NewsGotT[Ligatures=TeX, Mapping=tex-text, Path = NOVAthesisFiles/FontStyles/Fonts/, UprightFont=n015003t.ttf, BoldFont=n015006t.ttf, AutoFakeSlant=0.15, BoldSlantedFont=n015006t.ttf, BoldItalicFont=n015006t.ttf, BoldSlantedFeatures=FakeSlant=0.15, BoldItalicFeatures=FakeSlant=0.15, Scale=1.003764115,]

n015003t.ttf[Ligatures=TeX, Mapping=tex-text, Path = NOVAthesisFiles/FontStyles/Fonts/, Scale=1.003764115,]

n015006t.ttf[Ligatures=TeX, Mapping=tex-text, Path = NOVAthesisFiles/FontStyles/Fonts/, Scale=1.003764115,]

n015006t.ttf[Ligatures=TeX, Mapping=tex-text, Path = NOVAthesisFiles/FontStyles/Fonts/, BoldItalicFeatures=FakeSlant=0.15, Scale=1.003764115,]

n015003t.ttf[Ligatures=TeX, Mapping=tex-text, Path = NOVAthesisFiles/FontStyles/Fonts/, ItalicFeatures=FakeSlant=0.15, Scale=1.003764115,]

n015003t.ttf[Ligatures=TeX, Mapping=tex-text, Path = NOVAthesisFiles/FontStyles/Fonts/, AutoFakeSlant=0.15, Scale=1.003764115,]

n015002t.ttf[Ligatures=TeX, Mapping=tex-text, Path = NOVAthesisFiles/FontStyles/Fonts/, Scale=1.003764115,]

Setembro de 2000

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este documento foi gerado com o processador (pdf/Xe/Lua)LaTeX e o modelo NOVAthesis (v7.3.1) [**novathesis-manual**].

Agradecimentos

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

_____, _____

(Local) (Data)

_____

(João Pedro Sousa Moura)

”

«*You cannot teach a man anything; you can only help him discover it in himself.*»

— **Galileo**, Somewhere in a book or speach
(Astronomer, physicist and engineer)

Resumo

Integração do Paradigma IoT nas Redes Veiculares

Independentemente da língua em que a dissertação está escrita, geralmente esta contém pelo menos dois resumos: um resumo na mesma língua do texto principal e outro resumo numa outra língua.

A ordem dos resumos varia de acordo com a escola. Se a sua escola tiver regulamentos específicos sobre a ordem dos resumos, o template (LaTeX) NOVAthesis LaTeX (novathesis) irá respeitá-los. Caso contrário, a regra padrão no template novathesis é ter em primeiro lugar o resumo *no mesmo idioma do texto principal* e depois o resumo *no outro idioma*. Por exemplo, se a dissertação for escrita em português, a ordem dos resumos será primeiro o português e depois o inglês, seguido do texto principal em português. Se a dissertação for escrita em inglês, a ordem dos resumos será primeiro em inglês e depois em português, seguida do texto principal em inglês. No entanto, esse pedido pode ser personalizado adicionando um dos seguintes ao arquivo `5_packages.tex`.

```
\abstractorder(<MAIN_LANG>):={<LANG_1>,...,<LANG_N>}
```

Por exemplo, para um documento escrito em Alemão com resumos em Alemão, Inglês e Italiano (por esta ordem), pode usar-se:

```
\ntsetup{abstractorder={de={de,en,it}}}
```

Relativamente ao seu conteúdo, os resumos não devem ultrapassar uma página e frequentemente tentam responder às seguintes questões (é imprescindível a adaptação às práticas habituais da sua área científica):

1. Qual é o problema?
2. Porque é que é um problema interessante/desafiante?
3. Qual é a proposta de abordagem/solução?
4. Quais são as consequências/resultados da solução proposta?

Palavras-chave: Primeira palavra-chave, Outra palavra-chave, Mais uma palavra-chave, A última palavra-chave

Abstract

Integration of the IoT Paradigm in Vehicular Networks

Regardless of the language in which the dissertation is written, usually there are at least two abstracts: one abstract in the same language as the main text, and another abstract in some other language.

The abstracts' order varies with the school. If your school has specific regulations concerning the abstracts' order, the novathesis (LaTeX) template will respect them. Otherwise, the default rule in the novathesis template is to have in first place the abstract in *the same language as main text*, and then the abstract in *the other language*. For example, if the dissertation is written in Portuguese, the abstracts' order will be first Portuguese and then English, followed by the main text in Portuguese. If the dissertation is written in English, the abstracts' order will be first English and then Portuguese, followed by the main text in English. However, this order can be customized by adding one of the following to the file `5_packages.tex`.

```
\ntsetup{abstractorder={<LANG_1>,...,<LANG_N>}}
\ntsetup{abstractorder={<MAIN_LANG>={<LANG_1>,...,<LANG_N>}}}
```

For example, for a main document written in German with abstracts written in German, English and Italian (by this order) use:

```
\ntsetup{abstractorder={de={de,en,it}}}
```

Concerning its contents, the abstracts should not exceed one page and may answer the following questions (it is essential to adapt to the usual practices of your scientific area):

1. What is the problem?
2. Why is this problem interesting/challenging?
3. What is the proposed approach/solution/contribution?
4. What results (implications/consequences) from the solution?

Keywords: One keyword, Another keyword, Yet another keyword, One keyword more, The last keyword

Índice

Índice de Figuras

1 Introdução

1.1 Enquadramento e Motivação

Com o aumento da quantidade de veículos nas estradas e, em anos mais recentes, o aumento da autonomia dos mesmos, é necessário que sejam implementadas melhorias ao nível da segurança dos peões através do aproveitamento das comunicações no contexto de redes veiculares [**1**].

Enquanto que, ao nível dos veículos, já existem equipamentos, infraestrutura, normas, e tecnologias especializadas que usam as comunicações para melhorar a eficiência do tráfego e a segurança dos veículos, o mesmo não acontece ao nível dos peões (e outros utilizadores das vias públicas) [**2**]. Por este motivo é necessário encontrar métodos que facilitem e melhorem a capacidade destes intervenientes, transmitirem, com fiabilidade, informações acerca da sua posição e/ou movimentação. O recurso às comunicações V2X, em conjunto com o aumento da capacidade sensorial do veículo pode vir a aumentar a segurança de todos os que utilizam a redes rodoviárias [**3**].

Tendo em conta o potencial do paradigma da Internet das Coisas como uma possível solução para as necessidades referidas anteriormente, é relevante avaliar a possibilidade da sua integração nas redes veiculares, pela sua versatilidade, facilidade de implementação e aumento exponencial das suas capacidades [**4**].

1.2 Objetivos

1.3 Estrutura da Dissertação

2

Estado da Arte

2.1 Internet Of Things

IoT, ou Internet das Coisas, trata-se de um conceito que ainda não têm uma definição exata mas que é geralmente aceite como sendo uma infraestrutura de rede dinámica e global capaz de se auto-configurar com base em *standards* e protocolos de comunicação [**5**], através da qual grandes quantidades de dados podem ser gerados, processados, geridos e partilhados com um nível de intervenção humana reduzido.

De um modo simples, a aplicação deste conceito acenta na conexão de vários dispositivos e acesso aos mesmos através da internet, ou por outras soluções que não se baseam no protocolo IP. Esta conexão pode ser realizada por meios fisicos ou *wireless*, sendo o comportamento da mesma controlados pela arquitetura e protocolos usados.

Com o aparecimento destas ligações, os dispositivos capazes de usufruir das mesmas passam a ser denominados como *smart objets*. Muitas vezes limitados pelas próprias capacidades, estes aproveitam estas ligações como um meio para augmentar o seu potencial, unindo-se em sistemas capazes de oferecer serviços e soluções que anteriormente não seriam possiveís [**5**].

Atualmente estes serviços estão integrados em diversas áreas, como medicina, agricultura, mobilidade, energia [**9**], entre outras. Dentro destas áreas, a aplicação do paradigma IoT está introduzida desde a investigação à produção, bem como no dia-a-dia de várias pessoas [**10**], aumentando a eficiência bem como a simplicidade de execução de muitas funções, provocando uma grande procura de soluções IoT nestes sectores o que acabou por levar a um aumento exponencial do mercado IoT e do número de dispositivos conectados sendo esperado que este valha cerca de 1.1 triliões de doláres com cerca de 25 mil milhões de dispositivos conectados em 2025.

2.1.1 Arquitetura e Modelos de Referência

Arquitetura de Referência (AR) e Modelo de Referência (MR) são conceitos com terminologia diferentes, que são muitas vezes usados, de forma errónea, como sinónimos. Um MR refere-se a uma abstração que representa a maneira como um conjunto de conceitos comuns, podendo estes ser concretos ou abstratos, se relacionam perante um domínio, por outras palavras, o modo como um problema pode ser dividido em partes que cooperam para o resolver. Um bom exemplo de um MR é o modelo OSI, estando este representado na Figura **??**. Apesar de uma AR também ser uma abstração, esta têm a sua origem no

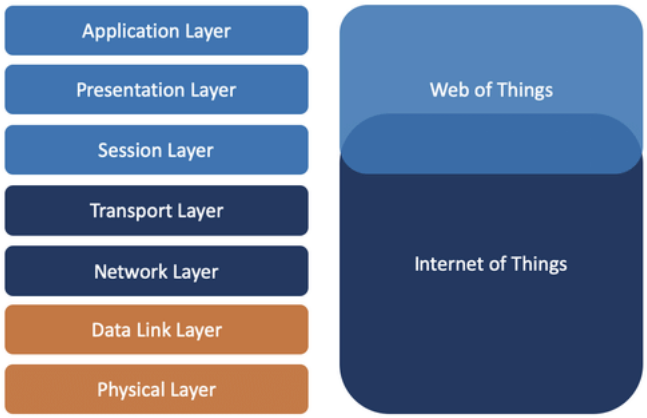

Figura 1: Representação gráfica do modelo OSI. (Retirado de [**11**])

culminar do conhecimento e experiência sobre um domínio específico e de como um sistema deve ser desenvolvido de modo a que este respeite boas práticas, normas, regras, et cetera. Para este fim, são usados MR para servirem como guias e controlos de conceitos para a formulação da arquitetura de sistema. Por fim estando uma AR bem definida e realizada, esta pode ser usada como uma fundação sólida para soluções vindas do paradigma IoT [**18**].

Com a maturação do paradigma IoT, surgiram modelos de referência adaptados às realidades e especificações deste paradigma. Contudo, não existe um modelo de referência tido como universal, mas existem modelos que têm ganhado tração não só na produção como também na investigação ligada ao paradigma IoT [**14**]. Estes modelos são os modelos de referência para IoT de 3,4 e 5 camadas, os quais agregam várias camadas do modelo OSI em uma única camada, de um modo semelhante ao que foi concebido para o protocolo TCP/IP [**12**].

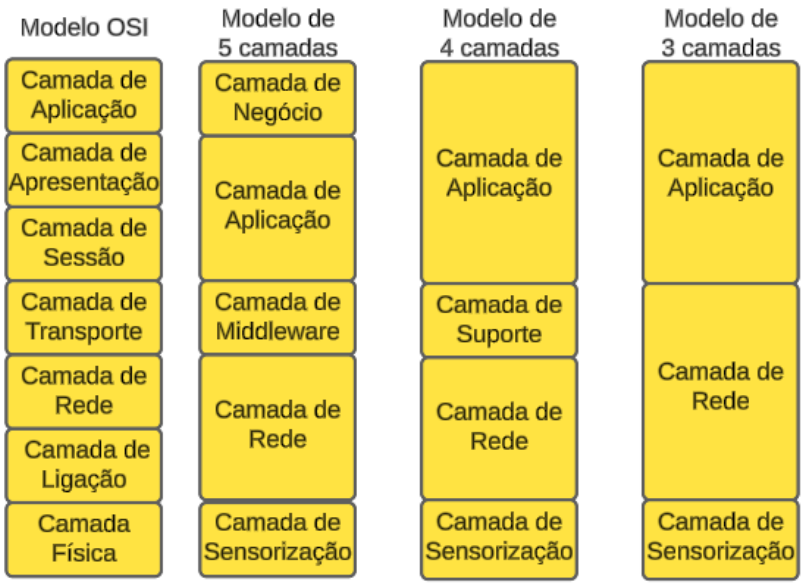

Figura 2: Modelos de Referência para o paradigma IoT e comparação com o modelo de referência OSI. (Baseado em [**13**])

Cada camada referida na figura **??** têm um conjunto de características e funções que lhe são inerentes, sendo as dos modelos de 3,4 e 5 camadas as seguintes:

- **Camada de Sensorização**: Contêm elementos físicos, tais como sensores e actuadores, bem como as ligações formadas entre estes dispositivos, ou seja a rede de componentes inerenteS a um sistema IoT. Esta camada têm por função a recolha de informações acerca do meio em que está inserido, identificação de objetos, recorrendo para este fim a diversas tecnologias [**13**, **14**, **15**].

- **Camada de Rede**: Responsável por conectar a camada de sensorização e distribuir as informações recolhidas às restantes camadas. Esta conexão e subsequente transmissão de dados tira proveito de toda a infraestrutura de telecomunicações que lhe esteja disponível para este fim como, internet, redes de comunicação móvel, redes de comunicação por satélite e redes *wireless*. Em termos de meios / tecnologias / protocolos (?), de comunicação este pode usar 4G,3G, Wi-Fi,Bluetooth,BLE,etc.., devendo este então processar os dados de modo a permitir o encaminhamento eficaz do mesmos consoante o protocolo/tecn/meio de comunicação escolhido [**12**, **14**, **13**].

- **Camada de Aplicação**: Responsável pela entrega de serviços específicos ao caso uso / aplicação especificado para o sistema IoT em questão. Por este motivo, as tecnologias e protocolos usados nesta camada são decididos consoante as necessidades estabelecidas pelo caso uso [**12**, **14**].

- **Camada de Suporte**: Têm por objetivo proporcionar capacidades de *cloud*, aumento de capacidade de processamento e um aumento parcial das capacidades de segurança [**13**].

- **Camada de Middleware**: Responsável por fornecer diferentes tipos de serviços proprietários, ou seja, os dispositivos IoT apenas podem comunicar e se conectar a dispostivos que disponibilizem o mesmo serviço. Graças às capacidades muitas vezes presentes nesta camada, este pode guardar, analisar e processar vastas quantidades de dados que lhe chegam da camada de rede [**12**, **14**].

- **Camada de Negócio**: Responsável por administrar todo o Sistema IoT em uso, bem como os serviços fornecidos e as suas aplicações. Dada a sua natureza, esta camada também é usada para gerar dados estatísticos e contabilísticos através dos dados recebidos [**12**, **14**].

+—Refazer parte—-+

Esta agregação de camadas, oriunda da experiência e conhecimentos sobre o paradigma IoT, permite não só a simplificação mas também a pragmatização da procura de soluções para problemas e novas arquiteturas de sistemas IoT.

Para além destes modelos, surgiram modelos mais modernos, com especial incidência sobre as capacidades de *fog computing*, *cloud* e segurança, como por exemplo o modelo de referência proposto pela CISCO [**20**].

Em termos de arquiteturas de referência, atualmente são usadas arquiteturas como IoT-ARM, WSO2 [**18**], FIWARE, OpenMTC e Sitewhere [**19**]. Tal como para a escolha dos modelos de referência, a escolha de uma AR é feita consoante os objetivos desejados da mesma e as necessidades inerentes a esse objetivo. Um exemplo desta necessidade de adaptação encontrasse na aplicação do paradigma IoT sobre redes veiculares, existindo várias arquiteturas de referência sugeridas para diferentes casos uso [**22**], contudo, a AR demonstrada na figura **??** trata-se uma arquitetura de especial interesse, já que dado as suas características esta demonstra ser uma AR completa

+—Refazer parte—-+

2.1.2 Protocolos

Um protocolo trata-se de um conjunto de regras, configurações e requerimentos aos quais uma ligação entre duas entidades fica submetida. Isto faz com que a escolha de um protocolo dependa do caso uso e objetivo final da ligação, devendo esta escolha respeitar um conjunto de normas estabelecidas para o caso uso em questão.

Dada a vasta quantidade de dispositivos e fabricantes, bem como as condições aos quais os dispositivos de um sistema IoT ficam sujeitos, deu-se por necessário desenvolver e normalizar protocolos feitos com o paradigma IoT em mente. Muitas vezes, estes protocolos baseam-se em tecnologias e padrões já existentes de modo a proporcionar uma entrada mais suave no mercado, mas também com o intuito de serem protocolos baseados em soluções

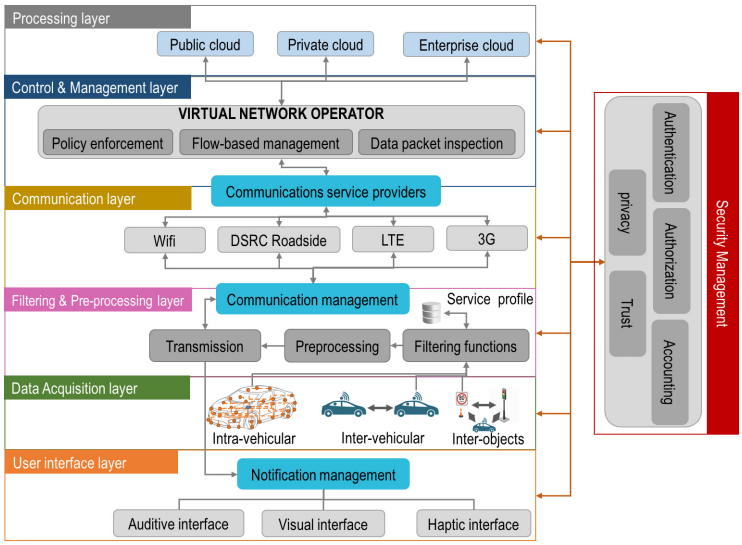

Figura 3: AR de 7 camadas para Internet of Vehicles (IoV). (Retirado de [**21**])

e conceitos fiáveis, seguros e capazes de interoperar com outras soluções já existentes no paradigma IoT.

Em termos de funcionalidades, os protocolos costumam ser divididos pelas camadas sobre as quais estes trabalham existindo, contudo, protocolos capazes de operar em várias camadas, sendo também possível dividir uma grande quantidade de protocolos em dois grupos, protocolos de dados IoT e protocolos de rede para IoT.

Para as funcionalidades associadas à camada de aplicação são usados protocolos como:

- **Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)** é um protocolo atualmente standardizado pela Organization for the Advancement of Structured Information Standards (OASIS) e a fundação ECLIPSE [**23**] baseado no paradigma publish/subscribe e que trabalha em cima do protocolo TCP/IP.
  Simples, leve e fiável, este requer uma quantidade de recursos pequena a nível de hardware como também a nível de rede graças aos cabeçalhos pequenos nas mensagens, podendo ser usado em redes com pouca qualidade e em dispositivos com poucos recursos [**23**, **28**, **31**].
  Adicionalmente este possui métodos de controlo de Quality of Service (QoS), usando 3 níveis para definir a garantia de entrega de mensagens [**28**], bem como maneiras de assegurar a reconexão de clientes com conexões instáveis através do uso de sessões persistentes [**30**].
  Em termos de segurança, este é capaz de encriptar as mensagens, que são enviadas em texto, através do uso do protocolo TLS e autenticar clientes através de protocolos de autenticação contudo, ambos podem ser ignorados em troca de um melhor desempenho, tornando as comunicações vulneráveis [**23**].
  Como este protocolo trabalha sob o protocolo Transmission Control Protocol/Internet

Protocol (TCP/IP), este poderá ter dificulades com alguns casos uso [**21**], especialmente em situações em que existam dispositivos extremamente limitados, o que levou à criação de protocolos derivados do MQTT capazes de usar o protocolo User Datagram Protocol (UDP) como o MQTT for Sensor Networks (MQTT-SN) [**28**];

- **Advanced Message Queuing Protocol (AMQP)** é um protocolo atualmente standardizado pela OASIS [**23**] baseado no paradigma publish/subscribe e que trabalha em cima do protocolo TCP/IP.
  Tal como no protocolo MQTT, o funcionamento do protocolo AMQP baseia-se em operações de *publish* e *subscribe* entre clientes e *brokers* contudo, o funcionamento do *broker* é dividido em duas partes, *exchanges* e *queues*. Deste modo quando uma cliente pretende publicar uma mensagem, esta é recebida por uma *exchange* a qual é responsável por analisar e direcionar as mensagens que chegam ao *broker* para as *queues* indicadas consoante regras e condições conhecidas como *bindings*. As *queues*,seguindo a lógica First In First Out (FIFO), mantêm as mensagens que lhes chegam até estas serem enviadas e recebidas por um subscritor [**28**].
  Em versões mais recentes do protocolo AMQP é possível comunicar através do paradigma Peer-to-Peer (P2P), melhorando a flexibilade do protocolo [**28**].
  Em semelhança ao MQTT o AMQP possui controlo de QoS, métodos complementares de encriptação de mensagens recorrendo ao protocolo Transport Layer Security (TLS) e autenticação recorrendo ao protocolo Simple Authentication Security Layer (SASL) bem como o uso do protocolo TCP como protocolo de transporte [**23**, **28**].
  Todas estas características fazem com que o AMQP seja robusto, escalável e interoperável em troco de se tornar num protocolo pesado que necessita de maiores capacidades de armazenamento e processamento [**28**, **31**];

- **Constrained Application Protocol (CoAP)** é um protocolo atualmente standardizado pela Internet Engineering Task Force (IETF) e a fundação ECLIPSE [**23**] baseado no paradigma request/response, semelhante ao usado pelo Representational State Transfer (REST) Hypertext Transfer Protocol (HTTP), e que trabalha em cima do protocolo UDP [**28**].
  O funcionamento do CoAP é suportado por uma estrutura dividida em 2 camadas, a camada *request/response* e a camada *message*.
  A camada *request/response* é responsável pelo implementação e funcionamento dos métodos que permitem a obtenção e difusão de mensagens. No total existem 4 métodos, GET, PUSH, PUT e DELETE os quais são responsáveis, respetivamente, por recolher dados de uma dada entrada, atualizar dados de uma dada entrada, criar novas entradas para dados ou atualizar caso a entrada já exista e eliminar uma dada entrada. Uma exemplificação do uso destes métodos seria o envio de um pedido GET para um servidor, o qual, caso a entrada exista, devolve as informações nela contidas

ao dispositivo que realizou o pedido, sendo a identificação do pedido feita através do *token* associado a este e à resposta devolvida pelo servidor [**28**, **29**].
A camada *message* é responsável por garantir a fiabilidade da conexão e a retransmissão de pacotes que sejam perdidos visto que o protocolo UDP não é capaz de o fazer por si mesmo. Para este fim são usados 4 tipos de mensagens, Confirmable (CON), Non-Confirmable (NON), Acknowledgment (ACK) e Reset (RST). As mensagens CON e NON são usadas para indicar se a comunicação têm de ser fiável ou não ou seja, se a mensagem têm de ter a sua receção confirmada com uma mensagem ACK [**28**]. As mensagens do tipo RST são usadas em casos que a mensagem é recebida mas não consegue processar a mensagem devido à falta de dados acerca do contexto, sendo estas enviadas do recetor para o emissor [**32**].
Para conferir algum tipo de segurança, como encriptação e prevenção de ataques, ao CoAP é usado o protocolo Datagram Transport Layer Security (DTLS) existindo atualmente um esforço para o otimizar para dispositivos com poucos recursos já que este não foi desenhado com o paradigma IoT em mente [**28**, **32**].
Graças ao modo de funcionamento descrito anteriormente bem como a codificação binária da totalidade da mensagem e o tamanho máximo convencional da mesma [**30**], o CoAP é visto como um protocolo leve tanto ao nível de recursos consumidos nos dispositivos como a nível de largura de banda consumida no entanto como o protocolo UDP é usado a fiabilidade das ligações decresce [**23**].
Atualmente têm existido estudos e tentativas para a integração do paradigma *publish/subscribe* no CoAP de modo a aumentar a flexibilidade do mesmo para dispositivos com interrupções de conexão longas [**23**, **28**, **29**].

Para as funcionalidades associadas à camada de transporte são usados protocolos como:

- **UDP** é um protocolo de transporte fim-a-fim orientado ao datagrama que trabalha pelo modo *best effort*.
  Desenhado com aplicações e serviços nos quais a perda e ordem de chegada dos dados não são um fator importante e que apenas necessitam de altos níveis de *throughput* e *delay* reduzidos em mente [**33**], o UDP é visto como um protocolo não fiável mas simples e rápido. Outros aspectos do UDP que contribuem para esta visão são a falta de métodos de controlo de congestionamento, fluxo, ordem de chegada ou pacotes duplicados, inexistencia de *handshakes*, ou seja, da formação de conexões, a simplicidade do seu cabeçalho, a falta de variáveis de estado e o uso de *checksums* como método de deteção de erros [**34**].
  O datagrama usado pelo protocolo UDP é constituido por um cabeçalho com 4 elementos, porta de origem, porta de destino, *checksum* e comprimento do datagrama na sua totalidade, todos com um tamanho máximo de 2 bytes e pelos dados, com um tamanho máximo igual ao permitido pela versão do protocolo Internet Protocol

(IP) usado **[34]** e limitado pela MTU permitida, isto com o tamanho do cabeçalho já em consideração. Este datagrama é então encapsulado num pacote IP com um cabeçalho varíavel entre versões, mas que contém em ambas as versões o endereço de chegada e de destino, sendo o datagrama UDP o *payload* do mesmo, sendo este enviado para a camada de rede para ser usado pelo protocolo IP.
O uso do protocolo IP fornece as capacidades de encaminhamento e envio de pacotes entre dispositivos ao protocolo UDP, disponibilizando o acesso às interfaces IP através da qual um conjunto de operações podem ser realizadas sobre o pacote.
Em termos de métodos de transmissão, este pode utilizar unicast, multicast, broadcast ou anycast **[33]**, aumentando a versatilidade deste protocolo;

- **Transmission Control Protocol (TCP)** é um protocolo de transporte fim-a-fim orientado à conexão desenvolvido de modo a possibilitar o transporte controlado, fiável e ordenado de dados, utilizando um conjunto de mecanismos e técnicas para garantir estas qualidades associadas aos seus serviços.
  O estabelecimento de conexões, também conhecidas como sessões, entre duas máquinas é realizado através de um *handshake* triplo **[35]**, o qual para além de ser usado para confirmar o estado de prontidão para enviar e receber dados também server para a partilha de informações como o Initial Sequence Number (ISN) em cada máquina, o Maximum Segment Size (MSS) que o receptor está disposto a receber e a determinação de um valor inicial de RTT, iniciando-se a transmissão de dados com a finalização do *handshake*.
  Esta partilha de dados é realizada através do envio de segmentos TCP, os quais contêm informações como portas de origem e destino da socket, número de sequência e de ACK, tamanho do header, um espaço reservado para aplicações futuras, bits de controlo, tamanho da janela que o receptor está disposto a receber, o *checksum*, o apontador de urgência, opções e por fim os dados a ser enviado no segmento **[35]**.
  Tal como no protocolo UDP, estes segmentos são encapsulados em um pacote IP por motivos semelhantes.
  Durante este processo de partilha todos os segmentos têm de ser confirmados através de mensagens de ACK pelo receptor antes que outro possa ser enviado ou confirmado. Este processo de confirmação de segmentos é a base para maior parte dos mecanismos que asseguram a fiabilidade do protocolo TCP **[45]**.
  O controlo de congestionamento e de fluxo são feitos através do uso de *sliding windows*, contudo estas apresentam algumas diferenças na maneira como são inicializadas e controladas.
  A janela de congestionamento representa quantos segmentos podem ser transmitidos pelo transmissor sem que este congestione a rede, sendo que o valor da mesma é inicializado a 1, aumentando exponencialmente através do uso do mecanismo de *slow*

start até que este se aproxime de um valor igual ou maior ao threshold ou até que ocorra a primeira perda, passando a ser usado o mecanismo de *congestion avoidance* no qual a janela de congestionamento aumenta linearmente.
Quanto ao controlo de fluxo este emprega duas janelas, uma janela de receção e uma de envio. A janela de envio encontra-se receptor pelo que esta contêm todos os segmentos ordenados por ordem de envio, definindo a quantiade de segmentos que podem ser enviados através do envio do espaço disponível na janela de receção (buffer do receptor) para novos segmentos na mensagem ACK, sendo que só é possível avançar dentro da janela de envio quando os segmentos na cauda da janela são confirmados pelas mensagens ACK.
Quando é detetada a receção de uma mensagem ACK com o mesmo número de sequência 3 vezes seguidas ou que a confirmação de um segmento não chegou dentro do período de *timeout*, este determinado com base nos RTT e uma margem de erro, dá-se inicio à aplicação dos mecanismos de retransmissão e controlo de congestionamento. Caso a deteção seja realizada por um ACK triplo, é ativado o mecanismo de *fast recovery* e de *fast retransmit*, sendo que o primeiro diminui a janela de congestionamento para metade do seu valor, aumentando com cada cada ACK duplicado de modo a permitir o envio de segmentos que estejam a seguir ao segmento perdido, voltando a metado do valor original quando o *fast retransmit* consegue retransmitir o pacote perdido o qual é iniciado mal é detetado a terceira mensagem ACK duplicada [**46**]. Se a perda for detatada por *timeout* o valor da janela volta a ser de apenas um segmento e o valor do *threshold* passa a ser metade do valor original, iniciando-se novamente o mecanismo de *slow start* contudo, a retransmissão do pacote perdido pode provocar comportamentos inesperados [**46**].
Apesar de serem necessários para que o protocolo TCP tenha as qualidades associadas ao mesmo, estes mecanismos, bem como o overhead introduzido nos segmentos TCP para que o seu funcionamento seja possível, tornam o protocolo TCP em um protocolo pesado e com uma latência relativamente elevada quando comparada a outros protocolos de transporte [**12**];

- **Quick UDP Internet Connections (QUIC)** é um protocolo de transporte de uso geral, orientado à conexão, multiplexado e seguro desenvolvido em cima do protocolo UDP com propriedades semelhantes ao TCP [**37**].
  Apesar de ter sido construido sobre o protocolo UDP, o protocolo QUIC é visto como fiável, já que este para além de possuir métodos baseados em algoritmos modernos de controlo de congestionamento para cada conexão e de controlo de fluxo para cada *stream* também usa métodos de deteção de erros e retransmissão de dados próprios [**23**, **37**].

Este é visto como uma possível alternativa ao protocolo TCP, tendo algumas vantagens como a diminuição da latência da conexão através da união dos parâmetros de transporte e da criptografia durante o *handshake* através da integração do protoclo TLS com o QUIC[**37**], a evitação do fenómeno de *head-of-line blocking* através da multiplexação de várias *streams* numa única conexão, a encriptação de todos os dados e autenticação de todos os cabeçalhos [**38**] tudo isto em troca de menor compatibilidade e um aumento da complexidade das implementações que usem o protoclo QUIC.

Para as funcionalidades associadas à camada de rede são usados protocolos como:

- **Internet Protocol Version 4 (IPv4)** é um protocolo de rede ;
- **Internet Protocol Version 6 (IPv6)** é um protocolo de rede ;
- **Routing Protocol for Low-Power and Lossy Netwoks (RPL)** é um protocolo de encaminhamento.

Para as funcionalidades associadas à camada de ligação e física são usados protocolos como:

- **Wi-Fi**, é um conjunto de tecnologias para redes Wireless Large Area Network (WLAN) baseado na norma 802.11, definida e mantida pela nstitute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) e, comercializado e certificado pela Wi-Fi Alliance.
  Originalmente desenhado como uma evolução do protocolo IEEE 802.3, conhecido também como Ethernet ou redes LAN, o standard 802.11 permite a formação de redes sem fios numa área local como também o acesso à internet sem fios, sendo tudo isto possível, de um modo simples, a partir de um único Access Point (AP) ao qual os dispostivos, denominados como estações móveis, se conectam, podendo também existir uma rede de backbone física. Dado o potencial da norma 802.11 e a simplicidade e baixo custo de manutenção e instalação dos equipamentos Wi-Fi, é posssível encontrar atualmente redes baseadas em tecnologias Wi-Fi em quase qualquer local. Dentro do conjunto de tecnologias Wi-Fi, duas são de especial interesse para aplicações no paradigma IoT, o Wi-Fi 6 e Wi-Fi HaLow.
  O Wi-Fi 6 baseia-se na norma 802.11ax, a qual utiliza canais na banda de 6 GHz em complemento aos canais nas bandas de 2.4 GHz e 5 GHz para a transmissão de dados, possuindo taxas de transmissão para valores entre 600 Mbps e 9.6 Gbps contudo, este apenas possui uma distância de transmissão até 45 metros. Graças ao uso de tecnologias como Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) e Target Wake Time (TWT) este possui níveis de latência e de tempo útil de vida superiores a versões anteriores.
  O Wi-Fi HaLow baseia-se na norma 802.11ah e foi desenhado com dispostivos IoT

em mente, utilizando canais sub 1 GHz para a transmissão de dados, aumentado a distância máxima de transmissão tanto em espaços exteriores e interiores graças ao aumento da penetração do sinal e da diminuição do número de interferências graças a um menor número de utilizadores quando comparado à banda de 2.4 e 5 GHz, podendo chegar a distâncias de 1 quilómetro no exterior contudo, isto provoca uma diminuição das taxas de transmissão, sendo que este só é capaz de transmitir dados com um taxa de transmissão entre 150 Kbps e 317 Mbps. Por fim, a união destes fatores provoca um aumento da vida útil dos dispositivos visto que os consumos de bateria são reduzidos [**23**].

- **Redes Celulares**, trata-se de uma definição para redes de telecomunicações sem fios onde terminais móveis acedem à estação base responsáveis por cobrir uma determinada área, denominada de célula, sendo que a união de várias células forma uma rede capaz de cobrir grandes quantidades de utilizadores e distâncias. Depenendo das tecnologias usadas na estação base, o comportamento e características das células

- **Bluetooth Low Energy (BLE)** é um tecnologia de rede Wide Personal Area Network (WPAN) derivada do protocolo Bluetooth e desenvolvida pelo Bluetooth Special Interest Group [**23**].
  Ambos os protocolos transmitem na banda de 2.4 GHz, mais especificamente na banda INDUSTRIAL, SCIENCE, AND MEDICAL (ISM), contudo o BLE apresenta uma distância máxima de transmissão de 100 metros e um throughput de 1Mbit/s, os quais são inferiores aos disponibilizados pelo Bluetooth original no entanto, o BLE têm consumos energéticos e custos inferiores. Esta diferença de consumos energéticos assenta no facto de o BLE apenas transmitir uma grande quantidade de pacotes com um tamanho pequenos em vez de usar a técnica de *streaming* [**14**], eliminando a necessidade de uma ligação contínua, mas também no modo de baixo consumo em que os dispositivos entram quando não existe uma ligação estabelecida.
  Os dispositivos que usam o protocolo BLE podem ser separados em 2 classes, mestres e escravos. Os dispositivos mestre são os únicos dispositivos capazes de formar estabelecer conexões de uma forma ativa, funcionando deste modo como controladores dos dispositivos escravos os quais após se conectarem a um dispositivo mestre, permanecem num mode de baixo consumo até o dispositivo mestre comunicar com os mesmos para que estes recebam ou lhe enviem dados [**14**, **23**]. Estas características fazem com o protocolo BLE seja visto como um protocolo indicado para casos uso nos quais dispositivos com poucos recursos sejam utilizados ou para os quais a maximização do tempo de vida útil dos dispostivos seja importante.

2.1.3 Middleware

Visto como um software que actua como intermediário entre dispostivos IoT e as aplicações ou serviços [**36**], o middleware é encarado como uma parte importante do paradigma IoT.

A sua importância para o paradigma IoT advém da sua capacidade de resolver os problemas de interoperabilidade entre objetos inteligentes e aplicações, as quais muitas vezes são heterogéneas, através da abstração dos detalhes dos objetos inteligentes, tais como protocolos de comunicação, estruturas e codificações de dados, facilitando as comunicações intra objetos e entre objetos e aplicações, sendo esta capacidade inerente a todas as soluções de middleware para IoT [**14**]. Para além disto, as soluções middleware também incluem componentes para comunicação, gestão de dados, computação, segurança e privacidade de modo a tentar resolver um ou mais desafios como descoberta e gestão de dispositivos, escalabilidade, *big data* e análise, segurança e privacidade, serviços na nuvem e detecção de contexto [**14**, **23**].

Dependendo do arquitetura escolhida para a projeção uma solução middleware pode ser classificada como orientada a serviços, baseada em microserviços, eventos ou soluções cloud, entre outros.

Middlewares baseados em Service Oriented Architecture (SOA) podem ser separados em camadas resultando na arquitetura representa na figura **??**.

A camada física é constituida por dispositivos IoT que fornencem os dados necessários ao funcionamento dos serviços, sendo esta informação transmitida à camada de virtualização, a qual é constituida por servidores locais ou em cloud responsáveis por funções que exigam um poder computacional maior [**36**], sendo que a camada física e algumas das partes da segunda camada são vistas como provedores de serviços[**14**, **23**]. O conjunto de recursos usados por cada provedor é abstraido sob a forma de serviços, os quais são registados num repositório presente na segunda camada, podendo estes então ser descobertos e consumidos por consumidores de serviços, como aplicações e outros serviços [**14**].

Este tipo de middleware tende a ter um bom desempenho em troca de ser pesada, o que faz com que este seja apenas indicado para *nodes* ou *gateways* com recursos [**23**].

Middlewares baseados em eventos possuem uma arquitetura semelhante à usada pelo paradigma *publish/subscribe*, exemplificada na figura **??**. Neste tipo de middleware todos os elementos, conhecido como clientes, interagem entre si através de eventos os quis são processados, temporariamente armazenados e redirecionados por um *broker* de eventos.

Estes eventos são produzidos de acordo com os parâmetros e protocolos do cliente produtor, sendo estes processados e adaptados pelo *broker* de modo a que estes possuam um significado universal e fácil de interpretar baseado no tipo e alguns parâmetros do evento original. Caso algum cliente se encontre subscrito a um certo tipo de eventos, estes é notificado pelo *broker*, podendo então receber o evento e a informação contida no mesmo.

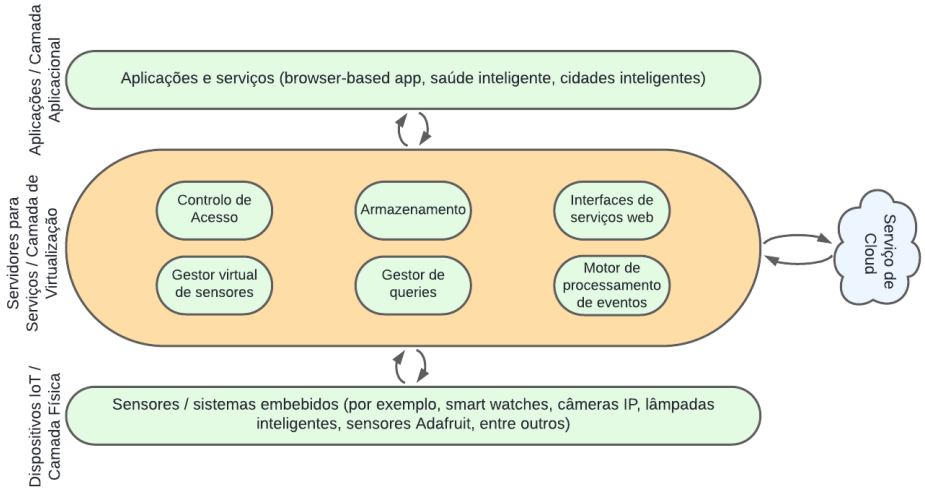

Figura 4: Exemplo de uma SOA. (Baseado em [**23**])

Esta capacidade de tornar as diferenças de hardware irrelevantes graças ao uso da arquitetura do paradigma *publish/subscribe* como base faz com que este tipo de middleware seja capaz de facilitar o fornecimento de serviços em ambientes heterogéneos e de grande escala, permitino também o decrescimo dos tempos de desenvolvimento de funcionalidades graças à abstração dos sistemas de cada cliente [**23**]. Middlewares baseados em cloud

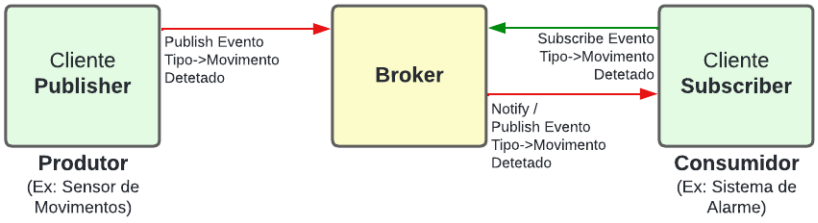

Figura 5: Exemplo de uma arquitetura baseada no paradigma *publish/subscribe*. (Baseado em [**23**])

tendem, de um modo geral, a estar limitados pelas capacidades da cloud da plataforma na qual este middleware se integra pelo que a arquitetura do mesmo geralmente centra-se no acesso à cloud ou na Application Programming Interface (API) da mesma, obrigando ao uso de aplicações desenvolvidas pelo fornecedor do middleware ou pedidos à API para aceder aos serviços fornecidos. Para além das restrições impostas pelas capacidades da cloud, este tipo de middleware também têm os seus serviços constrangidos consoante o número de dispostivos IoT que possuem a capacidade de comunicar com a cloud.

Este tipo de middleware apresenta algumas vantagens como a simplificação e aumento da velocidade da recolha, interpretação e distribuição dos dados recolhidos visto que muitos dos casos uso podem ser simplesmente predefinidos e resolvidos através de ferramentas de gestão e análise presentes na cloud [**23**, **36**], sendo que a utilidade deste tipo de middleware assenta no uso do mesmo como um sistema eficiente de armazenamento ou processamento.

2.1.4 Futuro e Problemas

Analisando todo o material e documentos usados para a decomposição e descrição dos componentes do paradigma IoT e tendo em conta o potencial económico e académico do mesmo é possível concluir que o futuro deste é promissor, representado principalmente pela introdução do 5G-IoT e tecnologias como inteligência artifical, *machine learning* , *deep learning* e a desenvolvimento de e de autenticação e encriptação já existentes para a sua aplicação em dispositivos IoT e adaptação de métodos já existentes.

Contudo, este ainda apresenta uma conjunto de problemas a resolver como:

- Falta de segurança e privacidade em diversas partes do paradigma, causada pela falta de implementação de métodos de encriptação de dados e de autenticação em troco de melhores níveis de desempenho, mas também pela ausência de protocolos suficientemente leves para serem aplicados ao nível da percepção;
- Problemas de acesso, fiabilidade causados por uma falta de cooperação entre os fabricantes;
- Problemas relacionados com a sustentabilidade visto que o aumento exponencial de dispostivos IoT a serem usados e produzidos provoca e irá provocar um aumento do lixo eletrónico produzido, não só pelo fim de vida útil dos dispositivos mas também pelos resíduos e danos ambientais provocados durante a recolha de matéria-prima e produção dos mesmos, o que é exacerbado pelos possíveis ganhos económicos principalmente associados às aplicações domésticas e industriais do paradigma IoT;

2.2 Redes Veiculares

Tidas como uma consequência positiva do crescimento do número de veículos presentes nas estradas e da quantidade de problemas associadas a este crescimento exponencial como acidentes, congestionamento, trâfego inefeciente, entre outros [**40**], as redes veiculartexites são vistas como uma solução para combater estes problemas.

Originalmente desenhadas para permitir comunicações Vehicle-to-Vehicle (V2V) e Vehicle-to-Infrastructure (V2I) através de Vehicular Ad-hoc Networks (VANETs) de modo a fornecer a capacidade de avisar condutores sobre possiveís perigos na estrada ou simplesmente informar o mesmo do estado e posição dos veículos que se encontravam em próximidade do seu [**41**], estas são atualmente vistas como redes alargadas com uma densidade variável, sem restrições energéticas já que os nodes são veículos e com uma mobilidade relativamente previsível visto que estas seguem os caminhos delimitados por estradas [**44**].

Dada a atração da comunidade científica mas também da comunnidade empresarial estas evoluiram de modo a possuir mais capacidades e englobar um conjunto maior de participantes na rede, aplicações e utilidades. Esta evolução de capacidades deu-se não só na aumento da capacidade de percepção dos veículos como também na incorporação de novas tecnologias, protocolos e standards [**41**, **42**] tais como a introdução das tecnologias de computação de fronteira e na nuvem, novos protocolos de encaminhamento e evolução do protocolo 802.11 e a normalização de novos tipos de mensagem como Vulnerale Awareness Message (VAM). Isto permitiu a mitigação de alguns dos problemas associados ao desenvolvimento de soluções baseados em redes veiculares, oriundos da natureza deste tipo de redes, como atenuação de sinal, larguras de banda limitadas, conexão instável, distância máxima da rede, encaminhamento e segurança e privacidade.

Os casos usos, requisitos e standards são normalizados na Europa por organizações como a European Telecommunications Standards Institute (ETSI) e CAR 2 CAR Communication Consortium (C2C-CC) em conjunto com outras organizações a nível global de modo a tentar garantir a interoperabilidade e harmonização das redes veiculares entre diferentes regiões do globo, mas também de modo a assegurar a fiabilidade e segurança da aplicação e uso de soluções baseadas em tecnologias associadas às redes veiculares em contextos reais dado as possiveís consequências da má aplicação destas tecnologias.

Atualmente as aplicações das tecnologias associadas às redes veiculares podem ser divididas em categorias dedicadas a certas áreas como:

- Segurança rodoviária do utilizador, o qual incorpora casos uso como mudança de vias cooperativa, aviso avançado de violação de sinais de tráfego, previsão avançada pré-colisão, entre outros;
- Gestão de tráfego local, com casos uso como controlo de cruzamentos através de semáforos para prioritização de veículos de emergência, negociação da velocidade optima para arranque após a luz verde, entre outros;
- Proteção ambiental, com casos uso como sistemas de ajustamento cooperativo da pressão de pneus, gestão de agrupamentos de camiões, entre outros;
- Segurança rodoviária de VRUs, com casos uso como preseção de presença de VRUs, aviso de colisão com VRUs, entre outros;
- Gestão global de tráfego, com casos uso como gestão de desvios nas rotas, formação de corredores dedicados para veículos prioritários, entre outros;
- Proteção de cidadãos, com casos uso como alerta de desastre naturais, assistência em intercepções policiais, etnre outros;
- Assistência à mobilidade, com casos uso como sistemas de verificação de disponibilidade de parques, sistemas de aparcamento automáticos, entre outros;

- Respeito à lesgislação, com casos uso como assistência em intercepções policiais, entre outros;
- Proteção dos bens do utilizador, com casos usos como sistemas de deteção de veículos roubados, entre outros.

2.2.1 Redes Ad-Hoc Veiculares

Redes ad-hoc Veiculares, ou VANETs, são um tipo de Mobile Ad-Hoc Network (MANET) desenhadas com o intuito de usar veículos como os principais *nodes* da rede. Neste tipo de redes não existe uma infraestrutura centralizada, pelo que as comunicações e gestão da mesma são efetuadas através de redes sem fios heterogéneas formadas espontâneamente entre *nodes* móveis que se encontrem dentro da área de cobertura de cada um, ficando cada *node* responsável por reencaminhar o tráfego que lhes chegue*node* podendo usar mais que um salto para este efeito.

Dada a natureza das redes ad-hoc, estas sofrem de um conjunto de desafios como problemas na escolha do tipo de arquitetura de encaminhamento, se as comunicações são bidirecionais ou unidirecionais, a qualidade de serviço do encaminhamento e encaminhamentos multicast, sendo estes provocados, principalmente, pela diferença de capacidades entre *nodes* e a mobiliade dos mesmos.

Desenhadas originalmente com o intuito de permitir comunicações V2V e V2I, as VANETs possuem uma arquitetura constituída por elementos físicos como Onboard Units (OBUs), Application Units (AUs) e Road Side Units (RSUs) e os respetivos veículos e infraestrutura, incluíndo a de *backbone*, onde estes se encontram instalados e os domínios de comunicação através do qual estes comunicam, tal como exemplificado na figura **??**.

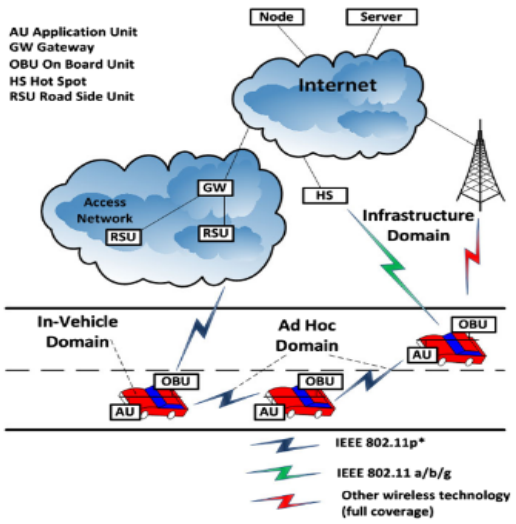

Figura 6: Exemplo de uma arquitetura para VANETs. (Retirado de [**41**])

Descrição de cada elemento físico da arquitetura:

- **OBUs** são dispositivos instalados em veículos responsáveis por receber e partilhar informações normalmente enviadas sob a forma de mensagens Cooperative Awareness Message (CAM) e Decentralized Enviormental Notice Message (DENM) de e para outros OBUs ou para RSUs.
  Estes são geralmente constítuidos por unidades de processamento responsáveis por analisar e processar os dados que chegam ao OBU e os que são produzidos pela rede intra-veicular, unidades de armazenamento, unidades de rede cuja função é a operação e mantimento das interfaces de diferentes tecnologias de telecomunicações usadas para as necessidade de comunicação do veículo e da rede onde o veículo se encontra e uma interface para o utilizador.
  Estes também encontram-se ligados às AUs através de uma conexão física ou de sem fios fornecendo-lhes o acesso aos seus serviços de comunicação e de armazenamento de dados de modo a que estes possam implementar os serviços para que foram desenhados com a melhor eficiência possível;

- **AUs** são dispositivos instalados em diversos pontos de um veículo dedicados à aplicação de serviços, os quais usam a ligação das AUs aos OBUs para obter ou partilhar dados uteís à aplicação dos serviços.
  Os serviços fornecidos pelas AUs variam desde sistemas de segurança rodoviária até simples sistemas de recolha e fusão de dados, sendo a quantidade de serviços fornecida e dos próprias AUs dependente do fabricante;

- **RSUs** são dispositivos instalados na infraestrutura em locais estratégicos equipados com interfaces de diferentes tecnologias de telecomunicações para possibilitar a comunicação com veículos e a rede de *backbone*.
  Estes são responsáveis por aumentar as distâncias de comunicação da rede através do redirecionamento da informação que lhe chega de um OBU para a rede de *backbone*, para outros RSUs e OBUs próximos, sendo também responsáveis pelo fornecimento de informações aos OBUs tais como avisos produzidos por aplicações de segurança na infraestrutura ou informações contidas na *cloud* e por fornecer acesso à internet aos OBUs.

De modo a facilitar o processamento de inforamação e a interoperabilidade entre os diferentes dispositivos que formam estas redes, as comunicações entre os mesmos tendem a ser feita segundo um conjunto de mensagens definidas pelas normas da região onde estas ocorrem, existindo esforços para que as mensagens das diferentas normas possuam objetos semanticamente semelhantes bem como a criação de normas de mensagem aceites em todas as regiões. Dentro dos tipos de mensagens definidos pela ETSI para comunicações em redes veiculares, as mensagens CAM e DENM são as mais antigas e utilizadas, existindo para cada uma, um serviço responsável pela produção e envio das mesmas.

As mensagens CAM têm como principal objetivo a criação de uma noção mútua da existência nos veículos e em outros objetos que se encontrem dentro de uma VANET e do estado atual de cada um. Estas são enviadas quando existe uma variação no estado de um elemento, em intervalos de tempo não menores que 0.1 ou superiores a 1 segundo, isto tendo em conta o estado do canal de transmissão.

Estas são formadas, enviadas e recebidas em elementos pertencentes a uma rede veicular através do serviço básico de Cooperative Awareness (CA) o qual usa um Protocol Data Unit (PDU) semelhante ao da figura **??** para enviar os dados relevantes para as aplicações de CA numa única unidade de informação.

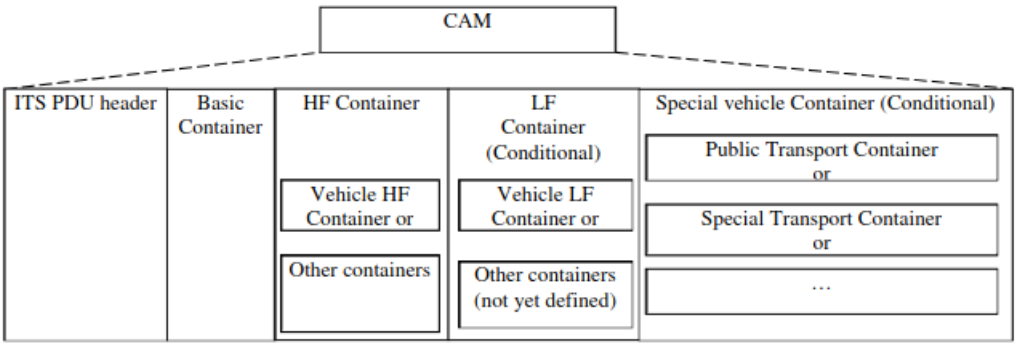

Figura 7: Estrutura para PDUs para mensagens CAM. (Retirado de [**41**])

Desc dos blocos

Utilidade das mensagens CAM em termos de aplicações / utilidade extra das mensagens CAM para protocolos dependentes da posição do elemento emissor na camada de rede e transporte

As mensagens DENM têm como principal objetivo o suporte de aplicações associadas a serviços de Road Hazard Warning (RHW) os quais melhoram a segurança rodoviária e a eficiência do tráfego.

Todas as operações associadas a estas mensagens são realizadas através do serviço básico Decentralized Enviormental Notice (DEN)

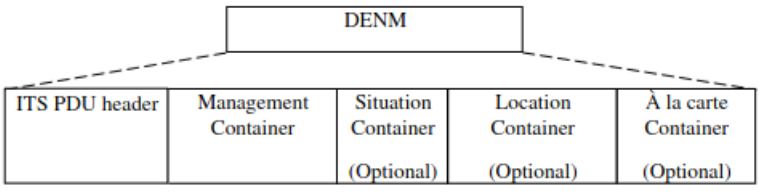

Figura 8: Estrutura para PDUs para mensagens DENM. (Retirado de [**41**])

Dada a natureza móvel e relativamente imprevisível dos *nodes* das VANETs é possível que muitos destes apenas consiguam formar conexões esporádicas e com durações relativamente curtas pelo que é necessário que estes sejam capazes de tolerar atrasos ou

interrupções nas comunicações, recorrendo-se para este fim a tecnologias e técnicas agregadas sob o conceito de Delay Tolerant Networks (DTNs). Originalmente concebido para comunicações entre intraespaciais interespaciais, este conceito foi adaptado para outros tipos de redes, especialmente redes oportunísticas e com problemas similares

2.2.2 Rede Intra-Veiculo

Falar da rede de sensores, LIDAR, links físicos e wireless e os requisitos de todas estes

2.2.3 Redes de comunicações V2X

As redes veiculares clássicas revelaram-se incapazes de suportar todas as necessidades emergentes de novos serviços, existindo a necessidade de incluir novas entidades como participantes das redes veiculares de modo a expandir as capacidades de comunicação destas redes, dando então origem o conceito de comunicações V2X. Como se trata de uma evolução, as redes de comunicações V2X mantêm as comunicações previamente comtempladas pelas VANETs introduzindo comunicações com outras entidade como:

- Cloud, Vehicle-to-Cloud (V2C)
- Pessoas, Vehicle-to-Person (V2P)
- Outras redes, Vehicle-to-Network (V2N)
- Dispostivos móveis, Vehicle-to-Device (V2D)

2.2.4 Arquitetura

Lol

2.2.5 Protocolos

Falar da pilha protocolar, referênciar que para muitas das zonas os protocolos usados são semelhantes ao do IoT
Pontos a falar: Como é definido um protocolo de encaminhamento e dos DT e não DT, diferenças entre ativo, reativo e híbrido;
-> BTP e GeoNetworking (faltam ler documentos para referência aqui) e GN6 , referencia ao IpV6 falado para no IoT, verificar se o uso permanece semelhante na sua base;
-> Falar do ITS-G5 e LTE-V2X, DSRC a ser falado na parte das VANETs visto que este está a cair em desuso.

2.2.6 Futuro e Problemas

2.3 Internet Of Vehicles

Internet of Vehicles, ou IoV, é visto como um paradigma no qual veículos equipados com hardware e software especializados conseguem formar redes ad-hoc, possibilitando a conexão do mesmo a outros veículos como também a outras entidades, podendo estes partilhar dados gerados pelos mesmos ou dados oriundos de outros participantes da mesma ou outras redes [**26**].

Dado o aumento de casos uso de aplicações do paradigma IoT no setor automóvel, o conceito de IoV pode ser visto como uma evolução das redes veiculares clássicas, na qual dispositivos IoT passam a usar tecnologias V2X como *backbone* para as suas aplicações [**27**], o que faz com que este tenha duas orientações tecnológicas principais, rede veiculares e inteligência de veículos [**26**].

A colaboração destas duas tecnologias faz com que o IoV seja capaz de fornecer e suportar serviços de grande escala, onde diferentes entidades, redes e ambientes cooperam de modo a criar uma rede inteligente capazes de satisfazer as necessidades destes serviços através da utilização das capacidades dos diversos sistemas disponíveis nas entidades que constituem esta rede [**21**], com especial incidência em veículos, estando estes serviços disponíveis dentro e fora dos veículos para as entidades da rede [**26**].

Graças às características do IoV, este possui um número de vantagens técnicas quando comparado às redes veiculares clássicas, tais como:

- Capacidade de computação e armazenamento aumentadas graças ao desenvolvimento e integração de novas OBUs, bem como a introdução e uso de computação na cloud e de computação de fronteira [**22**, **27**];

- Arquiteturas de referência com inclusão de um maior número de caso usos e tecnologias usadas por dispostivos fora das VANETs, facilitando a conexão de dispositivos pertencentes a outras entidades, permitindo a cooperação entre redes V2V e as restantes redes [**22**];

- Estabilidade e distância máxima das comunicações superior devido ao uso de outras redes para além das contempladas pelas redes veiculares clássicas, aumentando a chance de um acesso continuo e estável a serviços, melhorando por consequência a fiabilidade destes serviços já que a informação consumida por estes serviços deixa de ser apenas local visto que o veículo é capaz de manter acesso a outras fontes [**22**];

Para além de resultarem em uma melhor qualidade de condução para condutores, a utilização do IoV ,também têm efeitos positivos na economia, ambiente e qualidade de

vida, já que pode ser usado para evitar acidentes, congestionamentos, emissões excessivas de gases de estufa, entre outros [**21**].

2.3.1

To-Do

2.3.2 Protocolos

TO-Do

2.3.3 Futuro e Problemas

To-DO

2.4 Trabalhos Relacionados

To-Do

3

Desenvolvimento do Trabalho

Placeholder da Descrição do Caso Uso e Arquitetura do Sistema.

3.1 Caso uso considerado

3.1.1 Descrição

De modo a demonstrar que existe a possibilidade da integração das capacidades do paradigma IoT no contexto das redes veiculares o caso uso escolhido foi um que se baseia na localização de entidades nas estradas, neste caso ciclistas, e na assistência dos mesmos em caso de acidente. A figura **??** mostra uma exemplificação do caso uso.

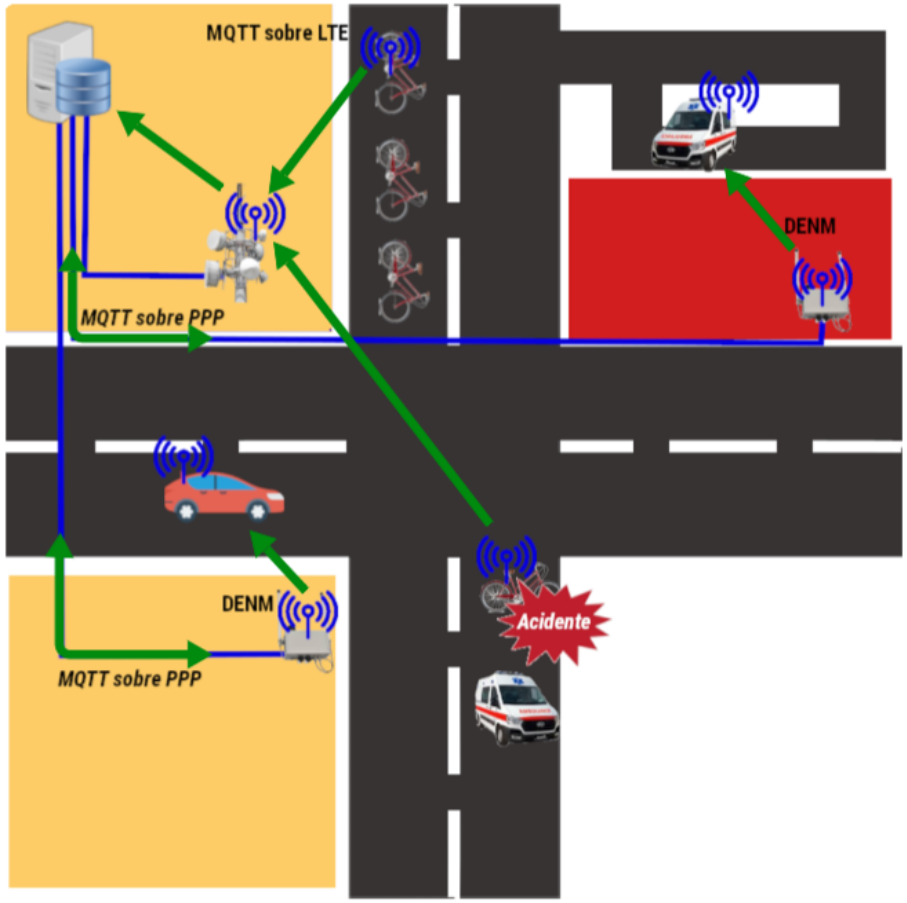

Figura 9: Exemplificação do caso uso escolhido

Recorrendo à figura **??**, uma descrição mais detalhada do caso uso é a seguinte. Uma ou mais bicicletas equipadas com a capacidade de transmitir a sua localização para um servidor deslocam-se em uma estrada. À medida que estas se deslocam, estas enviam a sua localização para o servidor que, por sua vez, armazena e a processa esta informação. Este conjunto de informação é por sua vez transferido para os RSUs, os quais se encontram ligados ao servidor por um meio físico, existindo um aproveitamento desta informação pelos mesmos.

O dispostivo integrado nestas bicicletas também é capaz de detetar quedas e caso uma das bicicletas sofra um acidente, esta envia um sinal de SOS para o servidor o qual reencaminha este sinal para o RSU presente em uma estação de emergência, sendo este o edíficio vermelho na figura acima. Este RSU, ao receber o sinal de SOS, efetua o processamento da informação contida no mesmo e verifica a disponibilidade de um veículo de emergência para assistir o ciclista acidentado e, caso exista um veículo disponível, envia o mesmo para um local próximo do acidente de modo a socorrer o ciclista. Para além de alertar o RSU da estação de emergência acerca do acidente, o servidor também alerta o RSU que se encontre mais próximo do acidente de modo a que este informe outros veículos que se encontrem na sua próximidade acerca do local onde este ocorreu de modo a que estes tomem as devidas precauções.

Apesar de não se encontrar descrito na figura, o ciclista pode evitar o envio do sinal de SOS caso o mesmo não necessite de assistência. Para tal, o ciclista pode deve pressionar um botão que se encontra no dispositivo colocado na bicicleta de modo a desatiar o serviço de emergência responsável pelo envio deste sinal.

A escolha deste caso uso assenta principalmente na possibilidade de demonstrar que existe a possibilidade de integrar componentes dos dois paradigmas em estudo nesta dissertação. Estes componentes seriam, dentro do paradigma do IoT, a integração da capacidade de acesso à internet e sensorização mais detalhada do seu estado num *dumb object*, neste caso, uma bicicleta e para o paradigma das redes veiculares, a aplicação de conceitos como Infrastructure-to-Vehicle (I2V) e outras componentes associadas à pilha ITS-G5 de modo a difundir informações entre (...).

3.1.2 Tecnologias Inerentes

Visando a implementação deste caso uso, foram escolhidas algumas tecnologias para que isto fosse possível. Estas tecnologias podem ser vistas como transcentes ao contexto do ambiente de aplicação do caso uso, tendo sido a sua escolha derivada não só de um estudo prévio das tecnologias disponíveis tanto para componente associada ao paradigma do IoT como para o paradigma das redes veiculares durante a realização dos capítulos associados ao estado da arte, mas também ao contacto com as mesmas durante a realização da componente prática.

Estas tecnologias são o LTE, Wi-Fi e MQTT, estando estas tecnologias presentes em quase todas as comunicações realizadas durante a aplicação do caso uso.

A escolha da tecnologia LTE como o principal meio de comunicação dos elementos móveis com a infraestrutura e restantes elementos do caso uso assentou principalmente em fatores associados à acessibilidade, disponibilidade, custo e eficiência energética desta tecnologia quando comparada a outras.

Estes fatores podem ser especificados da seguinte maneira:

- Maior parte dos locais têm accesso a redes celulars que utilizem esta tecnologia, sendo este fator acentuado em zonas rurais e com pouca infraestrutura de telecomunicações. Quando comparada a outras tecnologias tidas como recomendadas para entidades móveis, tais como o 5G, a tecnologia LTE apresenta uma cobertura total superior. Olhando para a figura **??**, é possível ver que a cobertura da rede 5G é significativa dentro da cidade do Porto, a qual possuí uma densidade populacional alta e uma infraestrutura de telecomunicações significativa. No entanto, isto não é o caso para cidades mais pequenas como castelo de paiva e nas zonas que se encontram fora dos centros populacionais. Contudo a rede 4G, a qual é acedida pelo LTE, não só está

presente nos locais em que é possível aceder ao 5G como também em zonas afastadas destes centros populacionais.

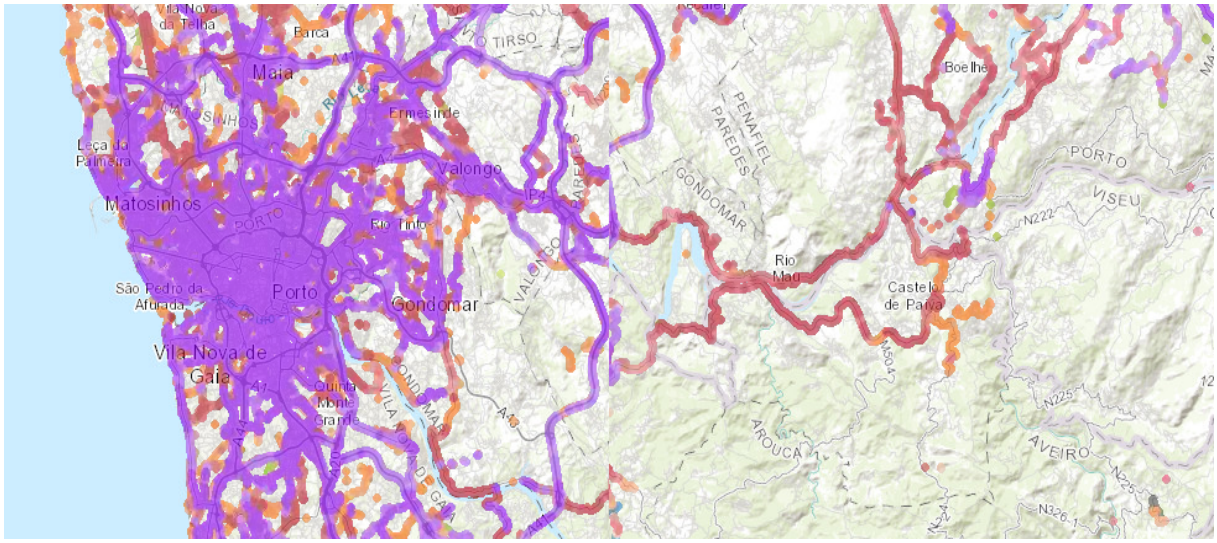

Figura 10: Cobertura da rede 5G e 4G em diferentes zonas (Obtido através de [**47**])

Contudo este benefício assenta principalmente no tempo de implementação superior do LTE e da existência de uma infraestrutura mais robusta e abundante para a utilização desta tecnologia;

- Os custos e complexidade de implementação reduzidos quando comparados a outras tecnologias. Como a tecnologia LTE já se encontra implementada em massa e ainda beneficía de um nível de utilização alto, dispondo de vários produtores de *hardware* e *software* o que leva a uma redução dos custos associados à instalação não só da infraestrutura necessária ao seu funcionamento bem como na criação de dispostivos capazes de recorrer a esta tecnologia e no acesso à rede em si;

- Aumento do tempo de vida útil da bateria dos dispositivos móveis. Como a tecnologia LTE usa uma taxa e frequência de transmissão menores quando equiparado a tecnologias de redes celulares mais recentes o que leva a que este utilize menos energia para transmitir o que é ainda mais perceptível enquanto este passivo. Este benefício é acentuado se forem utilizados protocolos como o LTE-M, os quais são desenhos especificamente para aplicações em dispositivos móveis e com poucos recursos energéticos.

Apesar de existirem alguns pontos que podem ser apontados como negativos em relação à escolha do LTE como a principal tecnologia de comunicação para os elementos móveis dentro deste caso uso tais como a taxa de transmissão reduzida, latência ligeiramente superior e a sua relativa ineficiência dentro de cidades quando comparado a outras tecnologias é importante destacar que estes fatores acabaram por não influenciar a escolha desta

tecnologia. Isto fundamenta-se no facto de que o dispostivo a utilizar para a localização das bicicletas deve possuir uma autonomia de bateria alta, ser relativamente barato e capaz de transmistir a sua localização não só em zonas urbanas mas também em zonas onde a infraestrutura de telecomunicações é escaça e onde o sinal poderá estar exposto interferências significativas.

Por sua vez, a escolha da tecnologia Wi-Fi como a principal tecnologia de comunicação para a componente associada às redes veiculares atribuí-se ao facto desta ser um dos pontos centrais do protocolo ITS-G5, mais especificamente, o protocolo 802.11p. Como o protocolo ITS-G5 é um dos principais protocolos atualmente em uso dentro das redes veiculares, é possível assumir que a maior parte dos veículos ira ter algum tipo de capacidade de acesso a esta tecnologia. Para além disto, como as comunicações onde o Wi-Fi é utilizado possuem uma distância máxima relativamente baixa mas com necessidades de uma latência baixa, o Wi-Fi é visto uma boa escolha.

Por fim, a escolha da tecnologia MQTT deve-se aos baixos requisitos em termos de recursos para a sua utilização, simplicidade de implementação e capacidade de trabalhar em rede instáveis o que faz com que esta tecnologia seja apetecível para ser usada no contexto deste caso uso dado as características do dispositivo. Para além destes fatores, o modo de aplicação do paradigma publish/subscribe na arquitetura do MQTT simplifica o desenvolvimento da aplicação como um todo. Isto ocorre porque a necessidade de uma base de dados para retenção dos dados é removida, ao mesmo tempo que desafios comuns às comunicações em ambientes móveis, como a assincronia das comunicações e sua instabilidade, são mitigados.

3.2 Descrição da Arquitetura do Sistema

Com o propósito de atingir os objetivos propostos, foram levantados alguns requisitos de modo a desenhar um sistema capaz de os satisfazer aquando da aplicação do caso uso. Estes conjunto de requisitos incluí requisitos funcionais e não funcionais.

Dentro dos requisitos funcionais, o sistema desenhado deve ser capaz de recolher e transmitir informações tais como a localização e, em caso de acidente, o estado de SOS da bicicleta para um servidor/broker. Os dados acerca da posição das bicicletas devem ser transmitidos para todos os RSUs enquanto que os dados relacionados com o estado da bicicleta devem ser transmitios apenas para os RSUs indicados. Estes RSUs devem ser capazes de interpretar esta informação e a partir daí, tomar uma decisão. Caso o RSU esteja localizado em uma estação de emergência este deve ser capaz de alertar automáticamente uma ambulância da existência da bicicleta acidentada e em caso de existirem multiplos acidentes, responder ao pedido de SOS que se encontra em espera à mais tempo. Se o

RSU for o que se encontra próximo do acidente, este deve alertar os restantes veículos da posição do acidente e da rota da ambulância. A ambulância deve ser capaz de desenhar uma rota de modo a ir ao encontro da bicicleta acidentada e a retornar à estação de emergência após o acidente.

Em termos de requisitos não funcionais, o sistema deve ser escalável, robusto e estável, ser capaz de garantir a interoperabilidade entre os várias entidades e manter a fiabilidade dos dados durante as comunicações.

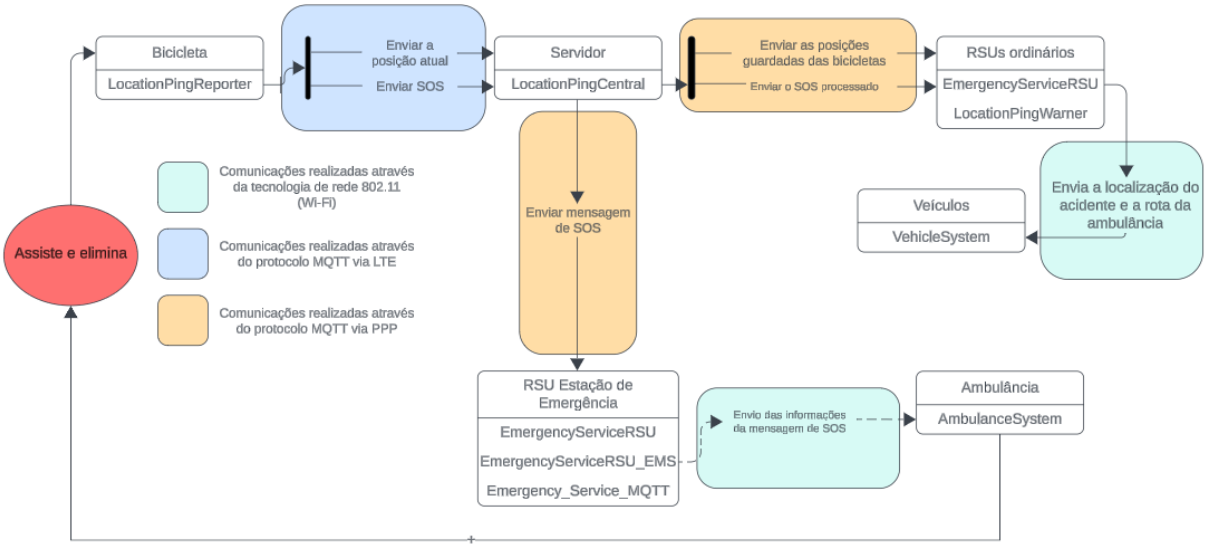

Figura 11: Arquitetura geral do Sistema

A arquitetura representada na Figura **??** ilustra a integração global dos diversos sistemas que compõem a solução concebida de modo a satisfazer os objetivos delineados. (para a aplicação do caso uso, ou outra explicação. De qualquer maneira acho que assim está bom).

Estes sistemas podem ser categorizados em dois grupos, sistemas associados ao paradigma IoT ou ao paradigma das redes veiculares. Nos sub capítulos à frente o funcionamento de cada um destes será explicado.

3.2.1 Sistemas associados ao paradigma IoT

Cada bicicleta é responsável pelo envio da sua posição ao servidor. Caso seja provocado um acidente, esta envia uma mensagem de SOS para o servidor, ficando imobilizada até à chegada de uma ambulância ao local onde esta teve o acidente. A partir do momento que a ambulância chega ao local esta é retirada da simulação.

O servidor é responsável por receber todas as informações acerca das bicicletas e de

distribuir esta informação para todos os RSUs ordinários. Com a chegada de uma mensagem de SOS de uma bicicleta, este reenvia a mesma para o RSU da estação de emergência. Até ao momento, este envia a mensagem apenas uma vez, sendo que se outra for recebida, a mensagem anterior é sobreposta.

3.2.2 Sistemas associados ao paradigma das redes veiculares

Os RSUs ordinários são responsáveis por pedirem as localizações de todas as bicicletas e tirar conclusões através destes dados (clusters, etc...). Estes também irão ser responsáveis pelo envio de mensagens DENM caso sejam o RSU mais próximo de um ciclista acidentado. Os serviços presentes nos RSUs são informados do conteúdo das mensagens MQTT caso este lhes seja de interesse para o seu funcionamento. Estes elementos interagem com o servidor através do protocolo MQTT.

Em comparação aos RSUs ordinários, o RSU da estação de emergência não possui a capacidade de receber os dados de todas as bicicletas contudo, este recebe todas as mensagens de SOS. Com a receção de um pedido de SOS este verifica se existem ambulâncias disponíveis e se sim, envia a mesma para o local descrito na mensagem de SOS. Caso não haja nenhuma ambulância disponível, o pedido de SOS é guardado em uma fila e a cada 0,1 s é verificado se alguma já possuí disponibilidade para atender o pedido. Este RSU também pode ser responsabilizado pelo envio das mensagem DENM caso seja o RSU mais próximo da bicicleta acidentada.

As ambulâncias são responsáveis por ficarem em espera por ordens do RSU da estação de emergência. Após a receção destas ordens, as ambulâncias realizam a viagem até ao ciclista acidentado. Chegando a este local, estas assistem o ciclista levando o mesmo ao hospital, retornando ao parque de estacionamento da estação de emergência.

Os veículos

3.2.3 Integração global

Falar das interações entre os sistemas.

4

Implementação

4.1 Adaptações aos ambientes de aplicação

Tendo em vista o caso uso mencionado anteriormente, foi decidido que a sua aplicação seria efetuada em dois ambientes distitos, um simulado e outro físico. Esta decisão foi tomada dado um conjunto de fatores (...).

Dadas as diferenças inerentes a cada um dos ambientes, foi necessário efetuar algumas adaptações à maneira em como o caso uso seria implementado. Estas adaptações também foram adicionadas de modo a mitigar algumas das limitações associadas a cada um dos ambientes.

4.1.1 Ambiente Simulado

Dentro do ambiente simulado, alguns problemas como a autonomia do dispositivo, distância máxima para a realização de testes e a presença de uma infraestur

4.1.2 Ambiente Físico

To-do

4.2 Implementação em ambiente simulado

4.3 Implementação em ambiente físico

To-do

5

Resultados Obtidos

To-do

6

Conclusão e trabalho futuro

To-do

A

NOVAthesis covers showcase

A.1 A section here

B

Appendix 2 Lorem Ipsum

This is a test with citing something.

I

Annex 1 Lorem Ipsum

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetuer id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. In hac habitasse platea

dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetuer.