



Plataforma de Monitorização da Qualidade do Ar

Por

Carlos Jorge Eira da Cruz

Orientador: Carlos Manuel José Serôdio

Co-orientador: Pedro Miguel Mestre Alves da Silva

Dissertação submetida à

UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

para obtenção do grau de

MESTRE

em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, de acordo com o disposto no
Regulamento Geral dos Ciclos de Estudos Conducentes ao Grau de Mestre na UTAD

DR, 2º série-N.º133- Regulamento nº 658/2016 de 13 de julho de 2016

Plataforma de Monitorização da Qualidade do Ar

Por

Carlos Jorge Eira da Cruz

Orientador: Carlos Manuel José Serôdio

Co-orientador: Pedro Miguel Mestre Alves da Silva

Dissertação submetida à

UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

para obtenção do grau de

MESTRE

em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, de acordo com o disposto no
Regulamento Geral dos Ciclos de Estudos Conducentes ao Grau de Mestre na UTAD

DR, 2º série-N.º133- Regulamento nº 658/2016 de 13 de julho de 2016

Orientação Científica :

Carlos Manuel José Serôdio

Professor Associado com Agregação do
Departamento de Engenharias
Escola de Ciências e Tecnologia
da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Pedro Miguel Mestre Alves da Silva

Professor Auxiliar do
Departamento de Engenharias
Escola de Ciências e Tecnologia
da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Plataforma de Monitorização da Qualidade do Ar

Carlos Jorge Eira da Cruz

Submetido na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
para o preenchimento dos requisitos parciais para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Resumo — Nos dias de hoje os grandes centros urbanos apresentam uma elevada densidade populacional. Para responder às necessidades de toda a população estes centros caracterizam-se como grandes fontes poluidoras. O setor rodoviário destaca-se, sendo uma das principais fontes de poluição e levantado grandes problemas relativos à qualidade do ar. A exposição aos efeitos dos poluentes atmosféricos tem grandes consequências na saúde pública, podendo causar doenças respiratórias, cardíacas, cancerígenas ou complicações no normal desenvolvimento das crianças. Foram tomadas diversas medidas legislativas que estabelecem limites para os valores das concentrações dos poluentes mais prejudiciais, por forma a melhorar a qualidade do ar.

O avanço tecnológico proporcionou uma maior facilidade na implementação de medidas de controlo da qualidade do ar, possibilitando o desenvolvimento de sistemas de monitorização da qualidade do ar, por forma a alertar a população para que possam ser tomadas medidas para a redução à exposição aos agentes poluentes.

Esta dissertação visa o desenvolvimento de uma plataforma de monitorização da qualidade do ar utilizando *Java Platform Enterprise Edition*. Esta plataforma permite a receção de dados relativos às concentrações dos poluentes no ar, provenientes de estações de monitorização, e o seu consequente processamento e armazenamento. O acesso à plataforma pelos utilizadores é realizado através de um *browser*, estão disponíveis informações relativas à qualidade do ar atual, bem como a sua evolução ao longo do tempo. É ainda possível observar a contribuição e peso dos poluentes individualmente para o índice da qualidade do ar e a distribuição geográfica das leituras realizadas pelas estações, por forma a identificar os locais mais poluídos. São ainda tidos em consideração aspetos relacionados com a segurança nos diversos

componentes da plataforma, tais como *JWT* e certificados SSL. São também apresentados os resultados da implementação das várias componentes do sistema, assim como da sua interação.

Palavras Chave: IoT, monitorização, qualidade do ar, plataforma.

Air Quality Monitoring Platform

Carlos Jorge Eira da Cruz

Submitted to the University of Trás-os-Montes and Alto Douro
in partial fulfillment of the requirements for the degree of
Master of Science in Electrical Engineering and Computers

Abstract — In this day and age, urban centers, present a high population density. In order to fulfill all the needs of the population the urban centers are characterized as major pollution sources. The automotive sector has been set to be the main pollution source, leading to major problems regarding to “the quality of the air”. Exposure to this kind of atmosphere has sever consequences in general health, such as respiratory and heart disease, cancer or even complications in the normal development of children. As a result, and also an attempt to tackle this issue, legislative measures were taken, in order to set a limit on the concentrations of the most harmful pollutants. Throughout the years and with the help of technological progress, systems to monitor the quality of the air were developed, which contributed not only, for the population to be ware of the problem it self, but also made possible that a cause of action regarding the reduction of polluting agents exposure was taken. The purpose of this dissertation is to develop a platform capable of monitoring the quality of the air, using Java Platform Enterprise Edition. This platform, allows the reception of data from stations, related to changes in air pollutants and their subsequent processing and storage. Users, can access it by browser and instantly information on current quality of the air is available, as well as its evolution over time. It is also possible to outline the contribution that the individual pollutants have in the atmosphere, and the geographical distribution of readings taken by the stations in order to identify the most polluted places. Security related aspects are also taken into consideration in the various components of the platform. Are also taken into account aspects related with the security in the various components of the platform, such as *JWT* and SSL certificates. Are also shown the results of the implementation of the different elements, as well as their interaction.

Key Words: IoT, monitoring, air quality, platform.

Agradecimentos

A realização desta dissertação de mestrado constitui um ciclo importante na minha vida, de salientar que sua elaboração não seria possível sem o contributo e apoio incessável de várias pessoas, às quais estarei eternamente grato.

Uma vez que neste documento não é possível agradecer devidamente a todas essas pessoas, em seguida presto os meus sinceros e humildes agradecimentos aqueles com quem mais privei ao longo desta fase da minha vida e do meu percurso académico, reconhecendo que sem eles seria mais difícil alcançar os meus objetivos.

Em primeiro lugar quero agradecer aos meus orientadores, Professor Carlos Manuel José Serôdio do Departamento de Engenharia da Escola de Ciência e Tecnologia da Universidade de Trás os Montes e Alto Douro e Professor Doutor Pedro Miguel Mestre Alves da Silva do Departamento de Engenharia da Escola de Ciência e Tecnologia da Universidade de Trás os Montes e Alto Douro. A sua disponibilidade e orientação ao longo de todo o processo de desenvolvimento desta dissertação revelou-se fundamental para o sucesso da mesma, servindo também como guia para a acumulação de conhecimento e desenvolvimento pessoal que terá consequências positivas no meu futuro.

Quero agradecer aos meus pais, pelo apoio incondicional em todo o meu percurso académico bem como o seu esforço durante todo este tempo que permitiu que tivesse

acesso a todas as ferramentas necessárias para ter a melhor educação possível.

Aos colegas de Mestrado agradeço todo o companheirismo, amizade e o excelente ambiente que envolveu este curso ao longo de cinco anos.

A todos, um sincero obrigado!

UTAD,

Vila Real, Julho de 2020

Carlos Cruz

Índice geral

Resumo	vii
<i>Abstract</i>	ix
Agradecimentos	xi
Índice de tabelas	xvii
Índice de figuras	xix
Glossário, acrónimos e abreviaturas	xxi
1 Introdução	3
1.1 Contexto	3
1.2 Motivação e Objetivos	4
1.2.1 Estrutura do Documento	5
2 Internet das Coisas	7
2.1 Smart City e IoT	7
2.2 Arquitetura de Rede	11
2.2.1 Cloud Computing	11
2.2.2 Edge Computing	12
2.2.3 Fog Computing	13
2.3 Convergência de Protocolos	13
2.3.1 Camada de Acesso à Rede	14

2.3.2	Camada de Internet	15
2.3.3	Camada de Transporte	15
2.3.4	Camada de Aplicação	16
2.4	Interoperabilidade	17
2.5	Big Data	18
2.6	Segurança	21
3	Qualidade do Ar	25
3.1	Poluição Atmosférica	26
3.2	Legislação	28
3.3	Qualidade do Ar Urbano	29
3.4	Índice da Qualidade do Ar	30
3.5	Sensores de Baixo Custo para Monitorização da Qualidade do Ar	31
3.5.1	Estações de Monitorização Fixas	32
3.5.2	Sensores de Baixo Custo	32
3.6	Trabalhos Relacionados	35
3.6.1	Estação Móvel para Medida da Qualidade do Ar	35
3.6.2	Real-Time Air Quality Measurements Using Mobile Platforms	38
3.6.3	Wireless Air Quality and Emission Monitoring	41
4	Conceção	45
4.1	Receção dos Dados	45
4.2	Acesso à Plataforma	50
5	Implementação	53
5.1	Tecnologias Utilizadas	53
5.1.1	Java Platform Enterprise Edition	54
5.1.2	RESTful Web Services	55
5.1.3	JWT	56
5.1.4	HTTPS SSL/TLS	58
5.1.5	PostgreSQL	59
5.1.6	Modelo de Arquitetura	60
5.2	Plataforma	61
5.2.1	Comunicação com as Estações Móveis	61
5.2.2	Interação com os Utilizadores	66
6	Testes e Resultados	71
6.1	Alterações ao Sistema Desenvolvido	71
6.2	Algoritmo de Reajuste de Posição	72
6.3	Receção de Dados	73
6.4	Acesso à Plataforma	77

7 Conclusões e Trabalho Futuro	83
7.1 Conclusões	83
7.2 Trabalho Futuro	85
Referências bibliográficas	87

Índice de tabelas

3.1	Intervalos de Classificação dos Poluentes	31
-----	---	----

Índice de figuras

2.1	Modelo Concetual Smart City	9
2.2	Modelo TCP/IP	14
2.3	Protocolos Mais Utilizados	16
2.4	Esquema em Camadas da Interoperabilidade	18
3.1	Exemplo Sensor Eletroquímico	33
3.2	Exemplo Sensor Ótico	34
3.3	Excerto da Página da <i>Internet</i>	37
3.4	Arquitetura do <i>Cloud Service</i>	39
3.5	Excerto da Página da Aplicação <i>WeBreath</i>	40
3.6	Arquitetura do Sistema Desenvolvido	41
3.7	Exemplo da Tipologia de Informação Disponibilizada	42
4.1	Esquema das Componentes do Sistema	46
4.2	Esquema das Mensagens Enviadas	46
4.3	Fluxograma de Envio de Mensagens pelas Estações	47
4.4	Fluxograma de Receção de Mensagens pela Plataforma	49
4.5	Esquema de Funcionalidades e Acesso à Plataforma	51

5.1	Arquitetura do JEE	55
5.2	Processo de autenticação usando JWT	57
5.3	Exemplo Token JWT Antes e Depois de Codificado	57
5.4	Estradas Representadas em PostgreSQL	59
5.5	Cálculo da Intercessão entre Duas Ruas	60
5.6	Cálculo do Comprimento da Rua	60
5.7	Esquema Envio de Dados	63
5.8	Exemplo das Circunferências Projetadas sob uma Via	64
5.9	Processo de Funcionamento do Algoritmo	65
5.10	Diagrama de Entidades e Relações Desenvolvido para o Armazena- mento da Informação	66
5.11	Diagrama de Entidades e Relações Desenvolvido para Armazenar os Dados Relativos aos Utilizadores	67
5.12	Padrão MVC Implementado com a Tecnologia JEE	68
6.1	Estrada Seleccionada para Aplicação do Algoritmo	72
6.2	Posições Geográficas Antes e Depois de Aplicado o Algoritmo	73
6.3	Página de <i>Login</i>	77
6.4	Página de Registo	78
6.5	Página de <i>Dashboard</i>	78
6.6	Página com o Mapa das Leituras Registadas	79
6.7	Página de Gestão de Dados Pessoais e Utilizadores	80
6.8	Página de Gestão das Estações Móveis	81

Glossário, acrónimos e abreviaturas

Glossário de termos

Lista de acrónimos

Sigla	Expansão
API	<i>Application Programming Interface</i>
CE	<i>Comissão Europeia</i>
CoAP	<i>Constrained Application Protocol</i>
EEA	<i>European Environment Agency</i>
EEPROM	<i>Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
EXI	<i>Efficient XML Interchange</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
HTTPS	<i>Hyper Text Transfer Protocol Secure</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>

Sigla	Expansão
IaaS	<i>Infrastructure as a Service</i>
IDC	<i>International Data Corporation</i>
JDBC	<i>Java Database Connectivity</i>
JEE	<i>Java Platform, Enterprise Edition</i>
JSE	<i>Java Platform, Standard Edition</i>
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
JSP	<i>JavaServer Pages</i>
JVM	<i>Java virtual machine</i>
JWT	<i>JSON Web Token</i>
LoWPAN	<i>Low power Wireless Personal Area Networks</i>
MVC	<i>Model-View-Controller</i>
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
NO	<i>Óxido de Azoto</i>
NO ₂	<i>Dióxido de Azoto</i>
OMS	<i>Organização Mundial de Saúde</i>
O ₃	<i>Ozono</i>
PaaS	<i>Plataform as a Service</i>
PHP	<i>Hypertext Preprocessor</i>
PLC	<i>Power Line Communication</i>
PM	<i>Matéria Particulada</i>
REST	<i>Representational State Transfer</i>
SaaS	<i>Software as a Service</i>
SO ₂	<i>Dióxido de Enxofre</i>
SQL	<i>Structured Query Language</i>
UE	<i>União Europeia</i>
URI	<i>Uniform Resource Identifier</i>
WSN	<i>Wireless sensor network</i>
XML	<i>Extensible Markup Language</i>
XMPP	<i>Extensible Messaging and Presence Protocol</i>
LoWPAN	<i>IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks</i>

Lista de abreviaturas

Abreviatura	Significado(s)
e.g.	por exemplo
et al.	e outros (autores)
i.e.	isto é, por conseguinte



Introdução

1.1 Contexto

Nos dias de hoje, grande parte da população vive em grandes centros urbanos. Estes centros destacam-se como fontes poluidoras do ar, colocando em risco a saúde de milhões de pessoas. Muitos destes poluentes resultam dos mais variados setores como: o automóvel, o industrial, doméstico ou energético. A inalação destes poluentes conduz a diversos impactos, podendo causar vários tipos de cancro, morte prematura, problemas respiratórios ou mesmo disfunções no crescimento das crianças. Com a evolução da medicina e aumento dos estudos efectuados, a população tornou-se mais informada à cerca da temática da poluição do ar, havendo uma maior preocupação com esta questão. Surgindo assim, uma grande necessidade de monitorização e controlo dos parâmetros relacionados com a qualidade do ar.

A evolução tecnológica permite dar uma resposta a esta problemática através de diversas tecnologias de informação e comunicação. O conceito de *Smart City* adota essas tecnologias em diversas áreas, permitindo uma melhor prestação de serviços aos cidadãos, um melhor planeamento cidadão e uma melhor gestão de recursos. A adoção do IoT em áreas como a monitorização da qualidade do ar revelou-se

extremamente importante, permitindo uma constante monitorização dos poluentes atmosféricos. Desta forma, é possível alertar os cidadãos para o perigo de exposição aos poluentes, bem como adotar medidas para a redução destes.

No âmbito desta dissertação, é desenvolvida uma plataforma *web* que permite a análise e evolução da qualidade do ar ao longo do tempo.

1.2 Motivação e Objetivos

Com a grande mediatização das problemáticas climáticas e da constante libertação de poluentes dos mais diversos setores, tornou-se indispensável a análise e avaliação do estado da qualidade do ar. Do universo de poluentes libertados para a atmosfera destacam-se: dióxido de enxofre (SO_2), o dióxido de azoto (NO_2), o ozono (O_3) e a matéria particulada inalável (PM). A exposição da população à ação direta destes poluentes apresenta grandes riscos para a saúde pública, sendo responsável por doenças respiratórias e cardíacas, cancerígenas e complicações no desenvolvimento das crianças (Sevusu, 2015).

As cidades assumem-se como grandes fontes poluidoras. O setor dos transportes, em especial, tem um papel preponderante na emissão dos poluentes supramencionados. Em momentos de maior tráfego e congestionamento verifica-se um aumento da concentração de poluentes no ar. Para evitar esta concentração excessiva de poluentes é necessário uma constante monitorização e análise rigorosa da qualidade do ar, por forma a tomar medidas corretivas e preventivas, como a gestão de tráfego (Carvalho, 2008).

Atualmente, grande parte dos sistemas de monitorização da qualidade do ar recorrem a estações implantadas num local fixo. O que não permite abranger a monitorização de uma grande área, recorrendo assim, a algoritmos de dispersão para estimar as concentrações dos poluentes em locais mais afastados. Além dos grandes custos de aquisição e manutenção associados a estas estações, as estimativas revelam-se por vezes erradas. O uso de estações móveis equipadas com sensores de baixo custo

tem-se revelado uma solução vantajosa para o aumento da área de monitorização útil (Sevusu, 2015).

O objetivo desta dissertação assenta no desenvolvimento de uma plataforma *web* que irá receber dados relativos à concentração de diversos poluentes atmosféricos provenientes de estações móveis. Estes dados quando recebidos pelo servidor devem ser processados e armazenados. A plataforma deve ainda disponibilizar um *web service* que pode ser acedido através de um *browser*, por utilizadores que desejem obter informação acerca da qualidade do ar. A informação disponibilizada aos utilizadores e autoridades competentes deve permitir-lhes inferir sobre o estado da qualidade do ar atual e também acerca da sua evolução ao longo do tempo. Deve ser ainda possível observar a disposição geográfica das várias medições recolhidas pelas estações, por forma a identificar os locais com maior concentração de poluentes atmosféricos. Além destas funcionalidades, deve ainda ser tido em consideração questões de segurança no processo de receção de dados e interação dos utilizadores com a plataforma, de modo a que o sistema não seja comprometido.

1.2.1 Estrutura do Documento

A dissertação desenvolvida está dividida em sete capítulos, cujo conteúdo é resumido de seguida.

No presente capítulo é apresentada uma breve introdução ao trabalho, onde é referido o seu enquadramento, objetivos e a motivação que levaram à sua realização.

O capítulo 2 é realizado um levantamento do estado da arte relativamente às *Smart City* e *Internet of Things* (IoT). São apresentados os principais desafios à implementação destes paradigmas e as vantagens da sua utilização. É ainda abordada a temática das arquiteturas dos sistemas IoT, protocolos mais utilizados e identificação de temáticas a serem levadas em conta na implementação destes sistemas.

A temática da qualidade do ar é referida no capítulo 3. São abordados os principais poluentes e consequentes riscos à sua exposição, a legislação e regulamentação em

vigor, o processo de atribuição do nível da qualidade do ar e os sistemas onde é realizada a leitura dos poluentes. É ainda realizado um levantamento de alguns trabalhos e investigações relevantes desenvolvidas nesta área.

No capítulo 4 é abordada a conceção da plataforma. É explicado o conceito da mesma, bem como, dos componentes que dela fazem parte. São ainda descritas as duas componentes funcionais: a primeira composta pela receção e processamento de dados e a segunda constituída pela interação com utilizadores.

A implementação do sistema é descrita no capítulo 5. São descritas algumas das tecnologias usadas, a estrutura dos dados, o processo de receção e processamento de dados e autenticação das estações. É ainda abordado o esquema organizacional da base de dados, arquitetura, componentes e princípio de funcionamento da plataforma.

No capítulo 6 é realizada uma apresentação dos testes e resultados obtidos durante as diferentes fases da elaboração desta dissertação.

Por último, no capítulo 7 são discutidos os principais resultados obtidos e são apresentadas algumas perspetivas de trabalho futuro.



Internet das Coisas

2.1 Smart City e IoT

Hoje em dia, cerca de metade da população mundial vive em cidades e áreas urbanas. Estima-se que esta tendência continue e que em 2050, 75% da população mundial se concentre nessas mesmas áreas. Essa concentração deve-se a melhorias no acesso à saúde, oferta de emprego, entretenimento, telecomunicações e transportes. Contudo, esta grande aglomeração de pessoas trás grandes desafios às cidades do ponto de vista da resposta às necessidades de toda esta população. O conceito de *Smart City* surge precisamente para ajudar a responder a estas necessidades (Ngo et al., 2015).

Este conceito pode ser definido como o aumento da qualidade de vida dos cidadãos através da disponibilização de serviços, que respondem às suas necessidades de uma forma mais eficiente. Utilizando as tecnologias de informação e comunicação como um elemento viabilizador do crescimento económico sustentável, permitindo assim às cidades, a análise e planeamento da sua evolução, uma melhoria na qualidade dos serviços prestados aos cidadãos e uma melhor gestão dos recursos naturais e energéticos (Vogler, 2016).

As cidades que implementam este conceito, possuem um vasto número de dispositivos eletrônicos espalhados, que recolhem dados acerca dos cidadãos e das diferentes áreas presentes no seu quotidiano, que são posteriormente analisados e processados e permitem detetar e evitar falhas em termos de utilização de recursos e bem estar da população. Além disto, o conceito de *Smart City* tem como objetivo ultrapassar a distância entre cidadãos e prestadores de serviços, permitindo assim, aos cidadãos terem um papel ativo através do seu *feedback* ou reportando eventuais problemas. Uma das grandes dificuldades na implementação das *Smart City* assenta na falta de infraestruturas e na deficiência como o conceito é aplicado (Vogler, 2016).

Segundo Ngo et al. (2015) a *Internet of Things* é um paradigma emergente, que quando combinado com o conceito de *Smart City*, permite adicionar capacidades de conectividade e processamento a objetos físicos que não estavam associadas a estes anteriormente. Desta forma, é acoplada eletrónica aos objetos físicos conferindo-lhe capacidade de comunicar uns com os outros bem como com diferentes serviços e sistemas. O IoT permite aos *smart objects* conectarem-se, recolher e enviar dados e serem controlados através das redes existentes, permitindo a objetos físicos estarem integrados em sistemas de computação melhorando a sua eficiência e precisão nos serviços prestados.

Para Shelby and Bormann (2011) o objetivo da IoT passa por estender o conceito de *Internet* de hoje em dia, através da incorporação de dispositivos pertencentes aos mais diversos domínios. Esses dispositivos e objetos do dia a dia, como por exemplo sensores, electrodomésticos ou semáforos, têm de se identificar numa rede, isto é, ter um identificador único, comunicar entre si e possuir capacidade de processamento. Os autores dizem ainda que o número de nós de IoT deverá brevemente superar o número de nós da *Internet*, uma vez que a IoT não depende dos utilizadores.

Nos dias de hoje o IoT está presente em diversas áreas como *Smart Grids*, *Smart Cities*, *Industrial Automation*, *Home Automation* e *Building Automation*. A sua implementação passa pelo uso de *Wireless Sensor Networks* (WSNs) onde o principal objetivo é a construção de um sistema composto por diversos componentes com capacidade computacional chamados *sensor nodes*. Estes *nodes* estão conectados sem

rios (*wireless*) e operam em conjunto para atingir um objetivo comum. Estas redes de sensores estão tipicamente bastante otimizadas para a tarefa que desempenham e utilizam *Gateways* para se conectarem a outras redes (Stolijk, 2015).

A Figura 2.1 pode observa-se o modelo concetual de uma *Smart City* e a sua interação com o IoT. O conceito de *Smart City* permite melhorar a qualidade de vida dos cidadãos bem como dos serviço prestados através da incorporação de dispositivos inteligentes fornecidos pela aplicação do conceito da *Internet of Things*, como por exemplo, as *smart roads* ou os *smart meters*. Estes dispositivos têm aplicação nas mais diversas áreas, como a industrial e o setor energético e podem ser implantados utilizando diversas infraestruturas como *clouds* ou *data centers* (Vogler, 2016).

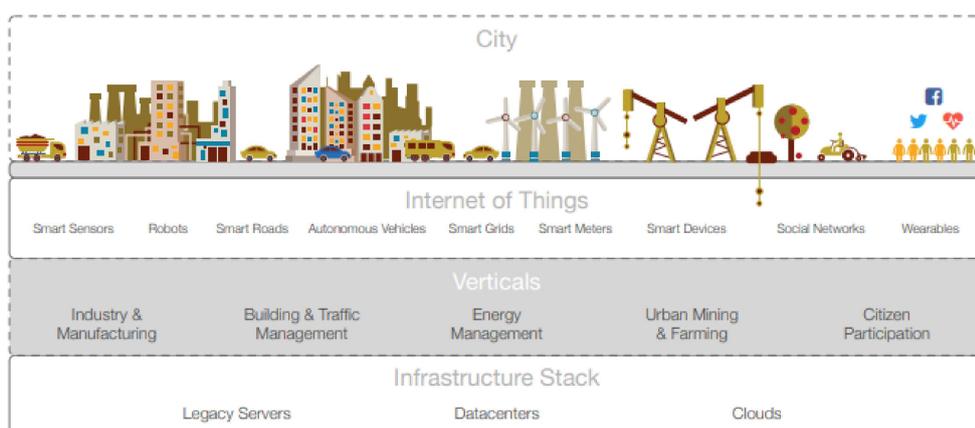


Figura 2.1 – Modelo conceitual Smart City. Retirado de Vogler (2016)

Segundo Atzori et al. (2010), a *Internet of Things* pode ser separada em três perspectivas. A perspectiva orientada às coisas foca-se em dotar os objetos com inteligência, normalmente através de componentes embebidos como micro-controladores, sensores e atuadores. Já a perspectiva orientada à *Internet*, foca-se principalmente nos aspetos relativos à comunicação, como os protocolos de comunicação. Por último, a perspectiva orientada à semântica lida com a forma de como os dados gerados pela IoT serão representados, guardados, interligados e organizados.

O IoT continua a ser alvo de grandes estudos visto que existem diversas problemáticas e desafios que têm de ter sido em conta. Problemas estes que podem ser encontrados nas suas mais diversas áreas de aplicação (Stolijk, 2015):

- Conectividade - Conectar milhões de dispositivos na mesma rede é uma tarefa difícil, adquirindo ainda maior complexidade dada a heterogeneidade de dispositivos existentes;
- Consumo de Energia - Todos os dispositivos eletrônicos requerem alimentação elétrica para funcionar. Alimentação essa que pode ser suportada pela rede de alimentação, baterias ou fontes renováveis. Em qualquer um dos casos tem de ser tido em conta a otimização e racionalidade de utilização de energia, a sua distribuição e sustentabilidade;
- Arquitetura do Sistema - Dado o caráter heterogéneo da IoT e as suas diferentes áreas de aplicação é impossível existir apenas uma arquitetura a ser implementada em todas as aplicações;
- Interoperabilidade e integração - Devido à variedade de fabricantes e tecnologias IoT, a sua integração só pode ser feita caso os sistemas sejam construídos segundo os mesmos princípios e *standards*. Não se perdendo de vista que a comunicação entre as diferentes *Wireless Sensor Network* também terá de ser possível;
- Processar e Armazenar os Dados - Associado ao elevado número de dispositivos IoT surgirá uma massiva quantidade de informação. Informação essa que poderá chegar de forma contínua ou faseada e terá de ser transportada, analisada e armazenada. Todas estas operações exigem infraestruturas complexas. O desenvolvimento e manutenção destas infraestruturas corresponde a um dos maiores desafios da IoT;
- Segurança, Confiança e Privacidade - A elevada presença do IoT na vida das pessoas acentua a necessidade de segurança na sua utilização, dado o seu caráter e potencialidade, falhas no sistema podem conduzir a grandes impactos. Por um lado, o elevado número de dispositivos envolvidos torna difícil a segurança do sistema, visto que, existem muitos potenciais pontos de ataque. Por outro lado, dada a heterogeneidade de dispositivos e tecnologias torna-se difícil o desenvolvimento de soluções de segurança;

2.2 Arquitetuta de Rede

Um dos pontos fundamentais do desenvolvimento de uma aplicação IoT é decidir a arquitetura da parte lógica do sistema. Existem diversas arquiteturas que podem ser implementadas sendo que cada uma delas apresenta características diferentes no que diz respeito a tempo de latência, processamento de dados, escalabilidade e capacidade de resposta a eventos.

2.2.1 Cloud Computing

Nos dias de hoje as aplicações IoT possuem uma quantidade massiva de dispositivos (*end nodes*), que geram quantidades absurdas de dados, levantando problemas ao nível da circulação de informação na rede, bem como do seu processamento e armazenamento.

Na *Cloud Computing* os recursos do sistema são dinamicamente escaláveis e muitas vezes virtualizados, sendo fornecidos como um serviço através da *Internet*. A *Cloud Computing* possui benefícios como a fácil escalabilidade do sistema, baixo custo e grande viabilidade, permitindo aos utilizadores terem acesso a vastos recursos como poder de processamento, memória, servidores e aplicações *on-demand* sem precisarem de investir numa infraestrutura IoT (Kaukonen, 2018).

Neste paradigma, todos os processos complexos como o processamento e análise de dados ocorrem fora da rede de sensores, numa *cloud*. Os *end nodes* recolhem a informação, que é enviada para a *cloud*, onde é processada. Caso seja necessário realizar alguma atuação, é enviada pela *cloud* um sinal até ao *end node*. O *cloud computing* retira a complexidade da periferia da rede. Deste modo, os *end nodes* apenas ficam responsáveis pela recolha de informação, atuação e reencaminhamento de dados. Contudo, associada à concentração parte da lógica e processamento na *cloud* vão existir grandes tempos de latência na comunicação entre os *end nodes* e *cloud* (Stolijk, 2015).

Os serviços prestados através do *cloud computing* podem ser divididos em: *Software as a Service* (SaaS), *Plataform as a Service* (PaaS) e *Infrastructure as a Service* (IaaS). O SaaS permite aos utilizadores terem acesso a um conjunto de aplicações sem terem de se preocupar com a sua instalação ou infraestrutura. Bastando para isso, pagar uma licença ou subscrição, sendo que o controlo e gestão da infraestrutura da rede, middleware, base de dados, sistema operativo ficam ao encargo do prestador de serviços. O PaaS possibilita aos utilizadores desenvolver as suas próprias aplicações, disponibilizando para tal ferramentas necessárias como base de dados, sistema operativo, virtualização, entre outras. Por último no IaaS os utilizadores tem acesso a toda a infraestrutura através de ferramentas de virtualização, tendo assim controlo sob sistema operativo, armazenamento, aplicações instaladas e recursos de rede (Reis et al., 2015).

2.2.2 Edge Computing

O *Edge Computing* caracteriza-se por ter os recursos de processamento e armazenamento na periferia da rede (*edge*), isto é, muito próximos ou no mesmo local em que os dispositivos que geram informação. Este paradigma permite reduzir o *stress* da rede e melhorar a sua eficiência, colocando a parte computacional muito perto do local onde ela irá ser consumida. Contrariamente ao *Cloud Computing* onde existe constante troca de informação com os *data centers*, no *Edege Computing* a informação gerada pelos *end devices* é processada e analisada no local, permitindo tempos de latência muito baixos (Argerich, 2018).

O *Edege Cumputing* oferece grandes vantagens para sistemas críticos, isto é, que requeiram tempos de resposta muito rápidos. Oferece também vantagens em redes muito dispersas geograficamente e com um grande número de dispositivos conetados. Adiciona ainda, privacidade e segurança, visto que a informação não necessita de circular pela rede no percurso de ida e volta até à *cloud*. A largura de banda e custo de transmissão são menores visto que a informação é processada sem ter de sair da rede. Permite também, adicionar escalabilidade aos sistemas sem comprometer o seu desempenho, pois o processamento é realizado em cada *node*. Por último, oferece

melhor qualidade de serviço dado que, se uma parte do sistema for comprometida o resto poderá continuar a funcionar, ao contrário do que acontece nos sistemas centralizados (Kaukonen, 2018).

2.2.3 Fog Computing

O *Fog Computing* possui uma arquitetura distribuída e tem o objetivo de melhorar o desempenho do *Cloud Computing*, através da adição de unidades de computação entre a *Cloud* e os *end nodes*. No *Fog Computing* a informação enviada pelos *end nodes* é recebida pelos *fog nodes* que irão decidir se esta deve ser enviada para a *cloud* ou processada e guardada localmente. Os *fog nodes* são responsáveis pela gestão de tráfego na rede, decidindo o que necessita de ir para a *cloud* e o que pode ser processado e armazenado localmente, melhorando bastante o desempenho de toda a rede (Bonomi and Milito, 2012).

Aplicações IoT envolvendo problemáticas como *Analytics* e *Big Data* requerem baixa latência sem abdicar da centralização dos dados. O *Fog Computing* responde às necessidades de baixa latência e contexto de processamento, enquanto que a *cloud* permitirá a centralização. Os *fog nodes*, dada a proximidade com os *end nodes* conseguem dar resposta rápida a processos críticos sem ter que esperar que a informação seja transmitida e retorne do *cloud server*. Qualquer informação que não necessite de ser processada em tempo real poderá ser enviada para a *cloud*. A *cloud* tem ainda funções de gestão e visualização do sistema e processos, bem como de reportar problemas (Argerich, 2018).

2.3 Convergência de Protocolos

A comunicação é uma parte fundamental no IoT, as tecnologias de rede permitem aos dispositivos IoT comunicarem uns com os outros, bem como com outras aplicações e serviços na *cloud*. A *Internet* depende de protocolos normalizados para assegurar a comunicação entre dispositivos heterogêneos de forma segura e viável.

Estes protocolos standard especificam as regras e formatos para a transmissão de dados bem como para a gestão da rede (IBM, 2018).

O modelo TCP/IP é amplamente aceite e especifica o conjunto de protocolos de *Internet* através de quatro camadas, onde cada camada é responsável por um número de tarefas bem definidas. Na Figura 2.2 está presente o modelo TCP/IP, constituído pelas camadas de acesso à rede, *internet*, transporte e aplicação. Estão ainda presentes os principais protocolos utilizados na IoT e o seu enquadramento em cada uma dessas camadas (Shah, 2018).

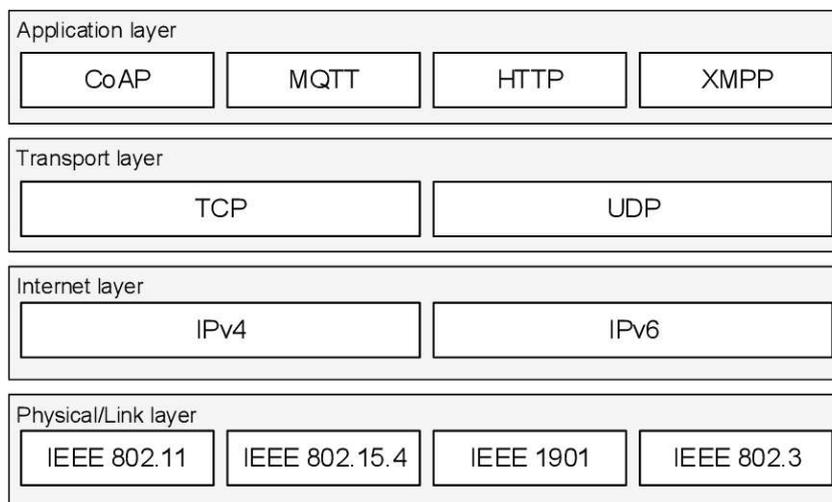


Figura 2.2 – Modelo TCP/IP. Retirado de Stolikj (2015)

2.3.1 Camada de Acesso à Rede

Esta camada agrega as funções das camadas física e ligação de dados do modelo OSI. A camada de acesso à rede lida com o *hardware* da *interface* de rede, isto é, a forma como os dispositivos estão fisicamente conectados à rede, preocupa-se também com a estrutura das *frames*, o endereçamento físico, o controlo de acesso à rede e utilização do meio físico para comunicação (IBM, 2018).

Existem diversas tecnologias que podem ser implementadas no universo IoT que utilizam os *standards* pertencentes à camada de acesso à rede. Essas soluções podem

ser de médio alcance como as *Low-power Wireless Personal Area Network* (LoWPAN), descritas pelo *standard* IEEE 802.15.4, utilizado em tecnologias como *ZigBee*, *Z-Wave*, *EnOcean*, *SNAP*, e *6LoWPAN*. As *LowPower WiFi* descritas pelo *standard* IEEE 802.11, são utilizados em soluções tecnológicas como *Wifi* (Shah, 2018). As soluções de curto alcance são amplamente utilizadas no IoT e estão presentes em tecnologias como o *radio frequency identification* (RFID), *near field communication* (NFC) e *Bluetooth* (BLE). Por fim, existem ainda as soluções fisicamente ligadas por cabo descritas pelos *Standards* IEEE 1901, as *Power Line Communication* (PLC) e pelo IEEE 802.3, a *Ethernet* (Stolikj, 2015).

2.3.2 Camada de Internet

A camada de *Internet* corresponde à camada de rede do modelo OSI e está relacionada com o endereçamento lógico. Os protocolos desta camada preocupam-se como os pacotes de informação, que são identificados por um endereço IP (Ravali, 2013).

As tecnologias frequentemente adotadas pelo IoT nesta camada são o IPv6 e 6LoWPAN. Na camada de Internet, os dispositivos são identificados através de endereços IP. O IPv4 está limitado a 32-bits de endereçamento, permitindo apenas cerca de 2^{32} endereços diferentes que não são suficientes para os dispositivos IoT existentes, assim é usado o IPv6 que permite 2^{128} endereços. O *IPv6 Low Power Wireless Personal Area Network* (6LoWPAN), permite ao IPv6 ser usado sobre redes IEEE 802.15.4 (Winter et al., 2012)

2.3.3 Camada de Transporte

A camada de transporte corresponde à camada 4 do modelo OSI, foca-se nas comunicações *end-to-end* e utiliza os protocolos TCP (*Transmission Control Protocol*) e UDP (*User Datagram Protocol*). Usando TCP existe a garantia que todos os pacotes irão chegar ao destino pela ordem correta, no entanto, por questões de desempenho por vezes é utilizado o UDP (Ravali, 2013).

2.3.4 Camada de Aplicação

A camada aplicação engloba as camadas 5, 6 e 7 do Modelo OSI e serve de *interface* entre os programas que interagem com os utilizadores e os protocolos de transporte (Ravali, 2013).

O *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP) e *Hyper Text Transfer Protocol Secure* (HTTPS) estão amplamente presentes na Internet, o mesmo acontece no IoT com os protocolos: RESTful HTTP, *Constrained Application Protocol* (CoAP), *Message Queuing Telemetry Transport for Sensor Networks* (MQTT-SN) e *Extensible Messaging and Presence Protocol* (XMPP). O *payload* destes protocolos normalmente utiliza formatos *Extensible Markup Language* (XML), *JavaScript Object Notation* (JSON) ou *Efficient XML Interchange* (EXI)(IBM, 2018).

Na Figura 2.3 são apresentados os protocolos a cima referidos bem como algumas características destes.

Protocol	Communication	Transport	Scalability	Security
RESTful HTTP	Client/server	TCP	Limited	HTTPS
CoAP	Client/server Publish/subscribe	UDP	Excellent	DTLS
MQTT-SN	Publish/subscribe	TCP/UDP	Excellent	TLS/SSL
XMPP	Client/server Publish/subscribe	TCP	Fair	TLS/SSL

Figura 2.3 – Protocolos mais utilizados. Retirado de Stolikj (2015)

O RESTful HTTP é um dos protocolos mais usados no universo IoT, este usa uma arquitetura REST sobre o HTTP. É utilizado em aplicações distribuídas, onde a lógica do sistema está distribuída pelos diversos recursos. O protocolo de comunicação é o HTTP que define assim o mecanismo de acesso aos diversos componentes. Devido ao *overhead* associado ao RESTful HTTP este é usado em redes pequenas ou em redes que prossuam dispositivos com bastante capacidade de processamento (Guinard and Trifa, 2009).

O protocolo CoAP é uma evolução do RESTful HTTP, este mantém o uso da arquitetura REST no entanto está otimizado para redes com menor capacidade de

processamento. Este está aprimorado para aplicações *Machine to Machine*, possui um *overhead* menor e utiliza UDP. Suporta ainda operações *multicast* de um para muitos, tendo grande aplicação em redes de maior dimensão (Shelby et al., 2014).

O MQTT-SN é um protocolo de comunicação “leve” baseado em publicação/subscrição e é usado em aplicações *Machine to Machine* que possuem larguras de banda muito baixas e perdas de informação. É um protocolo *many to many*, onde os clientes comunicam uns com os outros através de um *broker*. Cada cliente pode publicar mensagens no *broker*, que divide a informação em tópicos. Os clientes podem subscrever os tópicos que desejarem e sempre que os tópicos recebem atualizações os clientes são notificados. Este protocolo é usado em situações onde apenas existem leituras periódicas dos sensores como por exemplo a monitorização de energia de uma habitação ou monitorização remota de pacientes (Hunkeler et al., 2008).

Por último XMPP é um protocolo usado para troca de mensagens entre *endpoints*. Ele foi concebido para aplicações de transmissão de dados em tempo real. Utiliza o formato de dados XML e o protocolo de transporte TCP. Este protocolo suporta ambas as metodologias publicação/subscrição e cliente/servidor e tem uma vasta gama de aplicações (Saint-Andre, 2011).

Existem assim, diversos protocolos de camada de aplicação que podem ser usados na IoT, possuindo cada um deles diferentes características, devem por isso ser escolhidos de acordo com a aplicação específica onde serão utilizados (Stolikj, 2015).

2.4 Interoperabilidade

No universo IoT estão integrados dispositivos que possuem *hardware* e *software* diferentes, provenientes dos mais diversos fabricantes e usando as mais diversas tecnologias. Esta interligação só é possível se os sistemas IoT usarem os mesmos *standards* (Vermesan et al., 2014).

Segundo o IEEE (Elkhodr et al., 2016) a interoperabilidade pode ser definida como a capacidade de dois ou mais componentes ou sistemas trocarem informação entre si

e conseguirem utilizá-la. No domínio do IoT a interoperabilidade pode ser dividida em três camadas: a interoperabilidade técnica, a interoperabilidade sintática e a interoperabilidade semântica. Na figura 2.4 podemos observar um esquema das camadas a cima mencionadas.

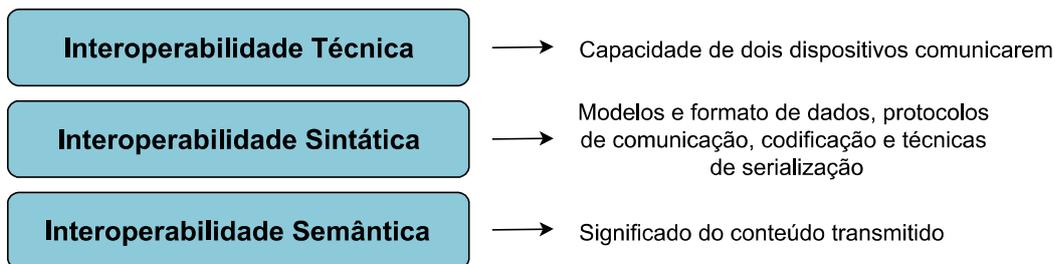


Figura 2.4 – Esquema em camadas da interoperabilidade. Retirado de [Shah \(2018\)](#)

A interoperabilidade técnica pode ser definida como a capacidade de um dispositivo comunicar com outros e está associada ao *hardware/software*. Por exemplo os dispositivos podem comunicar usando 6LoWPAN ou *Bluetooth*. São as tecnologias presentes nas camadas 1 a 4 do modelo OSI que estabelecem a interoperabilidade técnica. Relativamente à interoperabilidade sintática, esta é responsável pela estrutura, formato e codificação dos dados usada na comunicação. Os dispositivos têm de concordar no uso dos mesmos *standards* em ambos os lados da comunicação. Assim, formatos como o XML e JSON proporcionam aos sistemas reconhecer o tipo de informação que está ser enviada ou recebida. São as camadas 5 e 6 do modelo OSI que se preocupam com este tipo de interoperabilidade. Por último interoperabilidade semântica, está relacionada com o significado da informação, e é a capacidade das entidades envolvidas na comunicação interpretarem a informação sem ambiguidades. Exige para isso muitas vezes o uso de meta-data. É na camada 7 do modelo OSI que está implementada a interoperabilidade semântica ([Shah, 2018](#)).

2.5 Big Data

Data management é um aspeto crucial no *Internet of Things*. Quando consideramos a quantidade absurda de *smart objects* interligados e constantemente a trocar

informação, a quantidade de dados gerada e o seu processamento tornam-se problemáticas críticas (Vermesan et al., 2014). A quantidade de dados a processar e analisar é de tal forma grande que é impraticável através das bases de dados convencionais (Kumar et al., 2017).

Para combater esta problemática surgiu o conceito *Big Data*, que segundo a *International Data Cooperation* (IDC) pode ser definida como: uma nova geração de tecnologias e arquiteturas que permitem a partir de extensos *datasets* com diferentes características como volume, variedade, velocidade ou variabilidade desenvolver sistemas escaláveis, com armazenamento de informação eficiente e processamento dos dados de forma económica (Gantz and Reinsel, 2011).

Dado que os sistemas tradicionais não são capazes de lidar com uma quantidade tão absurda de informação, com uma natureza muito variável e por vezes não estruturada, o *Big Data* propõe os seguintes desafios, que devem ser respondidos para que a partir de tal informação possa ser gerado “valor” (Banaee et al., 2013).

- Data Volume - De acordo com IDC, a quantidade de dados é duplicada a cada ano, e espera-se que em 2020 alcance os 44 zettabytes. A IoT terá uma grande contribuição pois espera-se que nesse ano existam cerca de 32 mil milhões de dispositivos conectados. Assim, o armazenamento de tanta informação deve ser escalável e a sua análise possível (Mezghani, 2016);
- Data Variety - A heterogeneidade dos dispositivos conectados resulta numa grande variabilidade de informação, que por vezes é estruturada, semi-estruturada ou mesmo não estruturada. Esta heterogeneidade dificulta a integração semântica e interoperabilidade dos sistemas, inviabilizando assim a análise e processamento dos dados (Redmond et al., 2014);
- Data Velocity - A proliferação do IoT promove a produção de informação em tempo real, que em muitos sistemas pode corresponder a milhões de eventos por segundo. Assim, o processamento e relacionamento destes dados provenientes de múltiplas fontes em tempo real, irá permitir respostas mais precisas

por parte dos sistemas bem como fornecê-las no momento certo (Mezghani, 2016);

- Data Veracity - A qualidade dos dados recolhidos é um fator de grande influência na sua análise posterior. Por exemplo, caso um sensor não esteja a funcionar de forma correta, estará a introduzir no sistema dados erróneos que poderão afetar o normal funcionamento deste. Dada a quantidade de dados produzida pelo IoT, fazer a sua triagem é um fator de grande influência para a tomada de melhores decisões (Redmond et al., 2014);

Segundo Gantz and Reinsel (2011) nos dias de hoje, mais de 90% da informação no universo digital é não estruturada. Esta problemática é bem visível na IoT devido à heterogeneidade de dispositivos e tecnologias envolvidas. De acordo com o mesmo autor a quantidade de informação gerada pelo IoT deve aumentar em 27% em 2020. Devido à velocidade de processamento limitado e custos na expansão de armazenamento, as bases de dados convencionais que foram inicialmente desenvolvidas para lidar com informação estruturada não se encontram preparadas para suportar a informação gerada pelo IoT (Kang et al., 2015). As base de dados *NoSQL* surgem para lidar com tais limitações, pois usam um sistema não relacional de dados e permitem alta flexibilidade, desempenho e uma escalabilidade horizontal. Para os autores Grolinger et al. (2013) o uso das tecnologias *NoSQL* em conjunto com o *cloud computing* oferece uma solução muito vantajosa para os sistemas IoT por forma a garantir a estabilidade destes.

Guardar apenas os dados gerados pelo IoT sem os analisar é um desperdício de recursos. O conceito de *Big Data* não se limita apenas a conseguir armazenar uma grande quantidade de informação mas também realizar *analytics*, que consistem na análise e processamento desta (Gantz and Reinsel, 2011). Segundo Banace et al. (2013) quanto maior for a quantidade e variedade dos dados melhores serão os resultados da *analytics*. Contudo, essa diversidade de formatos dos dados, o seu volume e qualidade representam uma barreira para a realização de *analytics*. Para lidar com a análise e processamento dos dados foram desenvolvidas muitas plataformas e bibliotecas. Um exemplo é a plataforma *Hadoop* que usa computação distribuída

para o processamento de grandes volumes de dados e permite detetar falhas nestes (Chen et al., 2014).

Uma das maiores vantagens do *Big Data* é a capacidade de providenciar *analytics* em tempo real que se traduz na capacidade dos sistemas tomarem melhores decisões e estas acontecerem em tempo útil. Em conclusão, apesar de o grande volume de dados ser um problema, o maior foco de atenção do *Big Data* está voltado para o *analytics* devido à grande heterogeneidade da informação, só assim será assegurada a eficiência, flexibilidade e escalabilidade dos sistemas (Mezghani, 2016).

2.6 Segurança

A *Internet of Things* é uma tecnologia emergente que permite a objetos do dia a dia comunicarem entre si de uma forma inteligente e prestar serviços às pessoas melhorando a sua qualidade de vida. A IoT está presente nas mais diversas áreas desde a saúde, a automação industrial, a condução autónoma, entre muitas outras. Muitas das vezes a IoT está presente em sistemas críticos como a monitorização dos sinais de vida de um paciente ou transações monetárias, onde falhas podem originar consequências irreversíveis (Kovatsch, 2015).

A ampla adoção do IoT tem consequentemente levado a um aumento drástico da exposição de informações privadas e sensíveis dos seus utilizadores. Assim, estas grandes redes de dispositivos conetados originam enormes fluxos de dados das mais diversas naturezas aos quais tem de ser assegurado segurança e privacidade. Caso os sistemas sejam alvo de ataques externos e comprometidos, dados como informações pessoais, informações de cartões de crédito podem ser acedidos por alguém que não era suposto. Vulnerabilidades num sistema podem ainda resultar em danos na saúde das pessoas, bem como danificação de equipamentos (Cooper, 2015).

São muitas as vantagens e oportunidades que a IoT pode oferecer, no entanto, a garantida da segurança e privacidade dos dados são assuntos que ainda levantam

bastante preocupação aos fabricantes e consumidores de tecnologia. Segundo um estudo realizado em 2014 por Santos (2016), 80% dos dispositivos IoT existentes possuem limitações ao nível da privacidade e segurança. A questão segurança e privacidade é um dos maiores desafios que o IoT enfrenta e segundo o autor Mietinen (2019), este problema deve-se à grande competitividade existente na área de produção de IoT, onde muitas vezes os fabricantes com o desejo de lançar os seus produtos o mais cedo possível no mercado, o fazem sem que estes estejam devidamente testados em questões como a segurança. Outra limitação à segurança prende-se com limitações de *hardware*, como a alimentação, a largura de banda, a memória e poder de processamento encontradas em muitos dos dispositivos, que dificultam o desenvolvimento e implementação das soluções de segurança (Tuen, 2015).

As principais limitações encontradas nos sistemas IoT relativas a questões de segurança e privacidade prendem-se com as seguintes temáticas (Cooper, 2015):

- Authentication - A autenticação é o processo de determinação se a pessoa ou objeto são quem eles dizem realmente ser, e não um utilizador malicioso a fazer-se passar por alguém ou algo que não é. Na IoT a autenticação é muito importante, pois maior parte das comunicações ocorrem sem interação dos utilizadores. Assegurar que os corretos dispositivos, sensores e utilizadores têm as permissões de acesso a recursos de rede e informação devidos também é um assunto de extrema importância. É ainda crucial assegurar que a informação, comandos e pedidos são recebidos pelos dispositivos corretos. Alguns métodos de autenticação mais utilizados recorrem a *passwords*, assinaturas digitais ou a protocolos de desafio e resposta. Métodos recorrendo a biometria também poderiam ser utilizados, mas devido às limitações de processamento de muitos dispositivos IoT estes não são frequentemente implementados (Sicari et al., 2014);
- Authorization - A autorização é um mecanismo de controlo e é usada para limitar os privilégios que um determinado dispositivo tem, bem como as ações que este está aprovado a realizar. Isto é, determina as operações que cada dispositivo é capaz realizar e a informação a que este pode ter acesso. Assim,

caso uma rede IoT seja alvo de ataque e alguns dispositivos fiquem comprometidos, as operações realizadas pelo *hacker* estarão limitadas pelo mecanismo de autorização. A *authorization* pode ser reforçada recorrendo a mecanismos de controlo de acesso como *role based access control* ou *attribute based access control* (Cooper, 2015);

- Confidentiality - A confidencialidade é a forma de assegurar que apenas as pessoas ou dispositivos que deveriam ter acesso a determinada informação a têm. Assegurar a confidencialidade é muito importante dado que nas redes circula muitas vezes informação de natureza sensível, como dados pessoais que não deve estar disponíveis a outros utilizadores (Sicari et al., 2014). A confidencialidade é assegurada através do uso de encriptação e mecanismos criptográficos e assume grande importância em redes IoT, onde a informação é transmitida de *node* para *node* evitando que os *nodes* que não deveriam ter acesso a tal informação a tenham (Ashraf and Habaebi, 2014);
- Integrity - A integridade permite assegurar que a informação recebida está correta e não foi corrompida ou modificada por alguma entidade não autorizada (Ashraf and Habaebi, 2014). Este conceito é muito importante em sistemas IoT onde a precisão dos dados seja um elemento fundamental para que estes funcionem corretamente, o setor da saúde é um exemplo disso mesmo. A integridade dos dados é normalmente assegurada através de funções de *hash* à prova de colisões e assinaturas digitais (Sicari et al., 2014);
- Privacy - Este conceito pode ser descrito como o direito dos utilizadores decidirem como e qual informação partilhar com os restantes utilizadores. A privacidade pode ser alcançada pelos utilizadores, através do uso de ferramentas que gerem a informação que os dispositivos IoT recolhem acerca deles (Roman et al., 2011);

3

Qualidade do Ar

A qualidade do ar é um fator de extrema importância que afeta todos os seres humanos ([Han et al., 2010](#)). Assim, existe uma relação direta entre a saúde pública e os poluentes presentes no ar ([Kyrkilis et al., 2007](#)).

Os ambientes urbanos destacam-se como fontes poluidoras do ar, afetando a vida de milhões de pessoas. Muitos destes poluentes resultam das emissões de veículos, indústria ou setor energético. A inalação destes poluentes pode ter consequências nefastas na saúde das pessoas como cancro, problemas respiratórios ou distúrbios no desenvolvimento das crianças. Os poluentes atmosféricos podem ainda causar danos aos ecossistemas e a edifícios ([Han et al., 2010](#)).

Com o objetivo de reduzir o impacto destes problemas foi desenvolvida uma ferramenta que permite informar acerca dos níveis de poluição no ar num determinado local por forma a informar os cidadãos e a que possam ser tomadas medidas para minimizar os seus impactos. O índice de qualidade ar é calculado de acordo com os principais poluentes atmosféricos e reflete o seu impacto na saúde e bem estar da população ([Murena, 2004](#)).

Neste capítulo, são abordados conceitos como poluição atmosférica e os seus impactos. É ainda abordada a temática da qualidade do ar, tecnologias usadas para a

determinar e alguns trabalhos relacionados encontrados na revisão bibliográfica.

3.1 Poluição Atmosférica

Segundo [da Rocha \(2014\)](#), a poluição atmosférica pode ser definida como a presença de substâncias estranhas na atmosfera, resultantes da atividade humana ou de processos naturais, em concentrações suficientes que interferem com a saúde e bem-estar humano, ou que produzem efeitos ambientais prejudiciais. A qualidade do ar está relacionada com o estado químico da atmosfera num determinado período temporal e local, assim, a partir do nível de poluição atmosférica é possível inferir o estado da qualidade do ar ([Zhang et al., 2012](#)). A poluição do ar é uma ameaça global que conduz a grandes impactos na saúde pública, na economia e nos ecossistemas. As emissões e concentrações de poluentes atmosféricos têm aumentado em muitas áreas. Em particular na Europa, a qualidade do ar permanece baixa em diversos domínios apesar das medidas de redução da emissão de poluentes que tem sido adotadas ([European Environmental Agency, 2018](#)).

Os poluentes atmosféricos podem ter origem antropogenia como a atividade industrial, transportes e agricultura ou origem natural como é o caso das erupções vulcânicas e fogos florestais [Rodrigues and Biu \(2013\)](#). Estes poluentes são emitidos directamente para a atmosfera, sendo por isso caracterizados como poluentes primários. Existem ainda poluentes que apenas são formados na atmosfera por meio de reações químicas e são nomeados poluentes secundários ([European Environmental Agency, 2018](#)).

Os principais poluentes atmosféricos são: o dióxido de enxofre, o monóxido de carbono, o dióxido de azoto, o ozono e as partículas em suspensão que engloba as *PM10* (com diâmetro igual ou inferior a $10\ \mu\text{m}$) e as *PM2.5* (com diâmetro igual ou inferior a $2.5\ \mu\text{m}$). Estes são os poluentes que apresentam um efeito mais nefasto na saúde humana, havendo por isso, maior regulamentação para as suas concentrações ([Twesigye, 2018](#)).

Uma fraca qualidade do ar acarreta diversas consequências, quer para a sociedade quer para o ambiente, entre as quais se destacam o seu efeito ([European Environmental Agency, 2018](#)):

- na saúde humana, em que a fraca qualidade do ar é uma das maiores causas de morte prematura, pode ainda ser responsável por problemas de desenvolvimento das crianças, cancro, asma ou mesmo problemas no sistema reprodutor e cardíaco;
- nos ecossistemas, dado que a poluição do ar tem grandes impactos na fauna e flora e pode causar diminuição no ritmo de crescimento das plantas assim como alterações na biodiversidade dos ecossistemas;
- nas alterações climáticas, sendo que a poluição do ar está diretamente ligada às mudanças climáticas tendo um grande impacto no aquecimento global a médio e curto prazo;
- na economia, uma vez que, uma fraca qualidade do ar potencia o consumo de medicamentos e de tratamentos clínicos. Reduz ainda a capacidade cognitiva que conseqüentemente irá reduzir a produtividade. Existem ainda, perdas nas colheitas agrícolas e florestais que se refletem igualmente na economia;
- na cultura, onde a poluição atmosférica contribui fortemente para as chuvas ácidas que danificam edifícios e monumentos. O impacto da poluição do ar na herança cultural é bastante elevado, podendo levar a perdas históricas e culturais;

A redução efetiva da poluição do ar e dos seus impactos requer uma vasta compreensão das suas causas, da forma como os poluentes são transportados, como a composição química dos poluentes é alterada ao longo do tempo e como os poluentes afetam a saúde, os ecossistemas, o clima e a sociedade.

3.2 Legislação

Após décadas de industrialização e urbanização, a poluição do ar tornou-se um dos maiores problemas ambientais para os países desenvolvidos e em desenvolvimento (Cheng et al., 2007). Com isso, aumentou o interesse e envolvimento da sociedade no que respeita às questões ambientais, com especial importância na temática da qualidade do ar. Foi definida pela Comissão Europeia (CE) uma estratégia comum a todos os estados membros através do estabelecimento de objetivos a longo prazo, relativos à qualidade do ar (Rodrigues and Bui, 2013). A Diretiva-Quatro 1996/62/CE, referente à gestão e avaliação da qualidade do ar, tinha como princípios: definir e estabelecer objetivos para a qualidade do ar, por forma a evitar, prevenir ou limitar os efeitos nocivos sobre a saúde humana e ambiente; estabelecer como a avaliação da qualidade do ar deverá ser feita com base em métodos e critérios comuns em todos os estados membros; dotar cada estado membro de informações adequadas relativas à qualidade do ar ambiente e disponibilizá-las ao público sob a forma de limiares de alerta; melhorar a qualidade do ar quando necessário ou preservá-la no caso de esta estar favorável. Em Portugal a Diretiva 1996/62/CE foi transposta para ordem jurídica nacional pelo Decreto-Lei ° 276/99, de 23 de Julho de 1999 (APA).

A diretiva 1996/62/CE não define valores normativos para nenhum poluente. Assim, foram criadas quatro diretivas derivadas (Diretivas 1999/30/CE, de 22 de Abril; 2000/69/CE, de 16 de Novembro; 2002/3/CE, de 12 Fevereiro e 2004/107/CE, de 15 de Dezembro) que regulam os valores limite das concentrações de cada poluente (da Rocha, 2014).

Em 2008 foi publicada a diretiva 2008/50/CE, de 21 de Maio, que agrega num único documento as disposições legais referentes à Diretiva-Quatro às três diretivas filhas (1999/30/CE de 22 de Abril, 2000/69/CE de 16 de Novembro e 2002/3/CE de 12 de Fevereiro) e à Decisão 97/101/CE do Conselho, de 27 de Janeiro, que estabelece um protocolo de troca de informações e de dados provenientes das redes e estações individuais que medem a poluição atmosférica nos estados-membros. A

diretiva 2008/50/CE define objetivos de qualidade do ar, objetivos de redução da exposição, um indicador de exposição média, um valor alvo e um valor limite. Esta diretiva estabelece ainda legislação para as partículas $PM_{2.5}$ que até lá não estava estabelecida (APA).

A transposição da diretiva 2008/50/CE para legislação interna foi realizada através do Decreto-Lei n.º 102/2010 de 23 de Setembro, que incorporou também a transposição da diretiva 2004/107/CE Rodrigues and Bui (2013). Em 2015 o Decreto-Lei n.º 102/2010 de 23 de Setembro foi alterado pelo Decreto-Lei n.º 43/2015, de 27 de Março, passando a ter em conta as normas, orientações e programas da Organização Mundial de Saúde (OMS) (da Rocha, 2014).

3.3 Qualidade do Ar Urbano

Uma das áreas onde os efeitos da poluição são mais sentidos são os grandes centros urbanos. As principais fontes da poluição são os transportes, a indústria, o setor energético e o aquecimento doméstico, que apesar de não serem as fontes de poluição com maior peso globalmente, dada a sua proximidade com a superfície do solo expõe a população à ação direta dos poluentes tendo por isso um grande impacto na saúde pública (European Environment Agency, 2013). Associada ainda à problemática acima descrita, acresce ainda o facto de os centros urbanos serem providos de muitos edifícios o que reduz significativamente a velocidade do vento e potencializa a concentração dos poluentes perto do solo (Santos, 2003).

O setor dos transportes destaca-se como fonte poluidora e segundo a *European Environment Agency* (EEA) este é o setor que mais afeta a saúde das pessoas bem como o ambiente, merecendo por isso mais cuidados. Os veículos emitem uma grande diversidade de poluentes entre os quais se destacam o NO_x e as partículas em suspensão. O NO_x libertado é composto por uma mistura de Oxido de Azoto (NO) e dióxido de azoto (NO_2), sendo este último responsável por cerca de 79000 mortes prematuras por ano na Europa. Quando libertado, o NO reage ainda com outros constituintes do ar formando ozono (O_3). As emissões de NO_x formam ainda

compostos secundárias no ar que contribuem para a acidificação e eutrofização das águas e solos causando grandes impactos nos ecossistemas. O setor dos transportes é o responsável por um terço das emissões totais de NOx nos centros urbanos ([transportenvironment](#)).

A EEA refere ainda que entre 2016 e 2018 as maiores dificuldades de cumprimento das diretivas acerca da qualidade do ar são precisamente para o valor da matéria particulada e dióxido de azoto. Onde os maiores contribuidores são a queima de combustíveis nos transportes, no setor industrial, setor energético e aquecimento doméstico. Estima-se que cerca de 7% da população urbana na União Europeia (UE) está exposta a níveis de NO_2 acima dos impostos pela UE/OMS, e ainda que mais de três quartos dessa mesma população esteja exposta a valores de $PM_{2.5}$ superiores aos legislados ([European Environmental Agency, 2018](#)).

3.4 Índice da Qualidade do Ar

Existe uma grande relação entre a saúde humana e níveis de poluição do ar. Por forma a controlar a poluição do ar e desenvolver estratégias de redução, ambas, comunidade científica e autoridades competentes focaram-se na monitorização e análise da concentração dos poluentes atmosféricos. Surgiu assim, a necessidade de desenvolver uma ferramenta capaz de informar os cidadãos, de forma perceptível, à cerca do nível de poluição do ar, bem como informar autoridades relevantes por forma a estas tomarem medidas para proteger a saúde da população ([Kyrkilis et al., 2007](#)).

De acordo com [Murena \(2004\)](#), o Índice de Qualidade do Ar (AQI do inglês *Air Quality Index*) pode ser definido como um único número ou termo capaz de transmitir informação acerca da qualidade do ar em relação ao seu efeito na saúde humana.

Na Tabela [3.1](#) estão presentes os intervalos de classificação para cada um dos poluentes, que variam de Muito Bom a Mau de acordo com o valor da sua concentração no ar em ($\mu\text{g m}^{-3}$). Estes intervalos de classificação foram definidos de acordo com os

Classificação	PM10	PM2.5	NO ₂	O ₃	SO ₂
Muito Bom	0-20	0-10	0-40	0-80	0-100
Bom	21-35	11-20	41-100	81-100	101-200
Médio	36-50	21-25	101-200	101-180	201-350
Fraco	51-100	26-50	201-400	181-240	351-500
Mau	101-1200	51-800	401-1000	241-600	501-1250

Tabela 3.1 – Intervalos de classificação dos poluentes. Retirado de [Carvalho](#)

valores limites estabelecidos pela legislação. No início de 2019 foi efetuada uma revisão a estes mesmos intervalos, decorrente de estudos mais aprofundados dos efeitos dos poluentes na saúde e recomendações da Organização Mundial de Saúde.

Para calcular o índice de qualidade do ar, cada um dos poluentes é classificado individualmente de acordo com os intervalos presentes na Tabela 3.1, em que é avaliada a sua concentração no ar num determinado intervalo de tempo. No fim desta avaliação, o poluente que apresentar pior classificação é o que irá determinar o índice da qualidade do ar ([Kyrkilis et al., 2007](#)).

3.5 Sensores de Baixo Custo para Monitorização da Qualidade do Ar

Devido à crescente preocupação associada à qualidade do ar, várias cidades estão a recorrer à *Internet of Things* por forma a aumentar o alcance de monitorização bem como a eficiência desse processo. Através do uso de sensores de baixo custo é possível implementar sistemas de monitorização da qualidade do ar. Desta forma, é possível a implementação uma rede uma de sensores conetados, e assim monitorizar e seguir os parâmetros mais relevantes relativos à qualidade do ar ([Bodum and Moreno, 2019](#)).

3.5.1 Estações de Monitorização Fixas

As estações de monitorização oficiais são bastante dispendiosas pois dada a sua especificidade utilizam sistemas bem definidos e normalizados, isto é, os sensores que estas possuem foram testados e aprovados sob diversas condições. Assim, estas estações envolvem muitos gastos e dispêndio de tempo derivado à grande manutenção que têm associada. Dado que, os equipamentos têm de ser verificados regularmente, os resultados obtidos estão sujeitos a rigorosos controlos de qualidade e exigem complexos procedimentos de calibração (European Commission, 2018). As estações fixas possuem ainda outra problemática que reside nas limitações de quando é necessário obter resultados fora das áreas de ação abrangidas pelas estações. Existem modelos de dispersão que permitem estimar a concentração dos poluentes à medida que estes se afastam da fonte, no entanto, estes modelos são dispendiosos e por vezes pouco precisos, dado que dependem de condições meteorológicas constantemente variáveis como a temperatura e o vento e do relevo do terreno. Com o uso de estações móveis é possível solucionar esta problemática pois podemos obter informações em muitos mais locais. O uso de estações móveis pode ser usado paralelamente com as estações fixas por forma a melhorar a precisão dos locais onde as estações fixas não possuem dados (Sevusu, 2015).

3.5.2 Sensores de Baixo Custo

Os sensores de baixo custo permitem a monitorização da qualidade do ar a preços inferiores aos usados em estações fixas convencionais, possibilitando assim, a monitorização em mais locais (Lewis et al., 2015). No entanto, segundo a European Commission (2018), os resultados obtidos por sensores de baixo custo não possuem tanta exatidão quando comparados aos obtidos por estações de monitorização fixas convencionais, que foram desenvolvidas exatamente para esse propósito. A European Commission (2018), diz ainda que caso a qualidade das medições dos sensores melhorasse, eles poderiam ser elementos fundamentais na monitorização da poluição, gestão de tráfego e avaliação da exposição das pessoas aos poluentes.

Existem diversas categorias de sensores atualmente disponíveis para medição da concentração dos poluentes atmosféricos. Os sensores eletroquímicos destacam-se pela boa sensibilidade nas leituras efetuadas, entre os mg m^{-3} e $\mu\text{g m}^{-3}$ e pela rápida resposta de medição, tipicamente na ordem dos 30 s aos 200 s (European Commission, 2018).

Como é apresentado na Figura 3.1, um sensor eletroquímico é tipicamente constituído por um eléctrodo de trabalho (*sensing electrode*) e um contra eléctrodo (*counter electrode*) separados por uma camada de eletrólito. O gás que se pretende medir passa através de uma membrana hidrofóbica (permite a entrada do gás mas impede a saída da solução eletrolítica), esse gás vai reagir com o eléctrodo de trabalho através de uma reação de oxidação ou redução dependendo da substância, dando origem a uma corrente elétrica aos terminais dos eléctrodos que é proporcional à concentração do gás no ar. Por vezes está ainda presente um eléctrodo de referência (*reference electrode*), que tem como função melhorar o desempenho do sensor ao longo do tempo, dado que, o eléctrodo de trabalho se vai deteriorando devido às múltiplas reações electroquímicas, cabe ao eléctrodo de referencia manter a diferença de potencial constante no eléctrodo de trabalho (Williams et al., 1991).

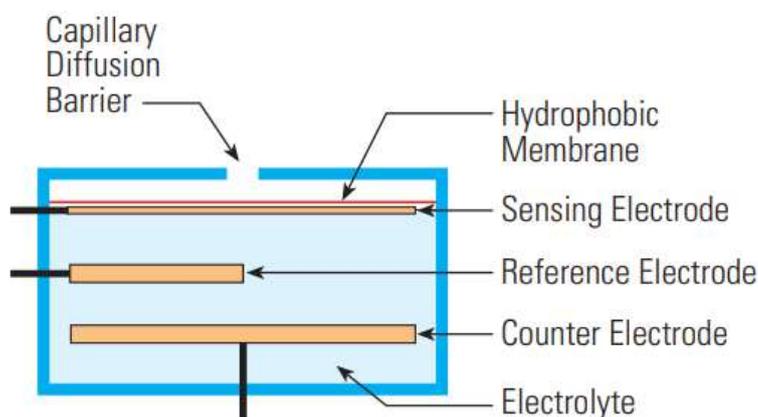


Figura 3.1 – Exemplo sensor eletroquímico. Retirado de Williams et al. (1991)

Este tipo de sensores permite medir a concentração de diversos poluentes no ar, como por exemplo, o NO_2 , SO_2 , O_3 , NO e SO . No entanto, os sensores eletroquímicos possuem algumas limitações. São bastante influenciados por fatores meteorológicos

como humidade e temperatura e podem ainda, ser influenciados por outros constituintes do ar com composição molecular semelhantes à do poluente que eles estão a medir (Lewis et al., 2015).

Relativamente às partículas em suspensão *PM*, os sensores mais utilizados são os óticos. Como pode ser observado na Figura 3.2, estes sensores tem como princípio de funcionamento a dispersão luminosa. Possuem no seu interior um feixe de luz, que quando atravessado por uma partícula suspensa no ar irá dispersar parte dessa mesma luz. A deteção dessa luz dispersada por um recetor permite não só contar o número de partículas (determinar a sua concentração no ar) mas também aferir o seu tamanho, isto é, classificá-las de acordo com o seu diâmetro (The University of Manchester).

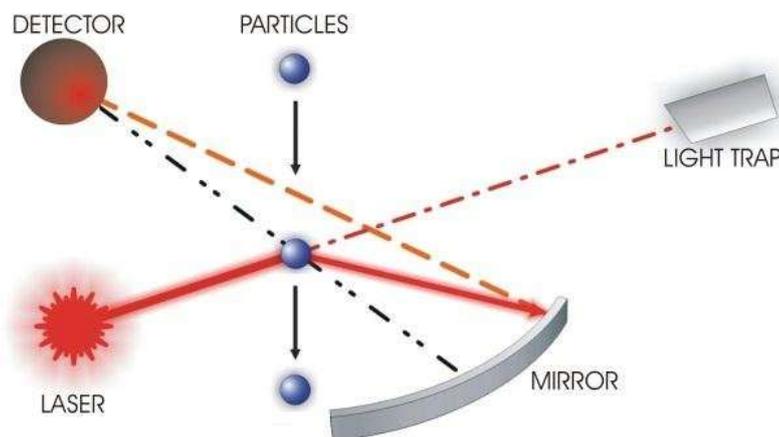


Figura 3.2 – Exemplo sensor ótico. Retirado de Weber et al. (2010)

Os sensores óticos possuem algumas desvantagens como o facto da contagem de partículas ser baseada em modelos teóricos e a luz dispersada pelas partículas ser afetada por parâmetros como a forma, a cor e a densidade destas, bem como pelo seu índice de refração (European Commission, 2018).

Segundo European Commission (2018) podemos concluir que a resposta dos sensores não depende apenas do poluente atmosférico de interesse mas também da combinação de outros fatores como, outros compostos presentes no ar, temperatura, humidade e pressão. Quando os poluentes atmosféricos em causa se encontram presentes em elevadas concentrações, a resposta dos sensores é satisfatória no entanto,

a concentrações mais baixas desses mesmos poluentes a resposta pode ter grande interferência dos fatores acima descritos. A qualidade dos resultados obtidos pelos sensores depende ainda do local e da configuração dos sensores na estação. [Lewis et al. \(2015\)](#) refere que a qualidade dos resultados obtidos por estes sensores em estações móveis ainda requer mais estudo, para além de existir pouca literatura referente a esta temática. Existe alguma dificuldade em reproduzir a resposta destes sensores em locais diferentes, além da calibração dos sensores ser por vezes difícil devido à influência dos fatores meteorológicos. Porém, em situações bem definidas a qualidade dos resultados obtidos pode ser comparada à obtida em estações fixas.

3.6 Trabalhos Relacionados

Neste capítulo vão ser abordados trabalhos e sistemas presentes na literatura, que se relacionam com o trabalho descrito nesta dissertação. Focam-se tecnologias como os REST *web services*, HTTP, bases de dados e arquiteturas presentes nos vários sistemas.

3.6.1 Estação Móvel para Medida da Qualidade do Ar

Neste estudo, os autores [Carvalho \(2008\)](#), desenvolveram um sistema móvel de medição da qualidade do ar. O sistema tem como objetivos:

- visualizar os parâmetros relativos à qualidade do ar numa vasta área o que não acontecia com as estações fixas;
- ser autónomo e facilmente integrável em transportes públicos não necessitando por isso de ligação física para transmissão de dados e alimentação;
- os dados recolhidos são disponibilizados numa página *web* onde podem ser consultados por qualquer instituição ou utilizador;
- ser constituído à base de sensores de baixo custo;

Por forma a desenvolver um dispositivo móvel, autónomo, automático e capaz de medir as concentrações dos diferentes poluentes os autores [Carvalho \(2008\)](#) dividiram o sistema em vários módulos. Um módulo de controlo, constituído por um PIC30F4013, responsável por controlar todos os processos envolvidos na estação tais como, a gestão de dados recolhidos pelos sensores, o envio de informação para o servidor e a tomada de decisões relativas à operação do sistema. O módulo de localização, *Global Positioning System* (GPS), dado que a estação é móvel existe a necessidade de associar cada medição à sua localização. Um módulo *Global System for Mobile Communications/General Packet Radio Service* (GSM/GPRS) responsável pelo envio automático dos dados da estação para o servidor. O módulo de alimentação recorrendo a painéis fotovoltaicos. Um módulo de sensores de baixo custo, relativos a cada poluente que se pretende monitorizar. E por último, um módulo de memória adicional *Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory* (EEPROM) para garantir a manutenção dos dados em caso de falha energética. O *software* do microcontrolador foi desenvolvido na linguagem C. Foi configurado um servidor recorrendo às linguagens *HyperText Markup Language* (HTML) e *Hypertext Preprocessor* (PHP) bem como uma base de dados *Structured Query Language* (SQL).

Relativamente ao funcionamento do sistema, é feita a leitura dos sensores bem como do GPS (latitude, longitude e altitude) a cada 200 m percorridos, sendo de seguida armazenados na memória EEPROM. São recolhidas 207 amostras, perfazendo 9810 bytes antes do envio ao servidor, por forma a maximizar o tarifário utilizado, que usava pacotes de 10Kb. De seguida, os dados eram então enviados ao servidor através de um pedido HTTP utilizando o método POST. No servidor os dados eram processados e armazenados na base de dados. A página de *Web* desenvolvida é baseada na *Application Programming Interface* (API) do *Google Maps* para visualização de dados. Na Figura 3.3 está presente um excerto a página *Web* desenvolvida onde podemos observar as medições efetuadas bem como dados sobre a estação móvel e índices da qualidade do ar.

Segundo os autores [Carvalho \(2008\)](#) os resultados obtidos cumprem os objetivos iniciais que passavam pelo desenvolvimento de um equipamento móvel, autónomo e automático dotado de diversos sensores para medição da qualidade do ar, bem

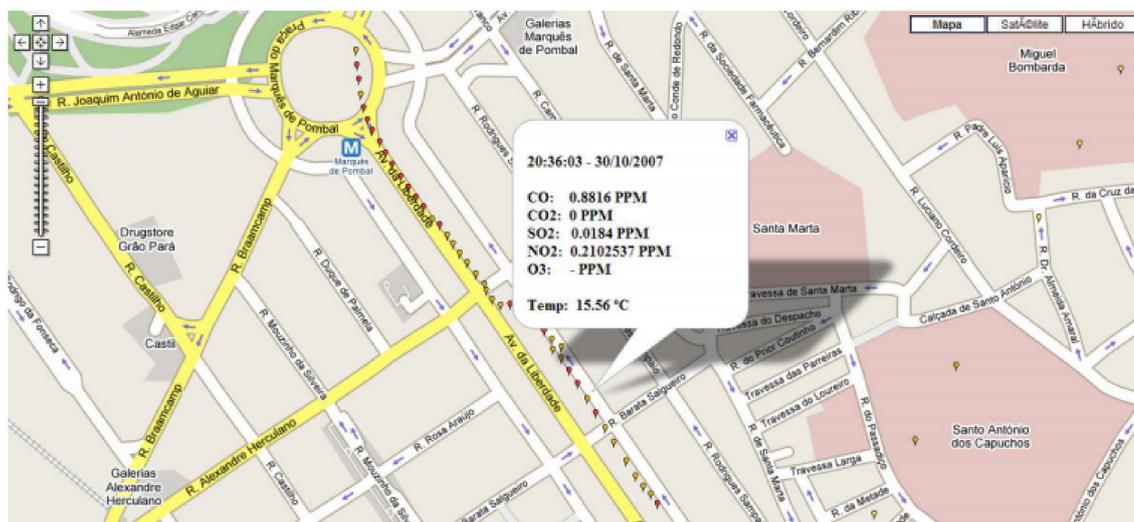


Figura 3.3 – Excerto da página da *Internet*. Retirado de [Carvalho \(2008\)](#)

como, de uma página de *Web* para visualização dos resultados.

No entanto o trabalho realizado pelo autores [Carvalho \(2008\)](#) possuía algumas limitações:

- a informação relativa à qualidade do ar na página *Web* não é por vezes perceptível;
- devido ao erro associado ao GPS (< 15 m) muitas das medições registadas não apareciam no mapa no local correto, aparecendo por vezes erradamente em estradas que não tinham sido percorridas ou em locais que não possuíam qualquer estrada;
- uma vez que os dados apenas eram enviados quando já tinham sido recolhidas 2017 amostras, e a recolha de cada amostra apenas é realizada a cada 200 m percorridos, seria necessário percorrer 41.4 km antes do envio da informação. Devido a trânsito congestionado, percorrer esta distância poderia traduzir-se em algumas horas, podendo assim, a informação já não ser viável para gestão de tráfego ou alertas de saúde pública;
- falta de qualquer gráfico ou informação estatística na página de *Web* que

relacione as várias medições recolhidas, sendo por isso difícil retirar conclusões num plano mais geral à cerca da qualidade do ar;

3.6.2 Real-Time Air Quality Measurements Using Mobile Platforms

Sevusu (2015) propõem uma pesquisa e análise das técnicas existentes de monitorização da qualidade do ar, bem como o desenvolvimento de um sistema que facilite a monitorização da qualidade do ar em tempo real e a sua disseminação pelos cidadãos. Os autores pretendem que a plataforma de monitorização funcione como uma comunidade social que usa os *smartphones* para partilha e recolha de dados nessa mesma plataforma.

Os utilizadores usam um dispositivo equipado com sensores de baixo custo e conectividade *Bluetooth* que vai interagir com uma aplicação de *smartphone* desenvolvida. Esse dispositivo permite a recolha de dados relativos ao nível de poluição do ar dentro dos veículos dos utilizadores e partilha-as com a restante comunidade em tempo real. Esta informação, permite assim à comunidade evitar áreas de maior poluição, bem como servir de complemento à informação recolhida pelas estações fixas existentes.

Foi usado o dispositivo *NODE* pertencente à empresa *Variable Technologies*, que possui um módulo *Bluetooth* e permite adicionar uma panóplia de sensores para recolha de dados. Vem equipado com uma bateria com autonomia 12 horas, podendo funcionar de modo contínuo caso o dispositivo esteja permanentemente ligado à fonte de alimentação.

Relativamente ao funcionamento, foi desenvolvida uma aplicação para *smartphone* chamada *WeBreath* que tem como objetivo o envio dos dados para o servidor bem como a visualização de dados acerca da qualidade do ar ao longo das estradas percorridas pelos utilizadores. As medições recolhidas pelo dispositivo *NODE* eram então enviadas para a aplicação *WeBreath*, que posteriormente as encaminhava para o servidor caso houvesse conexão à *Internet* ou então guardadas numa base de dados

temporária *SQLite* até existir conexão. Os dados eram enviados da aplicação para o servidor no formato *JavaScript Object Notation* (JSON) utilizando pedidos HTTP.

Como *backend* da aplicação de *smartphone* os autores [Sevusu \(2015\)](#) usaram *Cloud Web Services* por forma a obter uma solução confiável, escalável e com baixo custo. Na Figura 3.4 é apresentada a arquitetura do *Cloud Web Service* utilizado. Para o envio dos dados provenientes da aplicação foi usado um *Representational State Transfer Web Service* (REST), por forma a simplificar o desenvolvimento deste os autores utilizaram a *framework Java Based Jersey*, bem como um *Java Servlet container* o *Apache Tomcat*. Depois de processados, os dados eram armazenados na base de dados espacial PostgreSQL. Este tipo de base de dados (espacial) permite tratar a informação geográfica de uma forma mais simples, através de pontos, linhas ou polígonos, bem como executar operações com esta informação como por exemplo enterceção, área, etc.

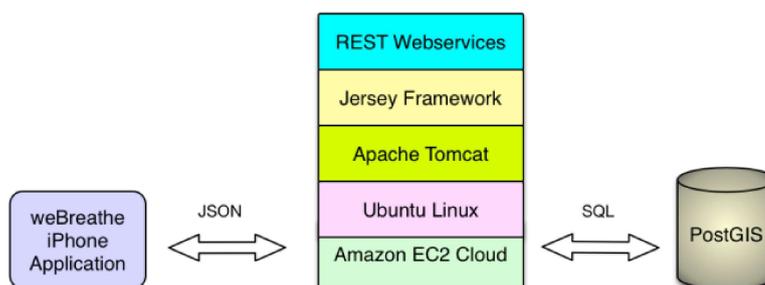


Figura 3.4 – Arquitetura do *Cloud Service*. Retirado de [Sevusu \(2015\)](#)

É apresentada uma página da aplicação desenvolvida na Figura 3.5, esta aplicação poderá ser usada não só pelos utilizadores que disponham de um dispositivo de recolha de dados *NODE*, mas também por todos os utilizadores que apesar de não possuírem o dispositivo *NODE* pretendam consultar a informação relativa à qualidade do ar.

A metodologia empregue pelos autores apresenta no entanto algumas lacunas:

- os encargos associados à aquisição do dispositivo *NODE* tem de ser inteiramente suportados pelos utilizadores (cerca de 300 €);

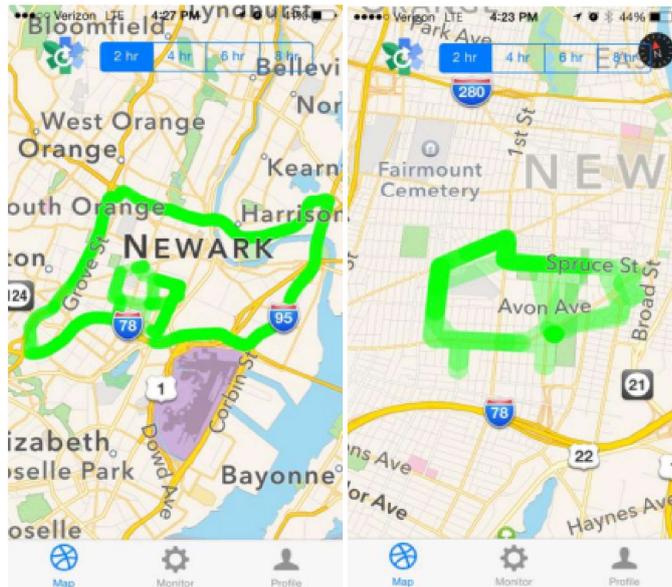


Figura 3.5 – Excerto da página da aplicação *WeBreath*. Retirado de [Sevusu \(2015\)](#)

- devido ao erro associado ao GPS, os valores registados poderão estar ligados a localizações que não correspondem à verdade, e por isso nem representar sequer uma estrada;
- a aquisição de informação acerca da qualidade do ar depende em exclusivo dos utilizadores, logo se existir um baixo número de utilizadores haverá escassez de informação;
- falta de qualquer relação entre as várias medições recolhidas, sendo por isso, difícil retirar conclusões num plano mais geral a cerca da qualidade o ar;
- cabe ainda aos utilizadores a manutenção e calibração dos equipamentos, que por falta de conhecimento mais técnico, poderão estar a usar um equipamento defeituoso que introduz valores errados na plataforma, induzindo assim os restantes utilizadores em erro;

3.6.3 Wireless Air Quality and Emission Monitoring

O estudo realizado por [John and Joseph \(2016\)](#) propõe o desenvolvimento de um sistema capaz de medir a concentração de alguns poluentes atmosféricos em tempo real e o seu envio para um *Cloud endpoint*, onde são processados, analisados e armazenados. Foram ainda avaliadas a eficiência do sistema e qualidade dos dados recolhidos.

O sistema desenvolvido é composto por três componentes: *nodes* de qualidade do ar, *gateway* e uma *cloud application* e a sua arquitetura pode ser observada na Figura 3.6.

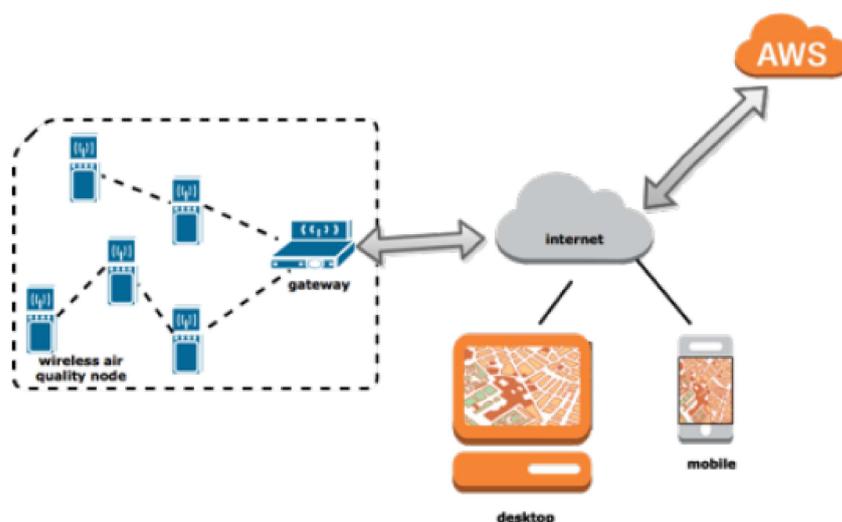


Figura 3.6 – Arquitetura do sistema desenvolvido. Retirado de [John and Joseph \(2016\)](#)

Os *nodes* foram distribuídos por vários locais da cidade de Uppsala na Suécia formando uma *Wireless Sensor Network* (WSN). Cada *node* está equipado com sensores de baixo custo para os vários poluentes atmosféricos, um microcontrolador ATMega328P e um módulo de comunicação XBee. Relativamente ao *gateway* é composto por uma placa compatível com Arduino, o pcDuino com o sistema Lubuntu, um módulo rádio XBee de longo alcance e conexão à *Internet*.

Os dados recolhidos pelos *Nodes* eram enviados para o *gateway* onde lhes era realizado um *parse* sendo reencaminhados de seguida para uma *cloud endpoint* através

da *Internet*. O *cloud endpoint* utiliza a plataforma *TerraView* que permite não só armazenar os dados mas também visualizá-los e realizar processamento estatístico. No gráfico da Figura 3.7, podemos observar um exemplo de uma relação entre o tráfego numa rua com a concentração dos poluentes O_3 e NO_2 , realizada a partir dos dados recolhidos.

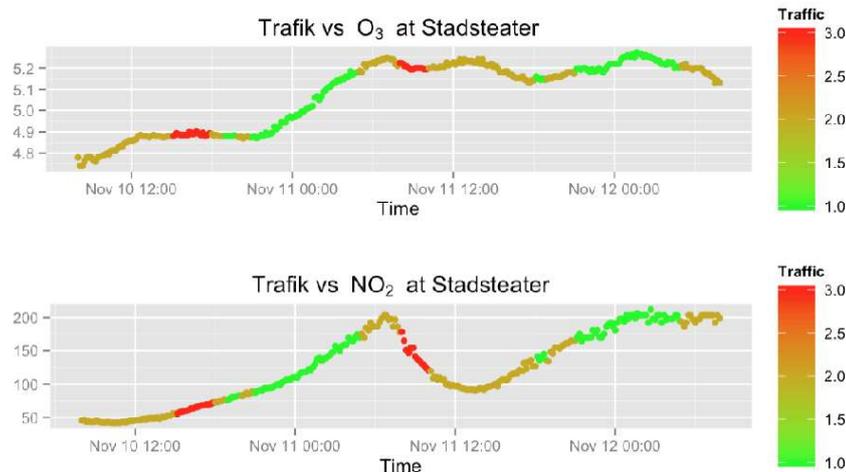


Figura 3.7 – Exemplo da tipologia de informação disponibilizada. Retirado de [John and Joseph \(2016\)](#)

Os autores concluem que o sistema desenvolvido vai de encontro às expectativas, sendo que apenas 20% dos pacotes enviados pelos *nodes* não eram recebidos pelo *gateway*. Acrescentam ainda que os resultados obtidos pelos sensores possuem qualidade podendo ser comparados aos obtidos por estações de monitorização de qualidade do ar oficiais presentes nas proximidades. Por fim, salientam que a abordagem usando um *cloud endpoint* se mostrou muito vantajosa permitindo analisar tendências e padrões à cerca da qualidade do ar bem como lançar alertas de saúde pública nas estradas monitorizadas.

Contudo o sistema desenvolvido apresenta algumas falhas:

- o *gateway* utilizado apresenta grandes limitações na distância máxima aos *nodes*, não podendo ultrapassar os 165 m;
- o facto de 20% dos dados não chegarem ao *gateway* corresponde a um valor

muito elevado de perdas e informação e desperdício de recursos;

- dado que cada *node* cobre uma área muito pequena, seria necessário uma grande quantidade de *nodes* para recolher dados relativos a uma cidade inteira, o que iria trazer grandes encargos monetários associados;

4

Conceção

O objetivo desta dissertação consiste no desenvolvimento de uma plataforma *web* para a monitorização da qualidade do ar. Esta terá de ser capaz de receber dados provenientes de estações, bem como, analisá-los e processá-los. As estações deverão circular pelas vias de trânsito acopladas a veículos privados ou transportes públicos, por forma a cobrir uma maior área e assim maximizar o seu aproveitamento. A plataforma deverá disponibilizar aos utilizadores informação acerca da qualidade do ar e permitir a gestão das estações responsáveis por enviar dados.

Na Figura 4.1 encontra-se esquematizadas as principais componentes da plataforma.

No que diz respeito ao nível funcional, a plataforma pode ser decomposta em duas vertentes: a receção de dados e o acesso à plataforma.

4.1 Receção dos Dados

Os dados relativos à qualidade do ar são recolhidos através de estações meteorológicas móveis, isto é, a sua localização poderá variar. Estes dados contêm informação acerca da concentração dos principais poluentes atmosféricos no ar como

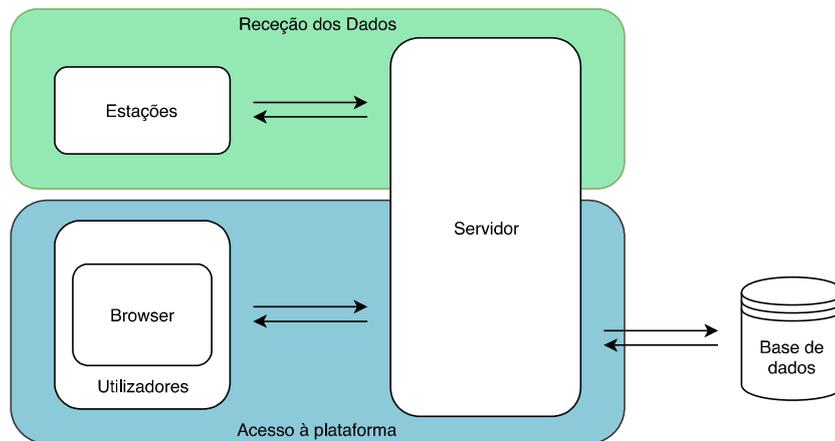


Figura 4.1 – Esquema das componentes do sistema

SO_2 , NO_2 , O_3 , PM_{10} e $PM_{2.5}$, podem ainda conter outras informações adicionais como temperatura ou humidade. As mensagens enviadas pelas estações à plataforma são compostas pelas coordenadas geográficas, *timestamp* da leitura, identificação do sensor e respetiva leitura e identificação da estação que envia a mensagem. Na Figura 4.2 é apresentado um esquema das mensagens acima descritas.

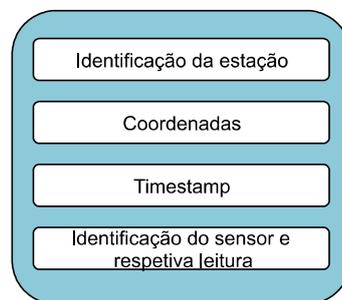


Figura 4.2 – Esquema das mensagens enviadas

Por forma a assegurar que as coordenadas geográficas associadas a cada leitura realizada pelas estações intersectam uma via de trânsito, uma vez que é suposto que as estações circulem pelas faixas de rodagem acopladas a veículos, foi desenvolvido um algoritmo no servidor. Este algoritmo “tem conhecimento” prévio das vias de trânsito válidas por onde as estações poderão passar e tem como objetivo eliminar o erro associado à leitura das coordenadas pelo GPS das estações. O algoritmo define uma margem com um raio predefinido à volta das vias de trânsito, e no caso de a posição lida estar deslocada da faixa de trânsito mas contida na margem, ela será

reajustada para a via. No capítulo seguinte, será realizada uma descrição detalhada acerca do funcionamento deste algoritmo.

Para envio de mensagens à plataforma, as estações tem de ter uma autenticação válida, que é realizada à custa de credenciais de acesso: um nome identificador e palavra passe. O processo de envio das mensagens pelas estações ao servidor encontra-se no fluxograma da Figura 4.3.

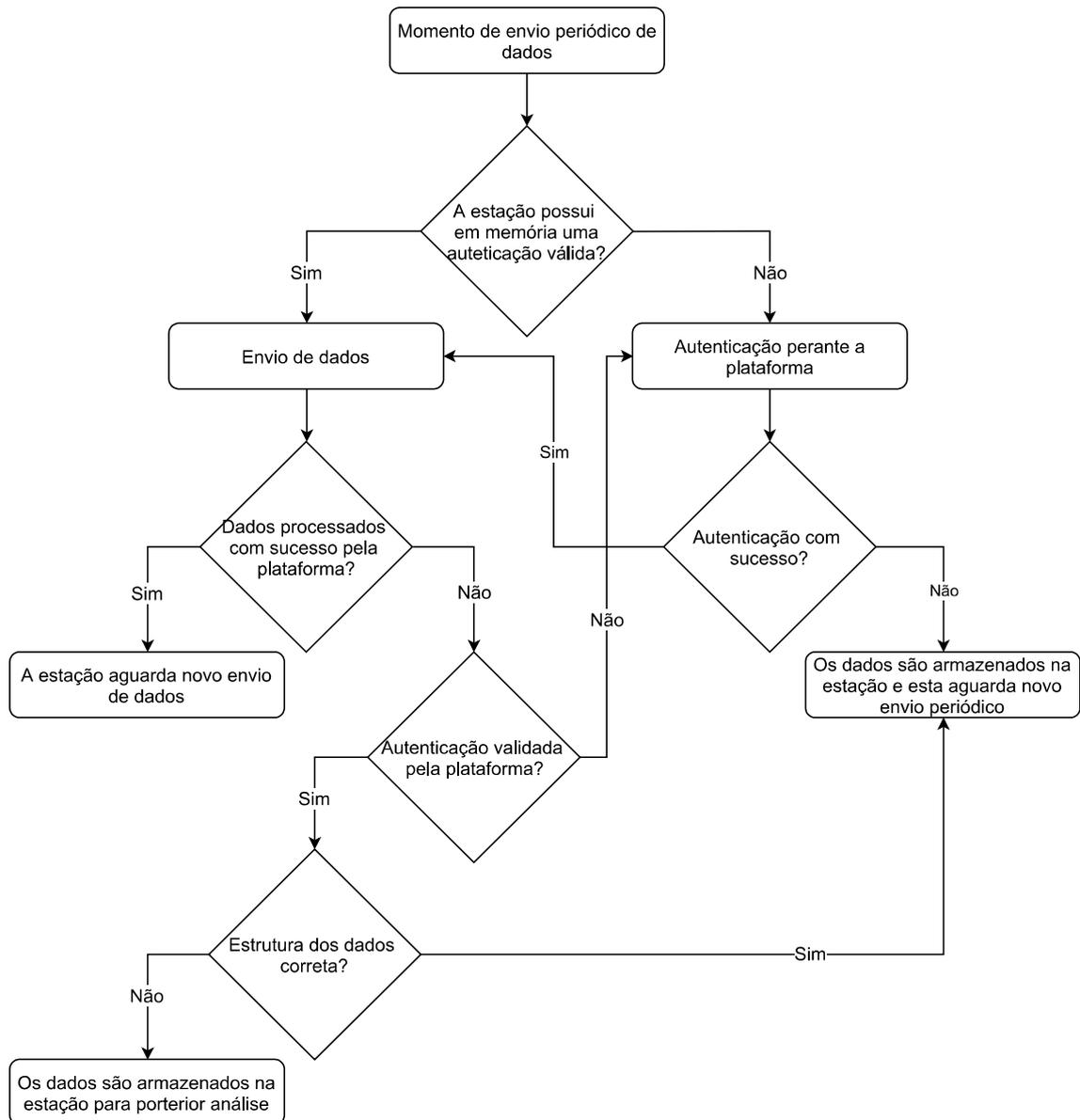


Figura 4.3 – Fluxograma de envio de mensagens pelas estações

Periodicamente são enviadas pelas estações, as mensagens contendo os dados recolhidos. Antes do envio da mensagem a estação verifica se possui uma autenticação válida. Caso esta seja inválida, a estação terá de realizar a autenticação perante a plataforma, na condição de esta autenticação não ser realizada com sucesso, os dados relativos à qualidade do ar são armazenados na estação e aguardam novo envio periódico de dados. Realizado o processo de autenticação com sucesso, a estação encontra-se com uma autenticação válida e por isso na condição de enviar dados à plataforma.

Os dados são então enviados, sendo processados pela plataforma. Caso os dados sejam processados com sucesso, a estação aguarda um novo envio periódico de informação. No caso de falha no processamento da mensagem pela plataforma, é avaliada se a autenticação perante a plataforma foi realizada com sucesso. Em caso negativo, é realizado o processo de autenticação descrito no paragrafo acima. Em caso afirmativo, é realizado uma avaliação á estrutura dos dados: se existir erro na estrutura dos dados, estes são armazenados na estação para posterior analise, não sendo novamente enviados. Se não existir erro de estrutura os dados relativos à qualidade do ar são armazenados na estação e aguardam novo envio periódico.

Relativamente ao processo de receção das mensagens pelo servidor *web*, este está esquematizado na Figura 4.4.

Quando recebida uma mensagem pela plataforma é verificado se o remetente da mensagem pretende enviar dados ou realizar o pedido de autenticação, na eventualidade de não se tratar de nenhum desses serviços, as mensagens são descartadas pela plataforma. No caso de um pedido de autenticação, é avaliado se este é válido, e nesse caso a estação é validada. No caso do envio de dados, é verificado se existe uma autenticação válida. Caso esta seja inválida, a informação é descartada e é enviada uma mensagem à estação remetente dizendo que a sua sessão é inválida, e por isso se deve autenticar novamente antes do envio de mais dados. Caso afirmativo, é verificado se o formato e estrutura das mensagens estão de acordo com os aceites pela plataforma.

Se porventura não for verificada a estrutura dos dados, estes são descartados e é

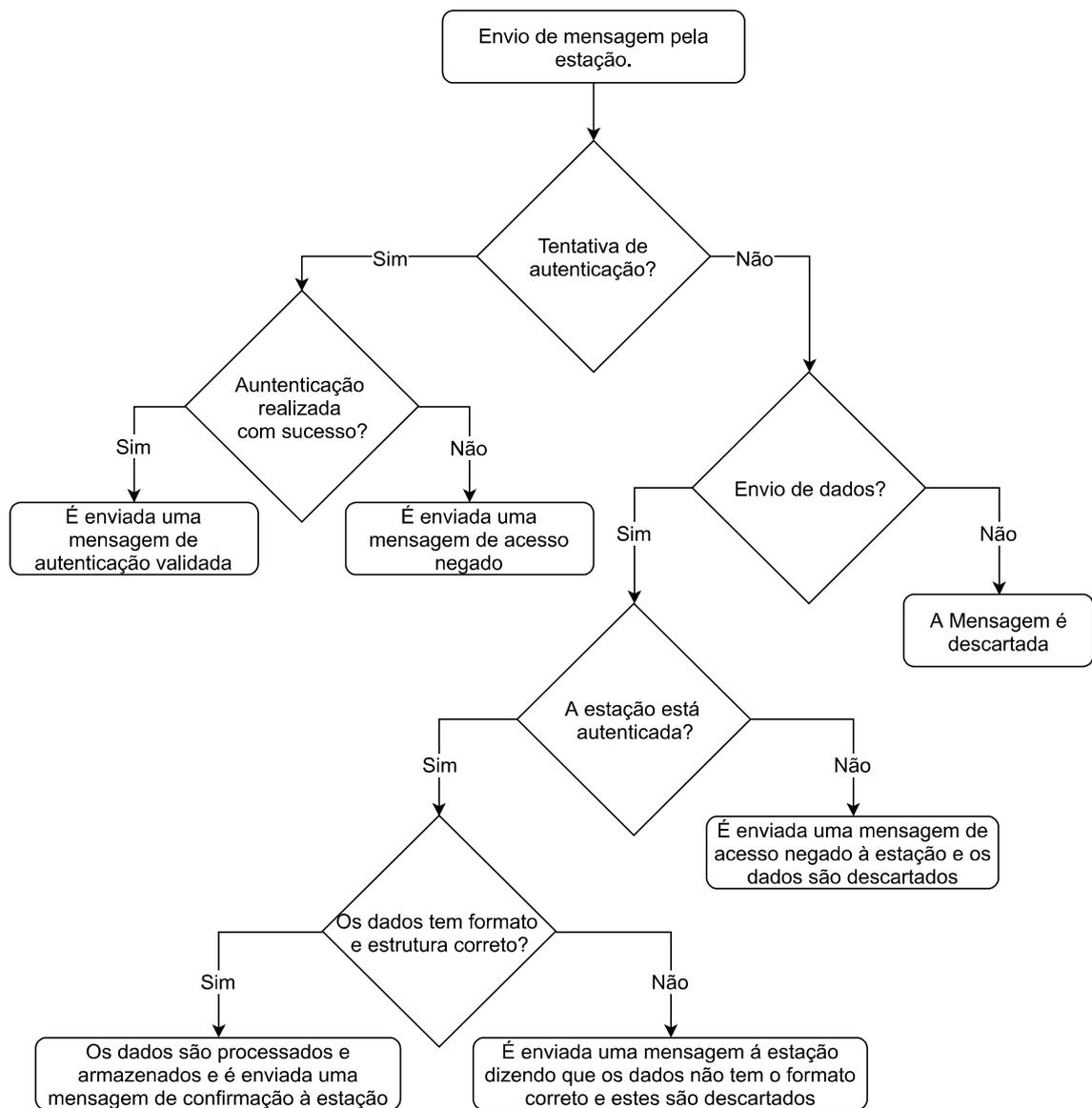


Figura 4.4 – Fluxograma de recepção de mensagens pela plataforma

notificada a estação remetente da mensagem dizendo que a informação enviada não obedece à estrutura esperada. Verificada a estrutura da mensagem passa-se ao processamento dos dados. É então utilizado o algoritmo a cima descrito para verificar se as coordenadas presentes nos dados se encontram contidas no limite definido pelo mesmo algoritmo, em caso afirmativo, são reajustadas as coordenadas e armazenados os dados na base de dados, sendo ainda enviada uma mensagem de sucesso à

estação remetente da informação. Caso contrário, isto é, as coordenadas não respeitem as limitações impostas pelo algoritmo, os dados são descartados. Depois de armazenados na base de dados, a informação pode então ser consultada através da plataforma *web*.

4.2 Acesso à Plataforma

O acesso à plataforma por parte de qualquer utilizador tem que ser possível em qualquer lugar, bastando para isso utilizar um *browser* disponível no seu computador, *smartphone* ou *tablet*. Assim, foi utilizada uma arquitetura SaaS na implementação da mesma. A arquitetura *Software as a Service* garante a disponibilidade de todas as funcionalidades da plataforma onde quer que se aceda a ela e de uma forma segura, isto é, garantindo a salvaguarda dos dados do utilizador.

A plataforma *web* disponibiliza um conjunto de serviços aos seus utilizadores. Estes serviços podem ser de carácter informativo, permitindo aos utilizadores perceber o estado da qualidade do ar e disposição geográfica dos poluentes ou ao nível da gestão das estações, permitindo aos gestores da plataforma adicionar e remover estações e sensores.

O acesso à plataforma de monitorização da qualidade do ar poderá ser feito através de qualquer *browser*, bastando para isso que os utilizadores estejam registados na mesma. A autenticação na plataforma é realizada recorrendo a credenciais de acesso: nome de utilizador e palavra passe. Existem duas categorias de utilizadores da plataforma, *user* e *admin*, sendo que elas tem permissões e privilégios diferentes na utilização da plataforma. O esquema da Figura 4.5 ilustra o acesso à plataforma tendo em conta os tipos de utilizadores existentes e os recursos a que cada um deles está autorizado a usufruir.

A plataforma disponibiliza várias páginas de interação com os utilizadores, sendo que cada uma delas tem funcionalidades e características diferentes:

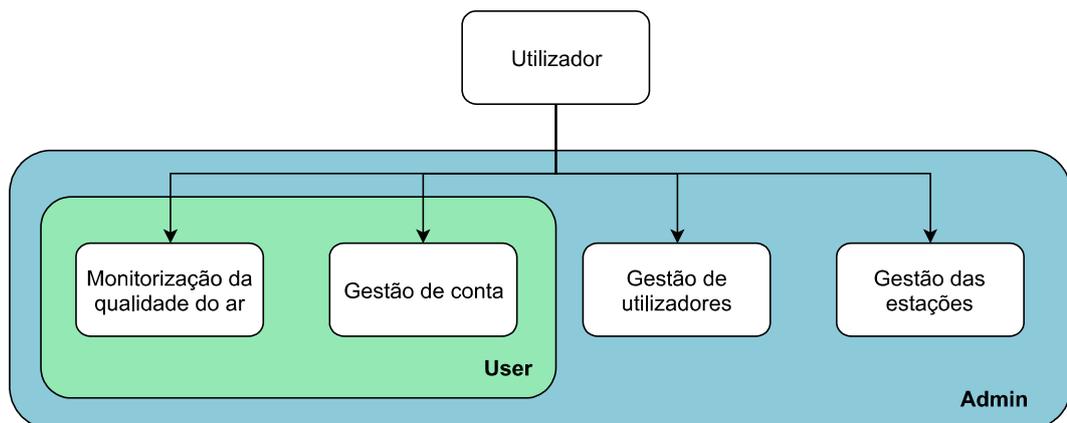


Figura 4.5 – Esquema de funcionalidades e acesso à plataforma

- Monitorização da qualidade do ar: Este recurso disponibiliza informação relativa à qualidade do ar e concentrações dos poluentes. Esta informação possui duas componentes: a primeira permite uma visão geral da qualidade do ar e das concentrações dos poluentes ao longo do tempo. A segunda possibilita uma visão geográfica das leituras, realizadas por cada estação. Isso possibilita aos utilizadores tomar medidas preventivas para uma menor exposição aos efeitos dos poluentes e perceber quais os locais mais poluídos;
- Gestão de conta: Este serviço permite aos utilizadores a gestão dos dados e credenciais de acesso;
- Gestão de utilizadores: Este recurso possibilita a gestão dos utilizadores registados na plataforma. Permite a visualização de dados dos utilizadores, remoção de utilizadores da plataforma e atribuição de permissões mais elevadas;
- Gestão das estações: Este serviço possibilita a visualização e configuração de todas as estações existentes. É possível observar quais os sensores em cada estação, adicionar e remover sensores. Os gestores podem ainda criar novas estações ou remover estações existentes. Esta gestão ocorre apenas ao nível do *software*, isto é, por exemplo a adição de um sensor em uma estação utilizando este serviço terá de ser complementada com a adição física do sensor (*hardware*) na respetiva estação;

Os *users* apenas estão autorizados a aceder aos serviços informativos de monitorização da qualidade do ar e serviço de gestão de conta. Em contrapartida, os *admins* estão autorizados a utilizar os recursos de gestão das estações e utilizadores, além de poderem também usufruir dos recursos de monitorização da qualidade do ar e gestão de conta.



Implementação

Neste capítulo serão descritas as tecnologias e procedimentos utilizados para implementar a plataforma. A plataforma foi planeada e desenvolvida tendo em consideração os requisitos funcionais e não funcionais abordados no estudo do estado da arte.

Esta proposta de resolução do problema, é assim, composta pela descrição de cada uma das componentes da plataforma e de que forma elas irão interagir. Podem ainda ser encontradas comparações e justificações de opções tomadas e tecnologias escolhidas na implementação do sistema.

5.1 Tecnologias Utilizadas

Nesta secção serão abordadas e explicadas algumas das tecnologias utilizadas, pretende-se dar uma breve explicação teórica destas para uma mais fácil compreensão quando forem referidas no decorrer deste capítulo .

5.1.1 Java Platform Enterprise Edition

A tecnologia escolhida para implementação do sistema foi Java Platform, Enterprise Edition (JEE). O uso desta tecnologia em detrimento de outras deve-se às suas características, que permitem o desenvolvimento de aplicações *web* de uma forma simples e robusta tendo em conta a estabilidade dos sistemas e a segurança (Janík, 2007). O facto da tecnologia já ter sido abordada numa unidade curricular também foi relevante, visto já haver algumas bases relativamente ao seu funcionamento e estrutura.

O JEE é uma plataforma para desenvolvimento de aplicações *web*, usando a linguagem de programação Java. Esta plataforma contém um conjunto de tecnologias integradas que reduzem significativamente o custo e a complexidade do desenvolvimento, implementação e gestão de aplicações *web*. A plataforma JEE foi construída a partir de *Java Platform, Standard Edition* (JSE), que contém todo o ambiente necessário para a execução de aplicações Java, incluindo *Java Virtual Machine* (JVM), compilador Java e um conjunto de APIs e ferramentas que oferecem diversas funcionalidades. Assim, o JEE oferece uma API e um ambiente de execução para desenvolvimento e execução de aplicações em larga escala de forma escalável, confiável e segura (Jacyntho et al., 2002).

O Java EE possui uma arquitetura por camadas, que pode ser observada na Figura 5.1.

A camada de clientes corresponde às diversas aplicações que os clientes utilizam para interagir com a aplicação Java EE, como por exemplo o navegador *web*. A camada do Java EE *Server* pode ser dividida em duas componentes: a camada *web* que fornece a lógica à camada cliente e é implementada através de *JavaServer Pages* (JSP) e *Servlets*. A segunda componente é a camada de negócio que é responsável por toda a lógica da aplicação, estando lá definidas todas as operações sobre os dados e funcionalidade do sistema. Por último, a camada de integração representa a conexão entre a camada de negócios e a base de dados. Esta ligação é realizada à custa do *Java Database Connectivity* (JDBC), que é uma API que permite conectar

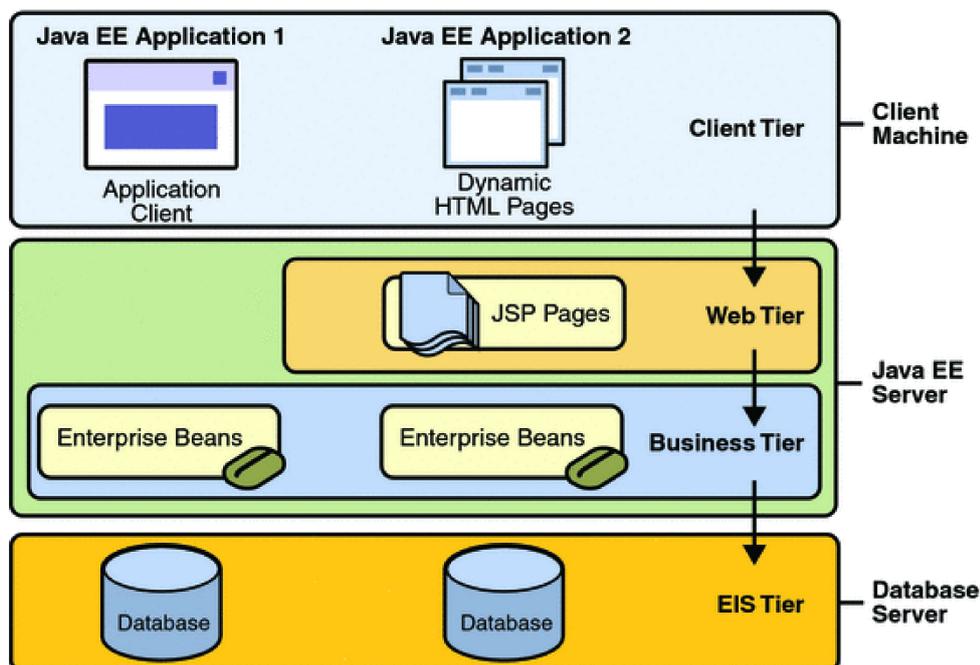


Figura 5.1 – Arquitetura do JEE. Retirado de [ORACLE](#)

a uma base de dados e realizar operações como envio de *query* SQL e processamento dos resultados dessas mesmas *queries* (Oberorter).

5.1.2 RESTful Web Services

O REST é uma arquitetura sem estado (*stateless*) que permite a fácil implementação de serviços *web* (Ngolo, 2009). Esta arquitetura utiliza HTTP/HTTPS como protocolos de camada de aplicação e permite o uso de formatos de dados mais simples como o *JavaScript Object Notation* (JSON). O seu funcionamento assenta nos seguintes princípios (Vieira, 2015):

- Identificação dos recursos via URI: Nesta arquitetura todas as funcionalidades e recursos disponibilizados por um serviço *web* são acedidos a partir de um Uniform Resource Identifier (URI). Cada um desses URI está associado a um recurso que irá ser retornado via HTTP;
- Manipulação dos recursos: Os recursos apenas são manipulados através das

primitivas oferecidas pelo HTTP: *GET*, *POST*, *DELETE*, *PUT*;

- Mensagens auto descritivas: Dado que as mensagens enviadas entre cliente e servidor são *stateless*, estas tem de conter toda a informação necessária para responder aos pedidos;

5.1.3 JWT

O JSON Web Token (JWT) é um padrão aberto definido na RFC 7519, que permite de um modo compacto e independente armazenar informações, que serão trocadas entre duas entidades. Este *token* possui um formato JSON e constitui uma alternativa de autenticação às *cookies* de sessão. Ao contrário das *cookies* de sessão, utilizando JWT o servidor não precisa de guardar as sessões dos clientes, o que apresenta vantagens ao nível da estabilidade, dado que, não é preciso gerir as sessões de cada cliente no servidor e ao nível de *performance*, visto que, validar o JWT é menos custoso relativamente à utilização dos recursos do sistema que consultar a base de dados ([Montanheiro et al., 2017](#)).

No esquema da Figura 5.2 está representado o processo de autenticação e acesso a recursos utilizado JWT entre cliente e servidor.

Quando o utilizador realiza a autenticação corretamente, é-lhe devolvido pelo servidor um *token* que é armazenado pelo cliente e será usado para aceder aos recursos da aplicação. Este *token* está encriptado e assinado pelo servidor que o emitiu. Quando o cliente quiser aceder a algum recurso da aplicação basta colocar esse *token* no cabeçalho do pedido HTTP ([Recording and Service, 2017](#)).

O *token* JWT é constituído por três partes: *header*, *payload* e *signature*, sendo que cada uma das partes está codificada em base64 e estão separadas por um ponto final (“.”). O cabeçalho contém informação relativa ao tipo de *token* que está a ser utilizado e ao algoritmo de encriptação que será usado pelo servidor para assinar o *token*. Na segunda parte, no *payload* estão armazenadas informações relativas ao utilizador e ao *token* gerado, como a data de validade e data na qual foi gerado.

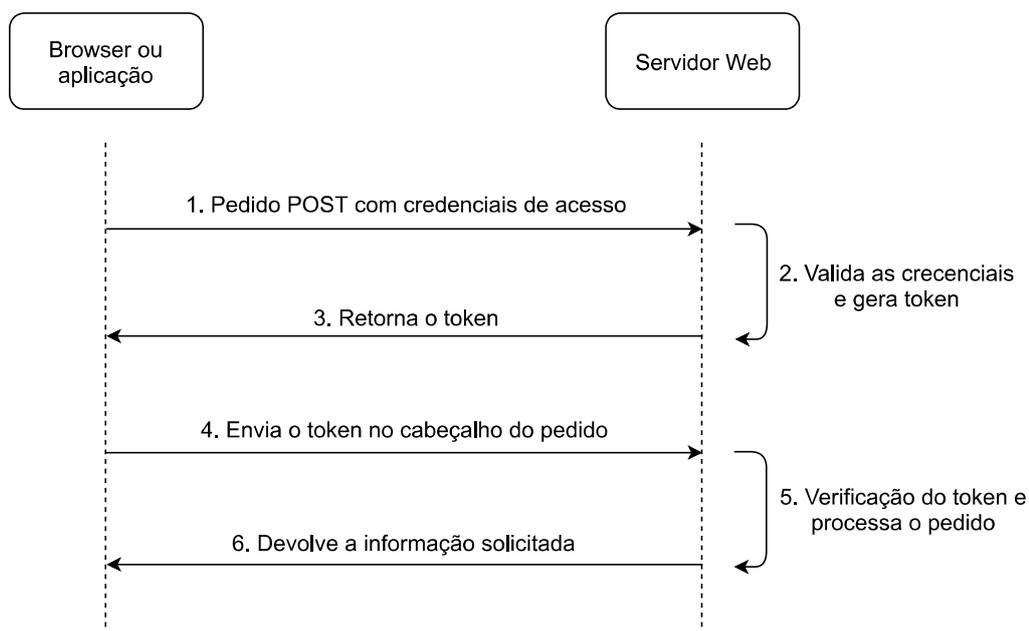


Figura 5.2 – Processo de autenticação usando JWT. Retirado de (Montanheiro et al., 2017)

A *signature* corresponde a uma *hash* gerada utilizando as duas primeiras partes e uma chave que só o servidor que gera o *token* conhece, utilizando o algoritmo de encriptação presente no *header* (Conceicao, 2015). Na Figura 5.3 é apresentado um exemplo de *token* JWT antes e depois de ser codificado em base64. Na parte superior da figura é apresentado o *header* e *payload* em formato JSON. Que depois de codificados em base64 e utilizados para formar a *signature*, dão origem ao *token* JWT, presente na parte inferior da figura.

```

{
  "typ": "JWT",
  "alg": "HS256"
} } header

{
  "sub": "estação_1",
  "iss": "API",
  "exp": 1567607659
} } payload
  
```

```

eyJ0eXAiOiJKV1QiLCJhbGciOiJIUzI1NiJ9.eyJzdWUiOiJlc3Rhw6fDo29fMSIsImV4cCI6MTU2NzYwNzY1OX0.LHscq_5uX0OTcUAAaismg3v9I17DwkCN4-pSlaZNms
  
```

Figura 5.3 – Exemplo token JWT antes e depois de codificado

5.1.4 HTTPS SSL/TLS

O facto do *token* estar assinado pelo servidor só garante que este não possa ser adulterado. A informação contida no *token* e os dados enviados no corpo da mensagem não se encontram encriptados, assim, é necessário usar uma ligação segura para a transmissão de dados.

O *HyperText Transfer Protocol* tem um papel vital para as comunicações e acesso à informação por toda a *Internet*. Por forma a tornar estas comunicações seguras foi desenvolvido o HTTPS.

O SSL/TLS é um protocolo que fornece autenticidade e confidencialidade sob conexões TCP. Este protocolo é usado para oferecer soluções de segurança a protocolos como IMAP, SMTP, XMPP e HTTPS (Naylor et al., 2014).

Numa conexão TLS, quando o cliente se conecta pela primeira vez ao servidor é realizado o *handshake*, no qual, o servidor apresenta um certificado digital ao cliente que é usado para identificar e autenticar o servidor perante o cliente (e vice-versa por vezes) e para gerar chaves criptográficas, por forma, a criar um canal seguro para a transmissão de dados. O certificado é um documento gerado e assinado digitalmente por uma entidade certificadora, e associa uma chave pública a um utilizador. A chave privada é mantida em segredo pelo titular do certificado. A chave pública é usada pelo cliente para estabelecer um canal de comunicação encriptado ponto a ponto (Clark and van Oorschot, 2013).

O uso de HTTPS oferece grandes vantagens ao nível de segurança, assegurando confidencialidade e autenticidade às comunicações. No entanto, possui algumas desvantagens como o aumento do tempo de latência, consumo de dados e de energia, que estão associados ao *handshake* adicional que terá de ser realizado entre cliente e servidor, ao maior custo computacional para operações de encriptação e ao maior cabeçalho dos pacotes HTTPS (Naylor et al., 2014).

5.1.5 PostgreSQL

O PostgreSQL é uma base de dados relacional que tem suporte para GIS (geographic information system) através do uso da extensão PostGis e permite descrever sob a forma de informação espacial localizações, ruas, rios, edifícios entre muitos outros. Esta informação espacial é representada sob a forma de pontos, linhas ou polígonos. Este tipo de bases de dados permite a partir de expressões SQL realizar operações complexas como calcular distâncias, interseções, áreas e proximidade entre objetos espaciais, permitindo manipulá-los de uma forma simples que não era possível sem este suporte para informação geográfica. A informação espacial pode ser guardada de acordo com vários sistemas de referencia espacial. Cada um destes sistemas de referência permite descrever uma localização geográfica relativamente a ponto de origem diferente (Manna, 2014).

Na Figura 5.4 estão presentes duas estradas representadas sob a forma de linhas numa base de dados PostgreSQL.

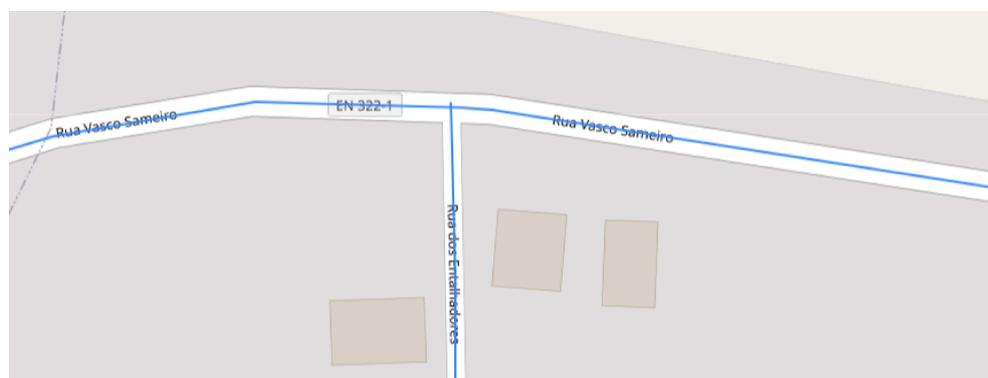


Figura 5.4 – Estradas representadas em PostgreSQL

Exemplos da fácil manipulação sobre os objetos geográficos acima referidos, são por exemplo, o cálculo do ponto de interseção ou do comprimento das estradas que neste tipo de base de dados ficam à distância de simples *queries*, como se pode observar nas Figuras 5.5 e 5.6, respetivamente.

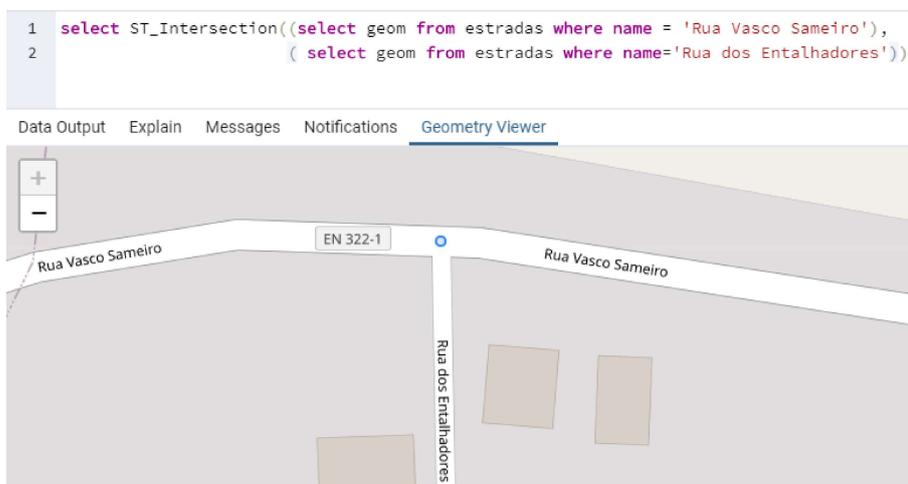


Figura 5.5 – Cálculo da intercessão entre duas ruas

Como é possível observar na figura a intercessão das duas estradas é dada por um ponto.

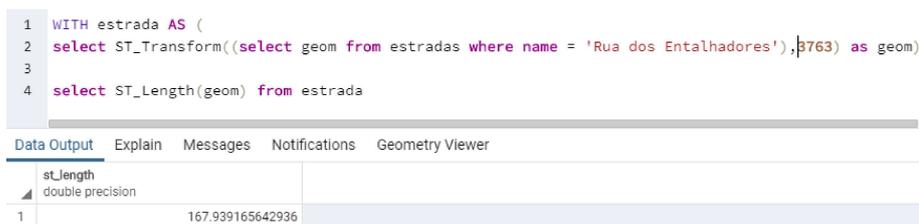


Figura 5.6 – Cálculo do comprimento da rua

Relativamente ao comprimento da rua, o resultado devolvido foi de 167.9 m.

5.1.6 Modelo de Arquitetura

A arquitetura do sistema assenta no modelo cliente-servidor, onde podem ser encontrados os seguintes componentes (Conceicao, 2015):

- Camada de apresentação: Esta camada é responsável pela *interface* humano-máquina. É a partir desta camada que os utilizadores conseguem interagir com a plataforma e ter acesso a todas as suas funcionalidades. O meio de acesso utilizado será via *browser*;

- Camada lógica ou de negócio: Esta camada faz a ligação entre o utilizador e os dados armazenados. É nesta camada que é realizado todo o processo lógico dos dados, isto é, de que forma os dados serão utilizados. Estão ainda definidas todas as regras de como os recursos serão mostrados, apagados, modificados, entre outras;
- Camada de dados: Nesta camada estão guardados todos os dados que dizem respeito à plataforma. Os dados não podem ser acedidos diretamente pelo utilizador, tendo sempre de passar pela camada lógica;

5.2 Plataforma

Como referido anteriormente a tecnologia escolhida para implementação da plataforma de monitorização da qualidade do ar foi o JEE. O sistema desenvolvido assenta no modelo cliente-servidor e faz uso de uma arquitetura REST. A plataforma encontra-se dividida em duas componentes fundamentais: a receção dos dados pelas estações móveis e a interação com os utilizadores.

5.2.1 Comunicação com as Estações Móveis

Periodicamente, as estações móveis realizam leituras a partir de sensores, essas leituras refletem a concentração dos poluentes atmosféricos num determinado tempo e local. O formato dos dados escolhido foi o JSON, este formato é amplamente utilizado no universo IoT e apresenta vantagens relativamente a outros formatos como o XML. O JSON, é então enviado para a plataforma através de pedidos HTTPS.

Nesta mensagem está presentes a seguinte informação:

- Identificador da estação;
- Timestamp da medição;
- Coordenadas geográficas da medição;

- Identificação do sensor e leitura;

O uso de pedidos HTTPS para envio dos dados pelas estações assegura a integridade das mensagens, no entanto é necessário que as estações se autenticuem devidamente perante a plataforma, por forma, a que nenhum dispositivo não autorizado consiga enviar dados. Esta autenticação é realizada recorrendo a credenciais de acesso: nome de utilizador e palavra passe. Tendo em conta a escalabilidade e eficiência no uso dos recursos do sistema foi utilizado o *token* JWT como ferramenta de autenticação. Desta forma, a plataforma não terá de ir verificar à base de dados a identidade da estação sempre que esta lhe envia dados, bastando-lhe verificar se o JWT é válido. Deixa também de haver a necessidade por parte da plataforma em guardar *cookies* de sessão para cada estação cliente.

Na Figura 5.7 é apresentado o esquema de funcionamento do envio de dados. Este esquema tem em conta o processo de autenticação das estações através de JWT e o posterior uso desse *token* para envio de dados.

Inicialmente, se a estação não possuir nenhum *token*, é enviado um pedido POST com as credenciais de acesso. Caso estas sejam válidas, é enviada pela plataforma uma mensagem de resposta com o “*status code: 200 Ok*” e um *token* JWT, que a estação irá armazenar. Para o envio de dados, é realizado um POST contendo no cabeçalho o *token* recebido e no corpo a informação no formato JSON. O *token* presente no cabeçalho é validado pela estação, que em caso afirmativo, irá processar os dados e enviar uma resposta de confirmação à estação com o “*status code: 201 Created*”. No caso da estação realizar um pedido de autenticação ou de envio de dados inválido, isto é, com credenciais ou *token* inválidos, ser-lhe-á enviada pela plataforma uma resposta com o “*status code: 401 Unauthorized*”. Por último, caso o formato ou estrutura dos dados não respeite o esperado pela plataforma, é enviada uma resposta à estação com o “*status code: 400 Bad Request*”.

A plataforma recorre a duas *servlet* para responder aos pedidos HTTPS das estações.

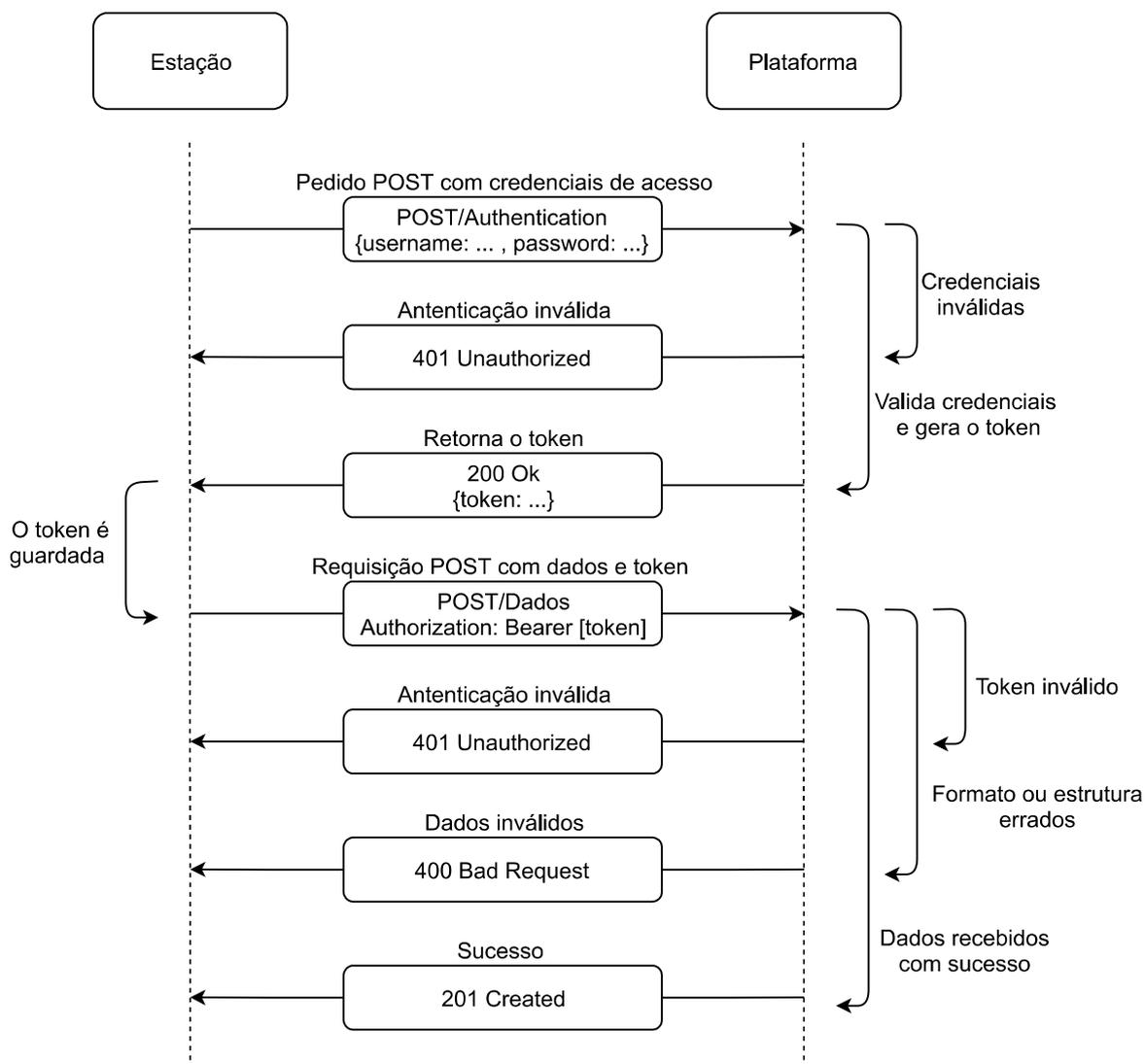


Figura 5.7 – Esquema envio de dados

Uma *servlet* responsável pelas autenticações e outra responsável por receber os dados. O recurso de autenticação é utilizado para responder aos pedidos de autenticação das estações, enquanto que o recurso de dados é usado para verificação dos *token* JWT presente no cabeçalho dos pedidos, verificação da estrutura do dados e processamento e armazenamento da informação.

Verificada a estrutura e formato dos dados, é então realizado um processamento sobre estes. Este processamento realizado sob a informação antes do seu armazenamento é feito pelo algoritmo descrito no capítulo de conceção e tem como objetivo

colmatar o erro associado às leituras das coordenadas geográficas realizadas pelas estações. As estações irão circular acopladas a veículos, desse modo, espera-se que a posição geográfica associada a cada leitura se encontre numa via de trânsito, o que devido a erros de leitura, por vezes não acontece. O uso deste algoritmo mostra-se vantajoso nas seguintes situações:

- Quando as coordenadas geográficas não se encontram contidas numa via de trânsito, elas são redefinidas por forma a ficarem contidas na via de trânsito mais próxima;
- Quando a estação fica imóvel por um determinado período de tempo e as coordenadas das diversas leituras aí realizadas não apresentam o mesmo valor. As coordenadas são reajustadas, por forma a apresentarem todas as mesmas coordenadas;

O algoritmo recorre a uma base de dados espacial, o PostgreSQL para reajuste das coordenadas. As vias de trânsito ditas “válidas” foram previamente selecionadas e armazenadas nesta base de dados. Sobre estas vias de trânsito foram projetadas circunferências. Na Figura 5.8 é observado um excerto de uma via onde foram projetadas as circunferências acima descritas.

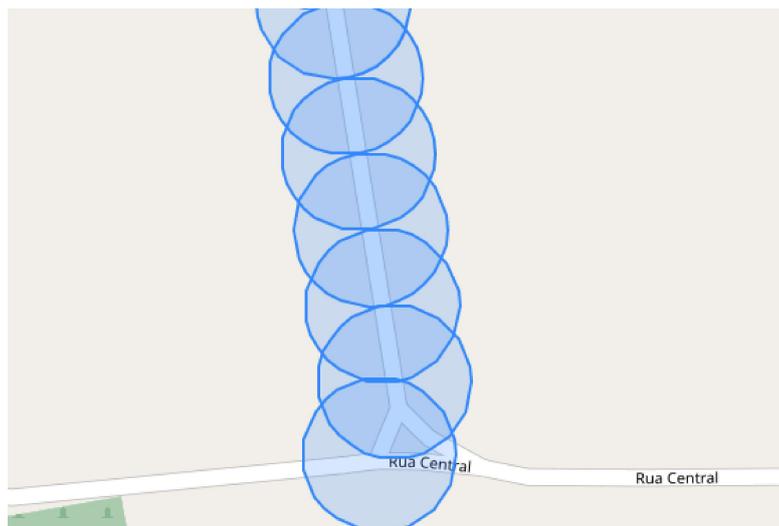


Figura 5.8 – Exemplo das circunferências projetadas sob uma via

O espaçamento e raio dos círculos é definido de forma a que se obtenham melhores resultados nas situações acima descritas. Relativamente ao seu funcionamento, com as coordenadas recebidas é realizada uma operação de intercessão com as circunferências definidas. Em caso de interseção, as coordenadas da leitura são redefinidas para o centro da circunferência que ela intersecta. Na Figura 5.9 está esquematizado este processo.

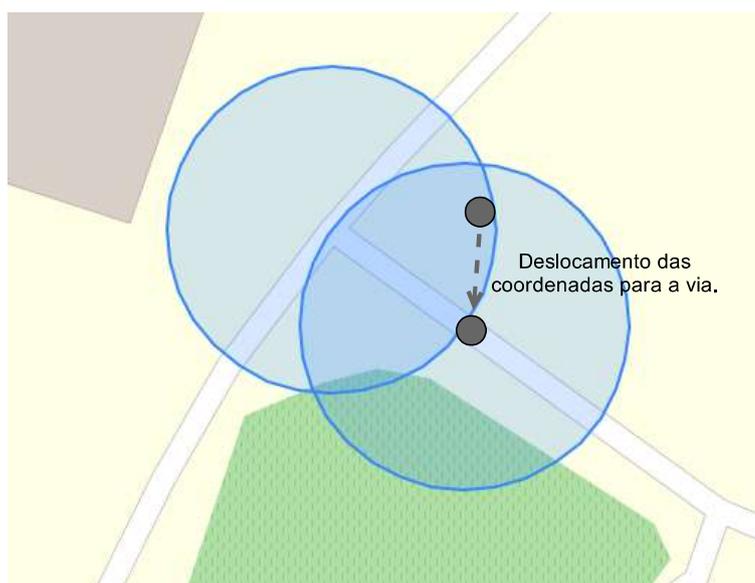


Figura 5.9 – Processo de funcionamento do algoritmo

Se a interseção se verificar para mais que uma circunferência, a circunferência que será usada no processo de redefinição é aquela que apresentar uma distância menor entre o seu centro e a coordenada da leitura. Por último, caso não se verifique nenhuma interseção, optou-se por descartar a leitura recebida em causa.

Depois de efetuado este ajuste de coordenadas é ainda realizada uma classificação dos dados relativos aos poluentes. Esta classificação é feita tendo em conta os intervalos de valores da Figura 3.1, apresentada no capítulo de Qualidade do Ar, e é composta por cinco categorias: **Muito Bom**, **Bom**, **Médio**, **Fraco** e **Mau**. A classificação é realizada individualmente para cada um dos poluentes presentes na leitura, sendo que o poluente que apresentar a pior classificação irá “ditar” o índice da qualidade do ar da leitura em questão.

Depois de processada, a informação enviada pelas estações é armazenada numa base de dados MySQL, por forma a que possa ser acedida posteriormente. Na Figura 5.10 é apresentado o esquema de tabelas desenvolvido para o armazenamento da informação.

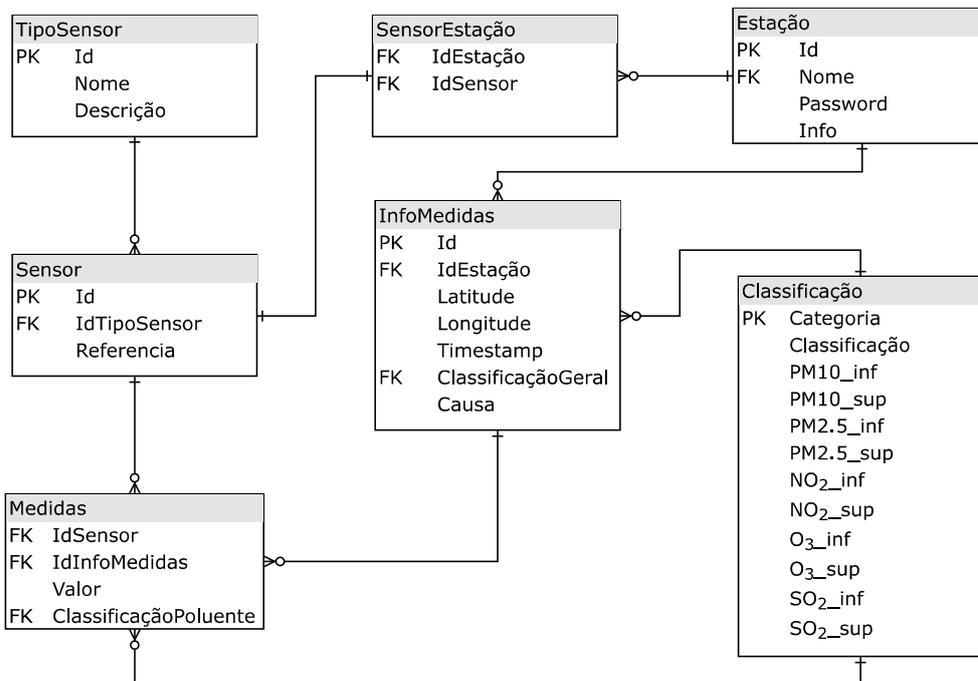


Figura 5.10 – Diagrama de entidades e relações desenvolvido para o armazenamento da informação

5.2.2 Interação com os Utilizadores

Revisto o processo de como a informação chega à plataforma é processada e armazenada, será agora apresentado o processo de interação entre os utilizadores e a plataforma.

O acesso à plataforma pelos utilizadores deve ser feito a partir de um *browser* e estes tem de estar registados na mesma. Como referido anteriormente, a plataforma suporta dois tipos de utilizadores os *user* e *admin*. Na tabela da Figura 5.11 estão esquematizadas as tabelas e relação entre elas, utilizadas para armazenar os dados relativos aos utilizadores.

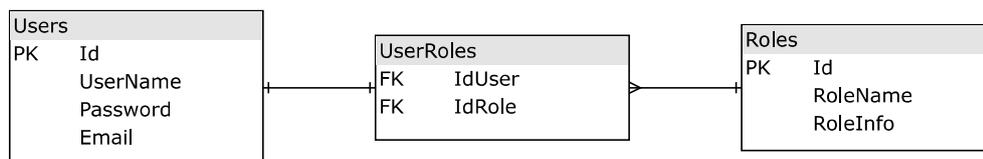


Figura 5.11 – Diagrama de entidades e relações desenvolvido para armazenar os dados relativos aos utilizadores

Na tabela *Users* estão armazenadas as informações dos utilizadores e as suas respectivas credenciais de acesso. Na tabela *Roles* estão definidos os níveis de permissões disponíveis, bem como uma breve descrição. Por último, na tabela *UserRoles* é estabelecida a relação entre utilizadores e o seu papel, para que desta forma seja possível gerir os recursos que cada um dos grupos terá disponível dentro da plataforma.

Tal como acontece para as estações, o processo de autenticação recorre a credenciais de acesso: nome de utilizador e palavra passe. Utiliza variáveis de sessão como ferramenta de autenticação, que permitem assim, aos utilizadores acederem aos diversos serviços da plataforma mantendo uma sessão válida durante um determinado período de tempo.

A plataforma foi desenvolvida segundo a arquitetura REST onde todos os recursos que esta oferece são acedidos a partir de URIs. Esta arquitetura permite utilizar o padrão *Model-View-Controller* (MVC). Este padrão é largamente usado em *web applications* e tem como principal objetivo separar as diferentes camadas lógicas da aplicação, ficando cada camada com um conjunto de tarefas bem definidas. Como o nome indica este padrão é dividido em três componentes: *model*, *view* e *controller* (Janík, 2007).

O *model* é responsável pela lógica e persistência dos dados da aplicação, isto é, de que forma os dados serão acedidos, modificados e processados. A *view* é responsável pela interação com os utilizadores (*browser*), apresentado-lhes o resultado do *model*. O *controller* funciona como um intermediário entre o *model* e a *view*. Interpreta e processa as interações dos utilizadores com a *view* e decide que ações devem ser tomadas pelo *model*. É também responsável por selecionar qual *view* é apresentada ao utilizador em função da resposta retornada pelo *model* (Oberorter).

Na Figura 5.12 é observado o esquema do padrão MVC implementado com a tecnologia JEE.

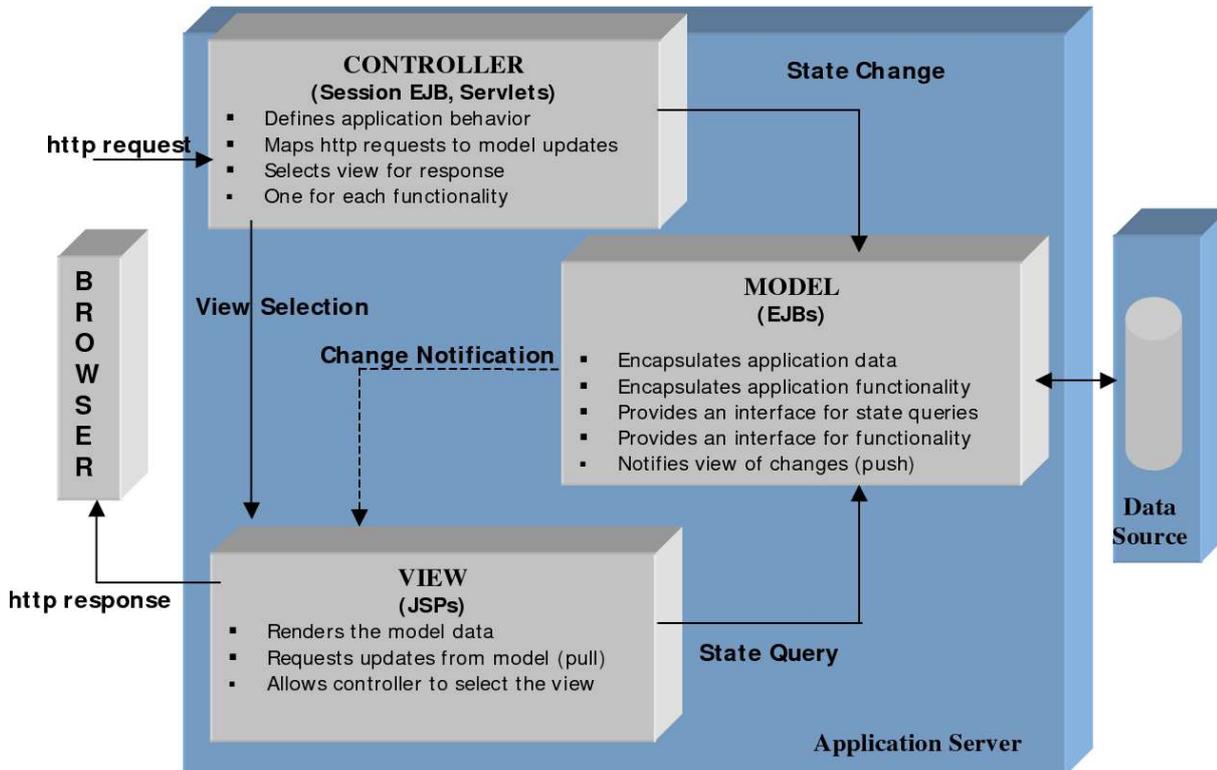


Figura 5.12 – Padrão MVC implementado com a tecnologia JEE. Retirado de Jacyntho et al. (2002)

As JSP enquadram-se na *view*, e são documentos de texto que permitem uma aproximação mais natural aos pedidos dos clientes e gerar respostas para esses mesmos pedidos.

As *servlet* fazem parte do *controller*, são classes Java e lidam com os pedidos HTTP provenientes dos clientes, quer sejam eles a solicitação de um URL ou interação do utilizador com a *view*. Nas *servlet* está definida de que forma deve ser respondido cada pedido HTTP, isto é, que métodos do *model* devem ser chamados. É ainda responsável por atualizar a *view* do cliente de acordo com a resposta do *model*.

Por último, o *model* é constituído por classes Java, que interagem com a base de dados e realizam o processamento dos dados.

O cenário seguinte tem como objetivo demonstrar o processo de comunicação na plataforma quando um utilizador interage com o *browser*:

1. Interação entre utilizador e *browser*;
2. É enviado um pedido HTTP à *servlet*;
3. Na *servlet* são identificadas que classes devem ser chamadas para suprir o pedido;
4. São chamadas e executadas as classes necessárias;
5. O conteúdo do *browser* é atualizado recorrendo a uma JSP;

Quando um utilizador interaje com a *view* é gerado um pedido HTTP que é recebido pela *servlet*, onde será decidido qual a ação que deve ser tomada

Nas *servlets* está definida de que forma deve ser respondido cada pedido HTTP, quer sejam eles a solicitação de um URL ou interação do utilizador com a *view*. São as *servlet* as responsáveis por gerir qual *view* deve ser prestada ao cliente quando ele solicita uma página.

Foram ainda utilizadas *Java Server Pages*, esta tecnologia permite gerar páginas de conteúdo dinâmico. Apesar de estas usarem linguagens como HTML, CSS e *JavaScript*, que geram conteúdo estático, permitem o uso de Java que oferece um caráter dinâmico à página. São as JSP as responsáveis pela interação com os utilizadores. Sempre que estes solicitam um recurso, é enviado um pedido HTTP ao servidor, que é processado, e a partir de uma JSP retorna uma página de conteúdo estático ao cliente (*browser*). As JSP não se preocupam com a lógica e processamento dos dados solicitados, mas em entregar o resultado desse processamento sob a forma de documentos HTML e XML que é interpretado pelo *browser*.



Testes e Resultados

Neste capítulo é feita uma apresentação dos testes realizados e dos resultados obtidos durante o desenvolvimento deste trabalho. É ainda realizada a comparação dos vários resultados, tendo em conta as condições em que os testes foram realizados e são apresentados problemas e possíveis soluções encontradas durante a realização do trabalho para os resolver.

6.1 Alterações ao Sistema Desenvolvido

Por questões de simplicidade e limitações temporais foram realizadas algumas alterações durante o desenvolvimento e implementação do sistema. A plataforma *web* foi testada localmente sem recurso a servidor remoto.

Como abordado no capítulo de Implementação, para estabelecer uma ligação HTTPS é utilizado o protocolo SSL, que necessita de certificados SSL. A aquisição deste certificados apresenta custos monetários, assim, por forma a poder ser usada a versão segura do protocolo HTTP, foram usados certificados autoassinados.

A implementação do *firmware* das estações foi simulada em JAVA, utilizando a

classe *HttpClient*. Relativamente aos dados dos poluentes estes foram gerados aleatoriamente, respeitando as grandezas de valores encontradas na realidade.

6.2 Algoritmo de Reajuste de Posição

De modo a testar o funcionamento do algoritmo de reajuste das coordenadas geográficas, descrito no capítulo de Implementação, foi realizado o teste abaixo apresentado.

Recorrendo a um *Smartphone* foram recolhidas várias posições geográficas ao longo de uma estrada, a uma velocidade de cerca de 50 km h^{-1} , por forma a simular uma estação em movimento. Como referido anteriormente para utilização do algoritmo as vias de transito têm de ser previamente selecionadas e armazenadas na base de dados espacial PostgreSQL. Na imagem superior da Figura 6.1 é apresentada a tracejado a estrada escolhida para o desenvolvimento do teste. Relativamente a imagem inferior da Figura é apresentado a projeção das circunferências realizada pelo algoritmo sobre a estrada selecionada.

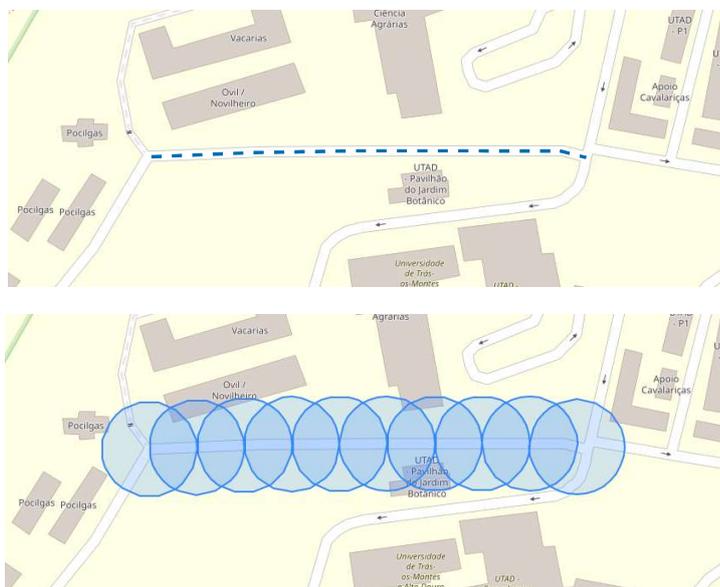


Figura 6.1 – Estrada selecionada para aplicação do algoritmo

Depois de recolhidas as posições geográficas, foram selecionadas algumas de forma a

obter valores ao longo da estrada, e de seguida processadas pelo algoritmo. A Figura 6.2 apresenta as posições geográficas antes e depois de processada pelo algoritmo, respetivamente.



Figura 6.2 – Posições geográficas antes e depois de aplicado o algoritmo

Como é possível observar na parte superior da Figura 6.2, algumas das posições geográficas recolhidas não se encontram sobre o percurso percorrido, por outro lado, na parte inferior da mesma Figura, é possível observar que depois de processadas pelo algoritmo, as posições geográficas se encontram na totalidade contidas no percurso percorrido. Podemos assim concluir, que o resultado da utilização do algoritmo nesta situação foi satisfatório, sendo que o objetivo do presente teste era o reajuste das posições geográficas para o percurso percorrido, o que foi cumprido.

6.3 Receção de Dados

Nesta secção podem ser observados testes relativos à autenticação por parte das estações e receção dos dados pela plataforma.

Para implementação das estações móveis recorreu-se à classe *HttpClient* do JAVA,

por forma a realizar os pedidos HTTP quer para autenticação, quer para envio de dados.

Como referido anteriormente, para efeitos de autenticação das estações perante o servidor foi utilizada a tecnologia JWT.

São apresentados de seguida dois testes, de modo a comprovar os dois cenários mais comuns, um possuindo credenciais de acesso válidas e outro possuindo credenciais inválidas.

No esquema da Estrutura 6.1 é possível observar um pedido HTTP utilizando o método POST para autenticação, proveniente de uma estação.

```
POST /api HTTP/1.1
Host: 192.168.1.74:8443
```

Estrutura 6.1: Pedido HTTP para autenticação.

Caso a estação se consiga autenticar perante o servidor *web*, isto é, as credenciais de acesso enviadas serem válidas, é enviada uma mensagem de resposta pelo servidor contendo no corpo o "status code: 200 Ok" e a *token* JWT. No esquema da Estrutura 6.2 é possível observar essa resposta.

```
200 Ok
{
  "token":
    "eyJ0eXAiOiJKV1QiLCJhbGciOiJIUzI1NiJ9.eyJzdWIiOiJlc3Rhw6fDo29fMSIsImV4cCI6MTU3MjI2MjEwLCJpYXQiOiIyMDIyLTA5LTA1VDE0OjA0OjA0IiwiaWF0IjoiYXZxLWV4cC88"
}
```

Estrutura 6.2: Resposta enviada pelo servidor *web*.

No caso de as credenciais de acesso serem inválidas ocorre uma falha de autenticação,

sendo a mensagem da Estrutura 6.3 retornada pelo servidor.

401 Unauthorized

Estrutura 6.3: Resposta enviada pelo servidor *web* em caso de autenticação falhada.

Depois de devidamente autenticadas, as estações podem agora realizar o envio de dados para a plataforma. Nas Estruturas 6.4 e 6.5 são apresentados, respectivamente, o *header* e corpo do pedido HTTP efetuado por uma estação.

```
POST /api HTTP/1.1
Host: 192.168.1.74:8443
Authorization: Bearer "eyJ0eXAiOiJKV1QiLCJhbGciOiJIUzI1NiJ9.eyJzdWIiOiJlc3Rhw6fDo29fMSIsImV4cCI6MTU3MjI2MjEwMX0.ELfClhPL7S8LshCphDD-WP4fUfKlrYxSFLDDgI9xKG8"
```

Estrutura 6.4: Header do pedido HTTP efetuado pela estação.

Na Estrutura 6.4 é possível observar adição do *token* JWT no parâmetro *Authorization* do *header*, que será usado para autenticação no servidor. Relativamente à Estrutura 6.5, é possível observar a estrutura JSON dos dados enviados. Esses dados contêm a identificação da estação “id_estação”, as coordenadas “lat” e “lng”, a data e hora “timestamp” e as leituras dos sensores acompanhadas da sua respectiva identificação “valor” e “id”.

```
[
  {
    "id_estacao": 1,
    "lat": 41.288792,
    "lng": -7.737165,
    "timestamp": {
      "date": {
        "year": 2019,
        "month": 10,
        "day": 7
      }
    }
  }
]
```

```
    },
    "time": {
      "hour": 12,
      "minute": 36,
      "second": 37,
      "nano": 981000000
    }
  },
  "sensor": [
    {
      "tipo": "PM10",
      "valor": 20,
      "id": 1
    },
    {
      "tipo": "PM2.5",
      "valor": 35,
      "id": 2
    },
    {
      "tipo": "NO2",
      "valor": 150.52,
      "id": 3
    },
    {
      "tipo": "O3",
      "valor": 92.2,
      "id": 4
    },
    {
      "tipo": "SO2",
      "valor": 50.64,
      "id": 5
    }
  ]
}
```

Estrutura 6.5: Estrutura dos dados enviados.

6.4 Acesso à Plataforma

A plataforma foi desenvolvida usando a *framework Bootstrap* permitindo o desenvolvimento de uma página responsiva para uma melhor interação com os seus utilizadores. Para aceder à plataforma os utilizadores recorrem a um *browser*, onde é apresentada a página de *front-end* da aplicação (Figura 6.3).



Figura 6.3 – Página de *login*

Se o utilizador não estiver registado na plataforma, poderá fazê-lo selecionando a opção **Criar Conta!**. Selecionando essa opção será redirecionado para a página de registo, na Figura 6.4.

Caso o utilizador já tenha registo efetuado, deverá apenas introduzir as suas credenciais e carregar no botão de **Login**. Será então redirecionado para a página de *Dashboard*, que dependendo do seu nível de permissões, apresentará mais ou menos funcionalidades. Para efeitos de apresentar e detalhar todas a funcionalidades da plataforma será utilizado, como exemplo, um utilizador com o nível de permissões de *Admin*.

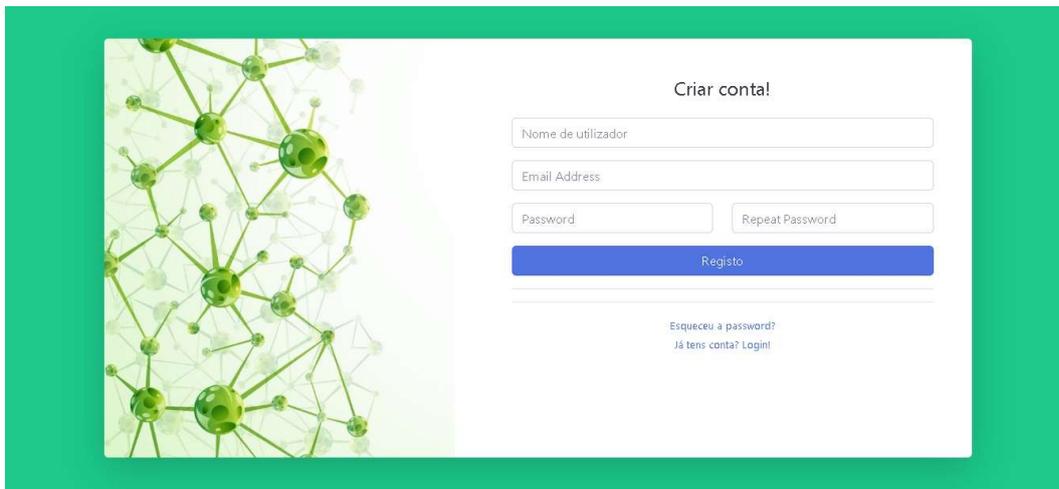


Figura 6.4 – Página de registo

Na Figura 6.5 é apresentado o *Dashboard*, que é responsável por oferecer uma visão global do estado da qualidade do ar.

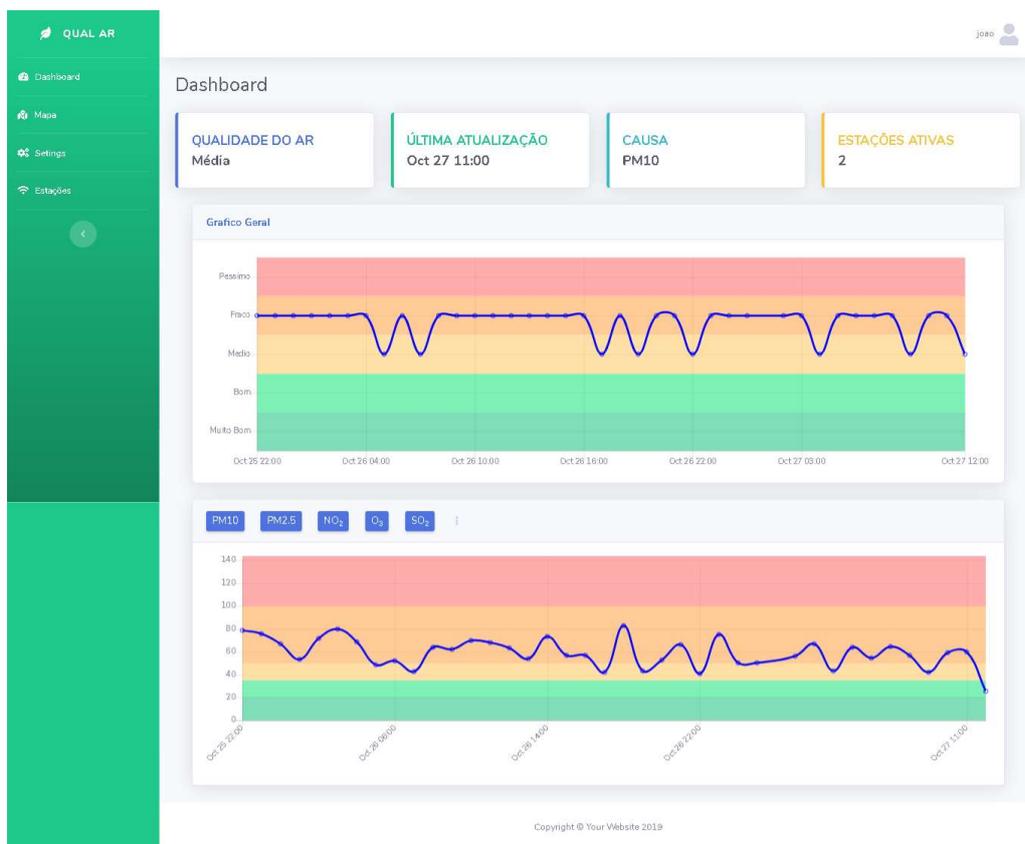


Figura 6.5 – Página de Dashboard

É possível observar o índice da qualidade do ar atual e concentrações dos principais poluentes. Desta forma é possível informar os utilizadores de uma forma mais direta para que possam ser tomadas medidas, se necessário. São ainda disponibilizados gráficos que permitem um acompanhamento da qualidade do ar e concentrações dos poluentes ao longo do tempo, de modo a que possa ser realizada a análise acerca das suas variações ao longo do dia e quais os poluentes que têm maior influência no índice de qualidade do ar.

É ainda disponibilizada uma página com um mapa apresentado informação de cada uma das leituras realizadas pelas estações num determinado intervalo de tempo, Figura 6.6.

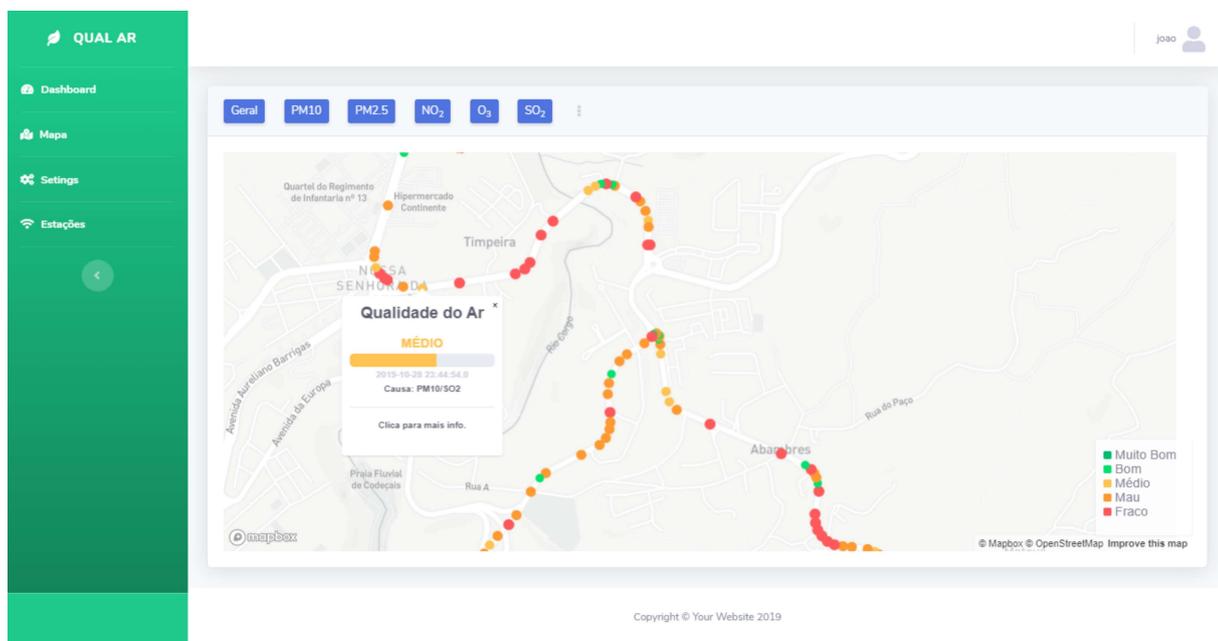


Figura 6.6 – Página com o mapa das leituras registadas

Cada um desses registos permite perceber através de um esquema de cores qual o estado da qualidade do ar nesse registo em específico, é ainda possível obter alguma informação adicional clicando em cada um desses registos. Esse mapa permite, ainda, analisar o impacto de cada poluente individualmente, permitindo perceber a sua influência em particular na qualidade do ar bem como as zonas em que as suas concentrações são mais elevadas.

Na página da Figura 6.7 os utilizadores podem fazer uma gestão do *email* e palavra passe, podendo alterá-los se assim o desejarem. Os campos de pesquisa de utilizadores e alteração de permissões apenas se encontram presentes para os utilizadores *Admin*, que é o tipo do utilizador que está a ser utilizado como exemplo.

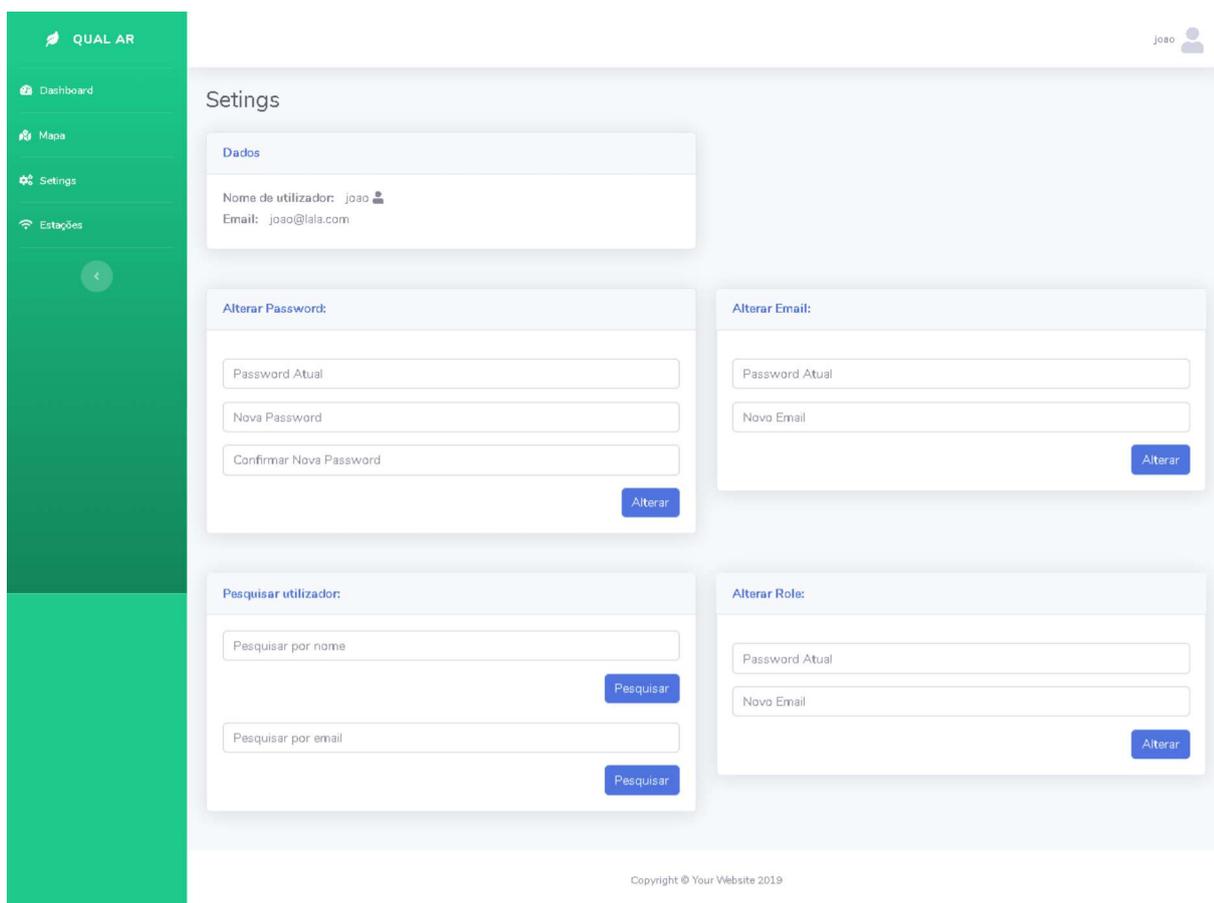


Figura 6.7 – Página de gestão de dados pessoais e utilizadores

Por último na Figura 6.8 é apresentada uma página para gestão e configuração das estações móveis. O acesso a esta página está apenas confinado a utilizadores com privilégios de *Admin*. Nesta página, é possível ter uma visão de todas as estações existentes, bem como dos sensores presentes em cada uma delas. É ainda possível criar novas estações bem como remover estações existentes.

The screenshot displays the 'Estações' (Stations) management interface. On the left is a green sidebar with the 'QUAL AR' logo and navigation options: Dashboard, Mapa, Settings, and Estações. The main content area is titled 'Estações' and includes a 'Generate Report' button in the top right. It is divided into three sections:

- Ver estações:** A dropdown menu labeled 'Estações' with the placeholder text 'Please Select a Station'.
- Adicionar estações:** A form with fields for 'Nome da Estação', 'Password', 'Repeat Password', and 'Informação opcional'. It includes an 'Adicionar Sensores' button and a second dropdown menu labeled 'Estações' with the placeholder 'Please Select a Station'. Below this is a 'Referencia' field and an 'Adicionar' button.
- Remover sensores:** A dropdown menu labeled 'Estações' with the placeholder 'Please Select a Station'.
- Adicionar sensores:** A dropdown menu labeled 'Estações' with the placeholder 'Please Select a Station', an 'Adicionar Sensores' button, a second dropdown menu labeled 'Estações' with the placeholder 'Please Select a Sensor', a 'Referencia' field, and an 'Adicionar' button.
- Remover estação:** A dropdown menu labeled 'Estações' with the placeholder 'Please Select a Station' and a 'Remove' button.

At the bottom center, there is a copyright notice: 'Copyright © Your Website 2019'.

Figura 6.8 – Página de gestão das estações móveis



Conclusões e Trabalho Futuro

No âmbito desta dissertação foi projetado e implementado um sistema de monitorização da qualidade do ar que permite a aquisição de dados a partir de estações meteorológicas e a análise desses mesmos dados.

Neste capítulo é feita uma revisão global do sistema desenvolvido, são apresentadas as conclusões retiradas e discutidos os resultados obtidos ao longo do seu desenvolvimento. São ainda propostas algumas perspectivas de trabalho futuro a desenvolver.

7.1 Conclusões

A respiração é uma das necessidades mais básicas de todos os seres humanos, sendo por isso vital preservar a qualidade do ar. O aparecimento dos grandes centros urbanos trouxe um grande desafio no que diz respeito a suprimir as necessidades de toda a população. Os grandes centros urbanos destacam-se como fontes poluidoras, pondo em risco a saúde dos seus habitantes. Os poluentes atmosféricos provêm de diversas áreas como a indústria, os transportes e o setor energético. A exposição da população à ação direta destes poluentes pode trazer grandes complicações, como doenças respiratórias, cardíacas, cancros e afetar o normal desenvolvimento das crianças.

Com o avanço tecnológico e estudos realizados na temática da qualidade do ar houve um aumento da preocupação e consciencialização para os riscos dos poluentes atmosféricos. Assim, existe uma grande necessidade de alertar e informar entidades governamentais e a população em geral acerca do estado da qualidade do ar, por forma a que possam ser tomadas medidas para reduzir os seus impactos na saúde.

Esta necessidade levou à criação de medidas legislativas, por forma a regulamentar as emissões dos poluentes. Levou ainda, ao desenvolvimento de sistemas capazes de monitorizar os principais componentes do ar. Grande parte destes sistemas envolvem a utilização de estações de monitorização em local fixo, que apesar de possuírem grande rigor nas leituras efetuadas, não permitem cobrir uma área de monitorização extensa.

Com base nestes aspetos, este projeto visou desenvolver um sistema de monitorização da qualidade do ar em tempo real, isto é, numa janela temporal que permitisse a tomada de medidas, de forma a reduzir os possíveis impactos dessa qualidade do ar. Para aquisição de dados propõe-se o uso de estações móveis, por forma a cobrir maiores áreas de monitorização. O desenvolvimento deste projeto permite a análise da qualidade do ar e do seu comportamento ao longo do tempo. A execução deste sistema permite aos cidadãos a partir do *browser* do seu *smartphone*, terem conhecimento do estado do ar, por forma a tomar medidas para redução dos seus impactos e evitar zonas mais poluídas.

Esta investigação serve de base ao desenvolvimento do sistema, sendo abordadas temáticas e expostas situações com grande relevância. Pretende-se ainda, dar a conhecer o papel que o IoT pode ter neste domínio.

Relativamente ao funcionamento correto da plataforma, podemos concluir que este estaria directamente dependente da qualidade e quantidade de dados recolhidos pelas estações, só com uma boa amostra de dados seria possível transmitir útil aos utilizadores da plataforma. No que diz respeito á transmissão dos dados utilizada, é possível concluir que esta possui uma eficiência razoável no que respeita à relação entre o *overhead* e dados, apresentando apenas resultados menos favoráveis em casos que são enviados quantidades baixas de dados.

Apesar de ser necessário melhorar a plataforma em vários aspetos, que serão enumerados no seguinte capítulo, ficou comprovado o conceito associado ao desenvolvimento de um sistema de monitorização da qualidade do ar. Mostrou-se ainda as conclusões que se podem tirar a partir da análise dos poluentes e as vantagens que esse conhecimento pode trazer para as pessoas. Foram ainda abordados conceitos relacionados com a robustez do sistema, como a transmissão de dados e questões de segurança que são essenciais neste tipo de sistemas.

7.2 Trabalho Futuro

No que diz respeito a desenvolvimentos de novas funcionalidades ou melhoramento das existentes, é de salientar alguns aspetos passíveis de serem melhorados, por forma a aumentar as funcionalidades e robustez da plataforma. São assim, de salientar os seguintes aspetos que podem ser alvo de melhoria numa investigação futura.

- Implementar a plataforma num servidor com um domínio fixo, de modo que esta possa ser acedida em qualquer local, bastando possuir conexão à *Internet*;
- Desenvolver as estações móveis de recolha de dados, por forma a que possam ser realizadas recolhas de dados reais. Assim, seria possível testar no terreno aspetos como a comunicação e autenticação, bem como ter uma real noção acerca do estado da qualidade do ar no local de implementação;
- Aumentar o número de ferramentas disponíveis na plataforma, de modo a fornecer aos utilizadores mais componentes de análise. Como a implementação de uma janela temporal, na qual os utilizadores poderiam escolher o intervalo de tempo para a visualização dos dados, não estando limitados apenas a um intervalo de tempo fixo;
- A elaboração de um sistema de alertas tendo em conta a localização dos utilizadores, de modo que estes fossem alertados sobre os locais mais poluídos;

- O desenvolvimento de uma aplicação para *smartphone*, por forma a tornar a interação com os utilizadores mais simples e a oferecer uma melhor experiência de utilização.

Referências bibliográficas

- APA. Avaliação da Qualidade do Ar. <https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=82&sub2ref=316&sub3ref=386>. [Online, consultado 25 de Setembro de 2019]. 28, 29
- Argerich, M. F. (2018). Learning Based Adaptation for Fog and Edge Computing Applications and Services. 12, 13
- Ashraf, Q. and Habaebi, M. (2014). Autonomic Schemes for Threat Mitigation in Internet of Things. *Journal of Network and Computer Applications*, 49:112–127. 23
- Atzori, L., Iera, A., and Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A Survey. *Computer Networks*, pages 2787–2805. 9
- Banaee, H., Ahmed, M. U., and Loutfi, A. (2013). Data Mining for Wearable Sensors in Health Monitoring Systems: A Review of Recent Trends and Challenges. In *Sensors*. 19, 20
- Bodum, L. and Moreno, D. (2019). Universities as Smart City Drivers in Small and Medium-sized Cities. *Indicator*, 11:2. 31

- Bonomi, F. and Milito, R. (2012). Fog Computing and its Role in the Internet of Things. *Proceedings of the MCC workshop on Mobile Cloud Computing*. 13
- Carvalho, J. H. Índice QualAr. <https://qualar.apambiente.pt/node/indice-qualar>. [Online, consultado 25 de Setembro de 2019]. 31
- Carvalho, V. (2008). Estação Móvel para Medida da Qualidade do Ar. 4, 35, 36, 37
- Chen, M., Mao, S., Zhang, Y., Leung, V. C., et al. (2014). Big Data: Related Technologies, Challenges and Future Prospects. 21
- Cheng, W.-L., Chen, Y.-S., Zhang, J., Lyons, T., Pai, J.-L., and Chang, S.-H. (2007). Comparison of the Revised Air Quality Index with the PSI and AQI Indices. *Science of The Total Environment*, 382(2):191 – 198. 28
- Clark, J. and van Oorschot, P. C. (2013). SoK: SSL and HTTPS: Revisiting Past Challenges and Evaluating Certificate Trust Model Enhancements. In *2013 IEEE Symposium on Security and Privacy*, pages 511–525. 58
- Conceicao, H. M. R. S. d. (2015). Plataforma de Gestão de Importação. Master’s thesis. 57, 60
- Cooper, K. (2015). Security for the Internet of Things. 21, 22, 23
- da Rocha, S. M. M. (2014). Previsão de Indicadores de Qualidade de Ar Exterior em Ambiente Urbano. 26, 28, 29
- Elkhodr, M., Shahrestani, S. A., and Cheung, H. (2016). The Internet of Things: New Interoperability, Management and Security Challenges. *CoRR*, abs/1604.04824. 17
- European Commission (2018). Measuring Air Pollution with Low-cost Sensors. *Measuring Air Pollution With Low-Cost Sensors*, 2(13):20. 32, 33, 34
- European Environment Agency (2013). *Air Quality in Europe — 2013 Report*. Number 9. 29

- European Environmental Agency (2018). *EEA Report No 12/2018*, volume 12. 26, 27, 30
- Gantz, J. and Reinsel, D. (2011). Extracting Value from Chaos. *IDC iview*, 1142(2011):1–12. 19, 20
- Grolinger, K., Higashino, W., Tiwari, A., and Capretz, M. (2013). Data Management in Cloud Environments: NoSQL and NewSQL Data Stores. *Journal of Cloud Computing: Advances, Systems and Application*, 2. 20
- Guinard, D. and Trifa, V. (2009). Towards the Web of Things: Web Mashups for Embedded Devices. In *Workshop on Mashups, Enterprise Mashups and Lightweight Composition on the Web (MEM 2009)*, in proceedings of WWW (International World Wide Web Conferences), Madrid, Spain, volume 15. 16
- Han, D. et al. (2010). Air Quality Monitoring, Fushun-Kokkola. 25
- Hunkeler, U., Truong, H. L., and Stanford-Clark, A. (2008). MQTT-S—A Publish/Subscribe Protocol for Wireless Sensor Networks. In *2008 3rd International Conference on Communication Systems Software and Middleware and Workshops (COMSWARE'08)*, pages 791–798. IEEE. 17
- IBM (2018). Connecting All the Things in the Internet of Things. <https://developer.ibm.com/articles/iot-lp101-connectivity-network-protocols/>. [Online, consultado 12 de Setembro de 2019]. 14, 16
- Jacyntho, M. D., Schwabe, D., and Rossi, G. (2002). A Software Architecture for Structuring Complex Web Applications. *J. Web Eng.*, 1:37–60. 54, 68
- Janík, M. (2007). *Online Shop Web Tier in Java EE*. PhD thesis, Masarykova univerzita, Fakulta informatiky. 54, 67
- John, A. and Joseph, P. (2016). Wireless Air Quality and Emission Monitoring. 41, 42

- Kang, Y.-S., Park, I.-H., Rhee, J., and Lee, Y.-H. (2015). MongoDB-based Repository Design for IoT-Generated RFID/Sensor Big Data. *IEEE Sensors Journal*, 16:1–1. [20](#)
- Kaukonen, M. (2018). Profitability Analysis of Internet of Things Investments. [11](#), [13](#)
- Kovatsch, M. (2015). Scalable Web Technology for the Internet of Things. [21](#)
- Kumar, M. P., Santhoshkumar, S., Gowdhaman, T., and Shajahaan, S. S. (2017). A Survey on IoT Performances in Big Data. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing (IJCSMC)*, 6(10):26–34. [19](#)
- Kyrkilis, G., Chaloulakou, A., and Kassomenos, P. A. (2007). Development of an Aggregate Air Quality Index for an Urban Mediterranean Agglomeration: Relation to Potential Health Effects. *Environment International*, 33(5):670–676. [25](#), [30](#), [31](#)
- Lewis, A., Lee, J., Edwards, P., Shaw, M., Evans, M., Moller, S., Smith, K., Ellis, M., Gillott, S., White, A., and Buckley, J. (2015). Evaluating the Performance of Low Cost Chemical Sensors for Air Pollution Research. *Faraday Discuss.*, 189. [32](#), [34](#), [35](#)
- Manna, S. (2014). *Environmental Pollution Monitoring Using GIS and Internet of Things*. PhD thesis, Master Thesis, Faculty of Engineering and Technology, Jadavpur University. [59](#)
- Mezghani, E. (2016). *Towards Autonomic and Cognitive IoT Systems, Application to Patients' Treatments Management*. PhD thesis. [19](#), [20](#), [21](#)
- Miettinen, M. (2019). *Context and Communication Profiling for IoT Security and Privacy: Techniques and Applications*. PhD thesis, Technische Universität, Darmstadt. [22](#)
- Montanheiro, L., Carvalho, A., and Rodrigues, J. (2017). Utilização de JSON Web Token na Autenticação de Usuários em APIs REST. [56](#), [57](#)

- Murena, F. (2004). Measuring Air Quality Over Large Urban Areas: Development and Application of an Air Pollution Index at the Urban Area of Naples. *Atmospheric Environment*, 38(36):6195 – 6202. 25, 30
- Naylor, D., Finamore, A., Leontiadis, I., Grunenberger, Y., Mellia, M., Munafò, M., Papagiannaki, K., and Steenkiste, P. (2014). The Cost of the "S" in HTTPS. In *Proceedings of the 10th ACM International on Conference on Emerging Networking Experiments and Technologies*, CoNEXT '14, pages 133–140, New York, NY, USA. ACM. 58
- Ngo, M. K. et al. (2015). Sensor Communication in Smart Cities and Regions: An efficient IoT-based Remote Health Monitoring System. 7, 8
- Ngolo, M. A. F. (2009). *Arquitetura Orientada a Serviços REST para Laboratórios Remotos*. PhD thesis, FCT-UNL. 55
- Oberortner, E. "Generating Web Applications with Abstract Pageflow Models"; Betreuer/in (nen): S. Dustdar, M. Vasko; Institut für Informationssysteme, AB Verteilte Systeme, 2007; Abschlussprüfung: 2007. Erstellt aus der Publikationsdatenbank der Technischen Universität Wien. 55, 67
- ORACLE. Chapter 1 Overview. <https://docs.oracle.com/cd/E19575\penalty\M\hskip\z@skip\discretionary{-}{-}{-}\penalty\M\hskip\z@skip01/819\penalty\M\hskip\z@skip\discretionary{-}{-}{-}\penalty\M\hskip\z@skip3669/6n5sg7arb/index.html>. [Online, consultado 3 de Outubro de 2019]. 55
- Ravali, P. (2013). A Comparative Evaluation of OSI and TCP/IP Models. *International Journal of Science and Research*, 4(7):514–521. 15, 16
- Recording, S. and Service, W. (2017). Speech Recording Web Service and Application. 56
- Redmond, S., Lovell, N., Yang, G., Horsch, A., Lukowicz, P., Murrugarra, L., and

- Marschollek, M. (2014). What Does Big Data Mean for Wearable Sensor Systems? Contribution of the IMIA Wearable Sensors in Healthcare WG. *Yearbook of medical informatics*, 9:135–42. [19](#), [20](#)
- Reis, L. et al. (2015). *Cloud Computing: um Estudo de Viabilidade*. PhD thesis, Instituto Politécnico de Setúbal. Escola Superior de Ciências Empresariais. [12](#)
- Rodrigues and Biu, A. F. S. (2013). Avaliação da Qualidade do Ar a Longo Prazo da Cidade de Lisboa. [26](#), [28](#), [29](#)
- Roman, R., Najera, P., and Lopez, J. (2011). Securing the Internet of Things. *Computer*, 44(09):51–58. [23](#)
- Saint-Andre, P. (2011). Extensible Messaging and Presence Protocol (XMPP): Core. [17](#)
- Santos, P. M. P. (2016). *Internet das Coisas: o Desafio da Privacidade*. PhD thesis, Instituto Politécnico de Setúbal. Escola Superior de Ciências Empresariais. [22](#)
- Santos, R. C. M. d. (2003). Avaliação da qualidade do ar na Área Metropolitana do Porto, 1999-2001. [29](#)
- Sevusu, P. (2015). *Real-time Air Quality Measurements Using Mobile Platforms*. PhD thesis, Rutgers University-Graduate School-New Brunswick. [4](#), [5](#), [32](#), [38](#), [39](#), [40](#)
- Shah, S. S. A. (2018). Semantic Interoperability in Internet of Things. [14](#), [15](#), [18](#)
- Shelby, Z. and Bormann, C. (2011). *6LoWPAN: The Wireless Embedded Internet*, volume 43. John Wiley & Sons. [8](#)
- Shelby, Z., Hartke, K., Bormann, C., and Frank, B. (2014). RFC 7252: The Constrained Application Protocol (CoAP). *Internet Engineering Task Force*. [17](#)
- Sicari, S., Cappiello, C., Miorandi, D., De Pellegrini, F., and Coen-Porisini, A. (2014). A Security-and Quality-aware System Architecture for Internet of Things. *Information Systems Frontiers (Springer)*. [22](#), [23](#)

- Stolikj, M. (2015). Building Blocks for the Internet of Things. 9, 11, 14, 15, 16, 17
- The University of Manchester. Optical Particle Counters. <http://www.cas.manchester.ac.uk/restools/instruments/aerosol/opc>. [Online, consultado 2 de Setembro de 2019]. 34
- transportenvironment. Road Vehicles and Air Quality. <https://www.transportenvironment.org/what-we-do/air-quality/road-vehicles-and-air-quality>. [Online, consultado 22 de Setembro de 2019]. 30
- Tuen, C. D. (2015). Security in Internet of Things Systems. Master's thesis, NTNU. 22
- Twesigye, A. (2018). Improving Public Health in Smart Cities in the Air Pollution Context. 26
- Vermesan, O., Friess, P., et al. (2014). *Internet of Things-from Research and Innovation to Market Deployment*, volume 29. River publishers Aalborg. 17, 19
- Vieira, N. M. L. G. (2015). SplineAPI, uma API REST para Servicos de Processamento de Linguagem Natural. 55
- Vogler, M. (2016). Efficient IoT Application Delivery and Management in Smart City Environments [Dissertation]. *Wien, Austria: Technische Universitat Wien*. 7, 8, 9
- Weber, K., Vogel, A., Fischer, C., Haren, G., and Pohl, T. (2010). Airborne Measurements of the Eyjafjallajokull Volcanic Ash Plume over North-Western Germany with a Light Aircraft and an Optical Particle Counter - First Results. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 7827. 34
- Williams, D. E., Coles, G. S., Kleitz, M., Lockhart, J. C., Krull, U. J., Nikolelis, D. P., Brennan, J. D., Brown, R. S., Thompson, M., Ghaemmaghami, V., Kallury, K. M., Janata, J., Langmaier, J., Bartlett, P. N., Green, M. J., Hilditch, P. I., and Turner, A. P. (1991). New Electrochemical Sensors. *Analytical Proceedings*, 28(11):366–377. 33

- Winter, T., Thubert, P., Brandt, A., Hui, J., Kelsey, R., Levis, P., Pister, K., Struik, R., Vasseur, J., and RPL, A. R. (2012). IPv6 Routing Protocol for Low-power and Lossy Networks. *RFC6550 of IETF*. [15](#)
- Zhang, Y., Bocquet, M., Mallet, V., Seigneur, C., and Baklanov, A. (2012). Real-Time Air Quality Forecasting, Part I: History, Techniques, and Current Status. *Atmospheric Environment*, 60:632 – 655. [26](#)