Apples-to-apples in cross-validation studies: pitfalls in classifier performance measurement," *Acm Sigkdd Explorations Newsletter*, vol. 12, no. 1, pp. 49–57, 2010.

