FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



Gestão de operações logísticas em meio urbano

Maria Inês Malafaia Baptista Sabino Marques

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientadora: Tânia Daniela Lopes da Rocha Fontes

Co-orientador: Joel Tiago Soares Ribeiro

15 de outubro de 2021

© Maria Marques, 2021

Resumo

Estima-se que, em 2050 aproximadamente dois terços da população mundial viverá em zonas urbanas. Por outro lado, nas zonas urbanas mais poluídas, cerca de 80% a 90% das emissões de poluentes são provenientes do tráfego rodoviário, especialmente dos veículos pesados e, espera-se que nos próximos anos se registe um incremento das operações logísticas em meio urbano, muitas vezes associadas à actividade de *e-commerce*. Por estas razões, urge definir medidas de controlo eficazes para controlo da mobilidade urbana, designadamente de controlo do acesso a zonas com restrições de circulação.

O principal objetivo deste projecto consistiu no desenvolvimento de interfaces de um sistema de informação flexível e dinâmico que permita às autoridades de regulação da mobilidade urbana, designadamente os municípios, de implementar restrições de acesso aos centros urbanos considerando múltiplos factores. O sistema proposto permite flexibilizar a definição de medidas de restrição para a circulação de veículos, e atuar como sistema de apoio à decisão para definição dessas medidas. O presente trabalho centrou-se essencialmente na gestão das restrições dos veículos pesados de mercadorias em meios urbanos.

De forma a alcançar os objetivos propostos, foi definida uma metodologia simples e flexível que permitisse alcançar os objetivos delineados. Em primeiro lugar foram identificadas as necessidades dos *stakeholders* e, identificados, definidos e especificados os requisitos do sistema. Estas tarefas foram realizadas com base numa revisão da literatura, reuniões com especialistas na área dos transportes, e recolha de feedback de gestores de frota de uma empresa de transportes pesados de mercadorias. Nesta etapa, foram identificados dezasseis requisitos que foram organizados em cinco grupos de funcionalidades de execução, que atuam em simultâneo, designadamente: (i) Obtenção de dados, pré-processamento e armazenamento de dados, (ii) Gestão de restrições, (iii) Gestão de pedidos, (iv) Monitorização e Avaliação, e (v) Visualização.

Numa segunda etapa, foi definida a arquitectura do sistema e desenvolvidas as interfaces do mesmo usando a ferramenta Figma. O sistema foi definido considerando cinco componentes distintas: (a) Fontes de dados, (b) Área de retenção, (c) Armazenamento, (d) Processadores, e (e) Ferramentas de *Front-end*. No desenho do sistema foram considerados quatro grupos de *stakeholders*: público geral (cidadão comum), autoridades de regulação (municípios), operadores logísticos (gestores de frota e condutores) e autoridades de fiscalização de tráfego (polícia). Tendo em conta os requisitos identificados, foram desenhadas duas aplicações: uma aplicação *web* e uma aplicação móvel com interfaces dirigidas para cada tipo de *stakeholders*. Para ambas as aplicações, foram definidos um conjunto de conceitos do sistema e ícones.

A análise dos impactos da adopção de um sistema como este indica que apesar de se poderem potenciar a melhoria dos fluxos de informação e incentivar o uso de lojas tradicionais, há também alguns potenciais impactos negativos que devem ser tidos em conta. O aumento dos custos dos operadores logísticos que irão refletir diretamente nos custos do consumidor final, bem como aumentos dos atrasos das entregas ao consumidor final.

Abstract

It is estimated that by 2050, approximately two-thirds of the world's population will live in urban areas. On the other hand, in the most polluted urban areas,about 80 % to 90 % of pollutants emissions are road traffic generated, especially heavy vehicles, and it is expected that in the next years there will be an increase in logistical operations in urban areas, often associated with e-commerce activity. For these reasons, it is urgent to define effective control measures for the control of urban mobility, namely the control of access to circulation restriction zones.

The main objective of this project is to develop interfaces for a flexible and dynamic information system that allows urban mobility regulation authorities, to implement restrictions on access to urban centers considering multiple factors. The proposed system provides flexibility in the definition of restriction measures for the circulation of vehicles, and to act as a decision support system for the definition of these measures. The work was essentially focused on managing the restrictions of mass heavy vehicles in urban areas.

In order to achieve the proposed objectives, a simple and flexible methodology was defined, which would allow reaching the outlined objectives. First, the needs of the stakeholders were identified, and the system requirements were identified, defined and specified. These tasks were carried out based on a literature review, meetings with experts in the field of transport, and gathering feedback from fleet managers of a heavy goods transport company. In this step, sixteen requirements were identified, which were organized into five groups of execution functionalities, which act simultaneously, namely: (i) Data acquisition, pre-processing and data storage, (ii) Constraint management, (iii) Management of requests, (iv) Monitoring and Evaluation, and (v) Visualization.

In a second stage, the system architecture was defined and the interfaces developed using the Figma tool. The system was defined considering five distinct components: (a) Data sources, (b) Staging area, (c) Storage, (d) Processors, and (e) Front-end tools. In the design of the system, four stakeholder groups were considered: general public (ordinary citizen), regulatory authorities (municipalities), logistic operators (fleet managers and drivers), and traffic inspection authorities (police). Taking into account the identified requirements, two applications were designed: a *web* application and a mobile application, with interfaces directed to each type of stakeholder. For both applications, a set of system concepts and icons were defined.

The analysis of the impacts of adopting a system like this indicates that although it can enhance the improvement of information flows, traffic management and the population's quality of life, and encourage the use of traditional stores, there are also some potential negative impacts. that should be taken into account. The increase in the costs of the logistic operators will reflect directly on the final consumer's costs, as well as the increase in the delays of the deliveries to the final consumer.

"Shoot for the moon. Even if you miss, you'll land among the stars"

Les Brown

Agradecimentos

Agradeço aos meus orientadores Professora Tânia Fontes e Professor Joel Ribeiro por toda a ajuda, apoio, conselhos e disponibilidade prestada ao longo destes meses e por toda a paciência e compreensão que tiveram comigo.

Este trabalho enquadra-se no âmbito do projecto de investigação opti-MOVES (Ref. PTDC/ECI-TRA/32053/2017 - POCI-01-0145-FEDER-032053). Este projeto foi financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) através do Programa Operacional para a Competitividade e Internacionalização (Programa COMPETE 2020), e por fundos nacionais através da agência de financiamento portuguesa, FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

Inês Malafaia

Conteúdo

1 Introdução **1**
- 1.1 Contextualização . . . 1
- 1.2 Motivação . . . 2
- 1.3 Objetivos . . . 3
- 1.4 Estrutura da dissertação . . . 4

2 Revisão da Literatura **5**
- 2.1 Planos de Mobilidade Logísticos . . . 5
- 2.2 Medidas de restrição de tráfego rodoviário . . . 7
- 2.3 Aplicações . . . 11

3 Metodologia **13**
- 3.1 Identificação de *stakeholders*, identificação e análise das necessidades . . . 13
- 3.2 Requisitos de um sistema . . . 13
- 3.3 Desenvolvimento das interfaces . . . 14

4 Identificação e definição de requisitos **17**
- 4.1 Principais objetivos e conceitos do sistema . . . 17
- 4.2 Identificação dos *Stakeholders* e suas necessidades . . . 18
- 4.3 Arquitetura e componentes do sistema . . . 19
- 4.4 Requisitos . . . 21

5 Interfaces do sistema **25**
- 5.1 Principais elementos e características do sistema . . . 25
- 5.2 Aplicação web . . . 26
- 5.3 Aplicação móvel . . . 35

6 Conclusões e trabalho futuro **39**
- 6.1 Conclusões . . . 39
- 6.2 Trabalho futuro . . . 41

A **47**
- A.1 Especificação de requisitos . . . 47

Lista de Figuras

2.1 Pirâmide de interações entre *Stakeholders* Source: [Mat20]. 6
2.2 Ferramenta de logística urbana do projeto NOVELOG [Mat20]. 7

3.1 Processo de levantamento e análise de requisitos. 14

4.1 Diagrama triangular de interações entre *stakeholders* 19
4.2 Diagrama de fluxo de dados do sistema Log-ON. 20
4.3 Diagrama do funcionamento do sistema e respectivos requisitos. 21

5.1 Ícones dos utilizadores do sistema. Da esquerda para a direita: gestor de frota da empresa logística, autoridade de regulação (município - gestor do planeamento urbano), autoridade de fiscalização rodoviária e condutor da empresa logística. . . 26
5.2 Ícones que representam o tipo de localização (da esquerda para a direita: área, ponto ou rua) sendo que as cores representam a duração da restrição (amarelo - curta duração; laranja- duração média; vermelho - longa duração) 26
5.3 Página web inicial do sistema Log-ON. 27
5.4 Login para acesso à página web do sistema Log-ON. 27
5.5 Pagina inicial do sistema Log-ON, direcionado às autoridades de regulação do espaço urbano (município). 28
5.6 Opções para acesso aos menus de *Restrições*, *Estatísticas* e *Pedidos de acesso* da interface destinadas às autoridades de regulação do espaço urbano. 29
5.7 Interface para criação de uma nova restrição na aplicação das autoridades de regulação do espaço urbano. 30
5.8 *Box* para criação de uma nova tipologia de restrição. 30
5.9 Menu para criação de uma nova restrição na aplicação das autoridades de regulação do espaço urbano. 31
5.10 Interface que surge após o preenchimento dos campos da nova restrição, para garantir que o utilizador pretende guardar, ou não, as alterações realizadas. 32
5.11 Interface para editar, consultar ou remover uma restrição disponível na aplicação das autoridades de regulação do espaço urbano. 32
5.12 Interface de análise da qualidade do ar. 33
5.13 Interface de análise de fluxo de veículos da aplicação das autoridades de regulação. 34
5.14 Interface de gestão de pedidos de autorização na aplicação das autoridades regulação. 35
5.15 Interface de gestão de pedidos de autorização dos Gestor de Frota. 35
5.16 Interfaces de inicio de sessão para os condutores e as autoridades na aplicação móvel do sistema Log-ON 36
5.17 Interfaces da aplicação móvel direcionadas ao condutor do veículo. 37
5.18 Cobrança de taxa associada a um pedido efetuado disponível na aplicação móvel. 37
5.19 Interface de gestão de pedidos de autorização. 38

Lista de Tabelas

2.1 Limites de emissões dos standards europeus. 8
2.2 Caraterísticas de LEZ em diferentes cidades. 10

3.1 FRx - Descrição de requisitos. 15

4.1 Tabela de requisitos da sistema Log-ON proposto. 22

A.1 FR1.1 - Introdução de dados no sistema. 47
A.2 FR1.2 - Information retrieval. 48
A.3 FR1.3 - Identificação de dados inválidos. 49
A.4 FR1.4 - Pesquisa de informação 50
A.5 FR2.1 - Definição e gestão de zonas de circulação de veículos. 50
A.6 FR2.2. - Definição e gestão de cenários a aplicar em restrições de circulação. . . 51
A.7 FR2.3. - Classificação de veículos de distribuição logística a considerar em restrições de circulação. 51
A.8 FR2.4. - Definição e gestão de regras de restrições de circulação, considerando zonas de circulação, cenários e classes de veículos. 52
A.9 FR2.5. - Geração de relatórios de restrições de circulação 52
A.10 FR3.1.- Submissão de pedidos de acesso a um ou mais zonas com restrições de circulação 53
A.11 FR3.2.- Avaliação e notificação de pedidos de acesso 54
A.12 FR4.1. - Cálculo de estatísticas espaço-temporais do ambiente urbano 55
A.13 FR4.2. - Aprendizagem automática de regras de restrição de circulação. 56
A.14 FR4.3. - Alerta de irregularidades 56
A.15 FR4.4. - Recomendação de restrições de circulação. 56
A.16 FR5.1. - Visualização de dados do sistema 57

Abreviaturas e Símbolos

ANPR	Reconhecimento Automático de Placa de Número
DPF	Filtro de particulas para veículos a gasóleo
EEA	Agência Europeia do Ambiente
GEE	Gases com Efeito de Estufa
HDV	Veículo pesado de mercadorias
ITS	Sistemas inteligentes de transportes
LDV	Veículo ligeiro de mercadorias
LEZ	Zona de emissões reduzidas
SULP	Planos de logística urbana sustentável
SUMP	Planos de Mobilidade Urbana Sustentável
UE	União Europeia
UFT	Transportes pesados de mercadorias
ZEZ	Zona de Zero emissões

Capítulo 1

Introdução

A população e a economia urbana tem registado ao longo do tempo um constante crescimento. De modo a suportar todo este desenvolvimento, é essencial criar uma civilização urbana moderna que acompanhe o seu contínuo crescimento. Um dos aspectos com particular importância é o planeamento e controlo das operações logísticas para os centros urbanos assim como no seu seio. Este capítulo apresenta o contexto da gestão das operações logísticas em centros urbanos e seus respectivos impactos. Em seguida apresenta-se a motivação do trabalho para criar uma nova solução de gestão dessas operações. No final, são identificados os objetivos desta dissertação.

1.1 Contextualização

Na Europa, o sector do retalho representa 3,3 milhões de negócios, sendo que as vendas via e-commerce representam 11% desses negócios (Euromonitor). Com a introdução das novas tecnologias e a recente crise pandémica, o volume de vendas online tem aumentado [PPSD20], aumentando assim o nível de complexidade das cadeias de distribuição logística.

De modo a minimizar os efeitos nefastos dos transportes causados pelo excessivo aumento das zonas urbanas, as cidades têm definido restrições de circulação que provocam alteração do plano de distribuição de cargas por parte das empresas de logística [dOdSN$^+$]. Para além da redução das emissões de poluentes, estas restrições implementadas pelos municípios são motivadas pela promoção do bem-estar, da segurança e da facilidade de mobilidade.

A criação de ruas de sentido único, assim como de vias exclusivas para o transporte público, são alguns exemplos de restrições de tráfego que, apesar de aumentar a fluidez do tráfego, podem resultar num aumento da distância percorrida e duração de viagem para alguns modos de transporte, designadamente o transporte de mercadorias. A ocorrência de eventos esporádicos como por exemplo concertos, jogos de futebol ou ocorrência de obras, pode levar também à imposição temporária de restrições de tráfego. Este tipo de restrições temporárias de tráfego tem sido por exemplo implementado, durante épocas festivas, quer para permitir que o espaço urbano seja ocupado por atividades de lazer como mercados ou provas desportivas, quer ainda para prevenir a ocorrência de atentados terroristas.

De forma a reduzir os impactos causados pela circulação de veículos poluentes, a Comissão Europeia promoveu o conceito de '*sustainable urban mobility*' (Mobilidade Urbana Sustentável), e publicou directrizes para o desenvolvimento e implementação de Planos de Logística Urbana Sustentável (SULP). Estas diretrizes são uma ferramenta de apoio às políticas definidas em cidades na Europa, sendo que muitas delas têm escassez de recursos para avaliar e desenvolver planos desta natureza [SUL]. Os SULP incluem estratégias, medidas e regras que podem ser adotadas com uma abordagem cooperativa entre diferentes utilizadores para atingir objetivos de sustentablidade urbana comuns.

1.2 Motivação

Estima-se que, em 2050 aproximadamente dois terços da população mundial viverá nas zonas urbanas [NoEAD19]. A concentração de comércio e serviços tendem a acompanhar este crescimento populacional, o que resulta numa pressão acrescida ao nível dos transporte, designadamente ao nível dos transportes de mercadorias.

Além do aumento dos níveis de ruído, o aumento do risco de acidentes e alterações nos custos da logística urbana, a circulação de veículos pesados de mercadorias têm associados níveis elevados de emissões de poluentes, designadamente PM2,5 (partículas com diâmetro inferior a 2,5 micro metros), NOx (óxidos de azoto), SOx (óxidos de enxofre) e CO (monóxido de carbono) ([RC20]).

A poluição atmosférica afeta atualmente todas as regiões do mundo, sendo a população localizada em zonas urbanas a que se encontra mais exposta a níveis de poluição, que podem resultar em problemas graves de saúde [EEA21]. Em 2017, cerca de 8% da população urbana Europeia (UE-28) esteve exposta a concentrações de PM2,5 que excederam o valor limite anual de protecção da saúde humana definido na União Europeia (EU) (25 $\mu g/m^3$), e 77% dessa população esteve exposta a concentrações de PM2,5 que ultrapassaram os valores de protecção definidos pela Organização Mundial de Saúde (10 $\mu g/m^3$). Estima-se que na Europa (UE-39), a poluição atmosférica seja responsável por 400.000 mortes prematuras por ano, devido à exposição a PM2,5 [EEA21].

Nas zonas com maior tráfego, os veículos são responsáveis por cerca de 90% das emissões de CO, 80% a 90% das emissões de NOx, hidrocarbonetos e uma elevada quantidade de PMx, sendo que os veículos pesados representam a maioria das emissões de óxidos de azoto e enxofre [LSM18]. Estes gases (PMx, NOx, CO e HC) são os principais gases poluentes emitidos pelos automóveis, nefastos para a saúde humana. Segundo a Agência Europeia do Ambiente (EEA), relativamente a 2020, as emissões de 2018 indicam que mais da metade dos países provavelmente irão alcançar os compromissos de redução de emissões definidos para o período 2020-2029. No entanto, a análise das projecções das emissões dos Estados-membros de 2019 indica que 16 países devem reduzir as emissões de NOx mais de 30% e 5 países devem reduzir para metade as emissões de material particulado (PMx) [EEA]. Relativamente aos gases com efeito de estufa definiu-se que até 2050, a UE terá de reduzir 80-95% as suas emissões comparativamente aos níveis de 1990. No sector dos transportes – fonte importante e que continua a crescer de emissões de GEE – será

necessário reduzir, até 2050, 60% destas emissões comparativamente aos níveis de 1990, e até 2030, reduzir 20% das emissões comparativamente aos níveis de 2008 [Eur11].

A imposição de políticas públicas, materializadas em planos que definem regras e medidas de gestão urbano, limitam a circulação dos veículos. Ao nível do transporte de mercadorias, estas limitações afetam não só os operadores logísticos, que começam a encontrar dificuldades na movimentação de mercadorias, mas também o cliente final, que fica limitado na recepção das suas encomendas. A falta de produtos impacta diretamente a economia dos centros urbanos. Neste contexto, é necessária a criação de ferramentas que permitam maior flexibilização da gestão do tráfego, não só do ponto de vista da prestação de informação ao público, mas também de modo a facilitar a gestão urbana. Todas estas razões indicam a necessidade de criação de uma ferramenta que permita uma maior versatilidade da gestão de restrições de mobilidade do tráfego urbano, em particular ao nível do transporte de mercadorias.

1.3 Objetivos

A gestão e planeamento da mobilidade urbana, tendo em conta as inúmeras restrições em constante alteração, constituem um desafio para os municípios localizados nos centros urbanos. Assim, o objetivo principal desta dissertação consiste no desenho de um sistema dinâmico de gestão de restrições em meio urbano (*last-mile*) tendo em conta múltiplos factores (ex: ambientais, legais). O sistema deverá permitir, aos municípios e também aos condutores, terem acesso a informação atualizada, que permita uma melhor tomada de decisões. Este sistema estará maioritariamente focado nos transportes pesados de mercadorias que, pelas suas características ao nível da dimensão e níveis de emissão são atualmente alvo de maiores restrições de circulação.

Com o sistema proposto, pretende-se flexibilizar as medidas de restrição para a circulação de tráfego de veículos em zonas urbanas. Desta forma, os municípios poderão aumentar ou aliviar as medidas de restrições consoante o tipo de problema que a cidade registar, seja ele relacionado com ocupação da via por motivos festivos ou provas desportivas, de aumento dos níveis de poluição, ou terrorismo.

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Identificação e especificação de requisitos do sistema;
- Identificação dos diversos componentes e fontes de dados;
- Definição da arquitetura do sistema;
- Desenho de um conjunto de *mock-ups* do sistema proposto;
- Análise do sistema proposto.

1.4 Estrutura da dissertação

Este documento engloba mais cinco capítulos para além do anteriormente apresentado. O Capítulo 2 descreve a revisão da literatura feita que inclui tópicos como: planos de mobilidade existentes, aplicações relacionadas com o projeto do sistema Log-on e medidas de restrições. No Capítulo 3 é abordada a metodologia utilizada tanto para a identificação dos requisitos como para o desenvolvimento das interfaces. Já no Capítulo 4 são apresentados os resultados. Nesta parte, não só é feita a identificação dos *stakeholders* e as suas necessidades, posteriormente transformados em requisitos do sistema, com base na metodologia definida mas também o desenvolvimento das interfaces. Por último, no Capítulo 6 são expostas as conclusões e trabalhos futuros.

Capítulo 2

Revisão da Literatura

As atividades de logística garantem a entrega e a recolha de mercadorias na quantidade, local e momento pretendido, e incluem, se necessário, o armazenamento temporário das cargas [EP18]. Estas atividades têm não só um elevado impacto sócio-económico, mas também ambiental.

Neste capítulo é efetuada a revisão da literatura focada na forma como são geridas as medidas de restrição de circulação de veículos. A primeira secção apresenta os planos de mobilidade logísticos atualmente utilizados, bem como as suas limitações, enquanto que a segunda secção apresenta as diferentes tipologias de medidas de restrição de circulação de tráfego rodoviário em zonas urbanas. Na última secção são apresentadas algumas aplicações existentes que incluem a informação das restrições de tráfego impostas num dado local.

2.1 Planos de Mobilidade Logísticos

A Comissão Europeia promoveu o desenvolvimento de Planos de Logística Urbana Sustentáveis (SULP) com o objetivo de facilitar a definição regras de planeamento e estratégia em pequenas e médias cidades da Europa. Os SULP estão directamente relacionadas com os Planos de Mobilidade Urbana Sustentável (SUMP), que têm sido implementados em várias cidades europeias. Atualmente, existem poucas cidades europeias com planos de logística, mas alguns projetos europeus como o ENCLOSE, NOVELOG e SULPiTER definiram metodologias para implementação dos SULP [Mat20].

O projeto ENCLOSE (ENergy efficiency in City LOgistics Services) analisou as operações de logística urbana em nove pequenas e médias cidades europeias históricas [Mat20]. Um dos objetivos deste projeto foi o desenvolvimento de Planos de Logística Urbana Sustentável, integrados nos SUMP das cidades em estudo, para posteriormente partilha dos resultados com outras cidades. Os resultados deste projeto implementado entre 2012 e 2014 mostram que a metodologia definida não é eficiente pois os requisitos e necessidades variam bastante entre cidades [Mat20].

O projeto NOVELOG, desenvolvido entre 2015 e 2018, apresentou soluções mais flexíveis. Este projeto focou-se mais em facilitar a cooperação entre os diferentes *stakeholders* que operam

na distribuição de cargas dentro das cidades, de forma a que haja maior compreensão e conhecimento entre eles. O âmbito do projeto foi o fortalecimento das autoridades locais e partes interessadas, disponibilizando ferramentas para simplificar a gestão da "cadeia de implementação"(captura de problema - decisão - planeamento - teste - avaliação - correcções - implementação). Para alcançar estes objetivos foram formuladas políticas baseadas em modelos de negócio e modelos logísticos sustentáveis, assim como na cooperação entre as diferentes partes interessadas já referida. Na Figura 2.1 é apresentada a pirâmide triangular que representa os interesses e interações entre os diferentes *stakeholders* [Mat20].

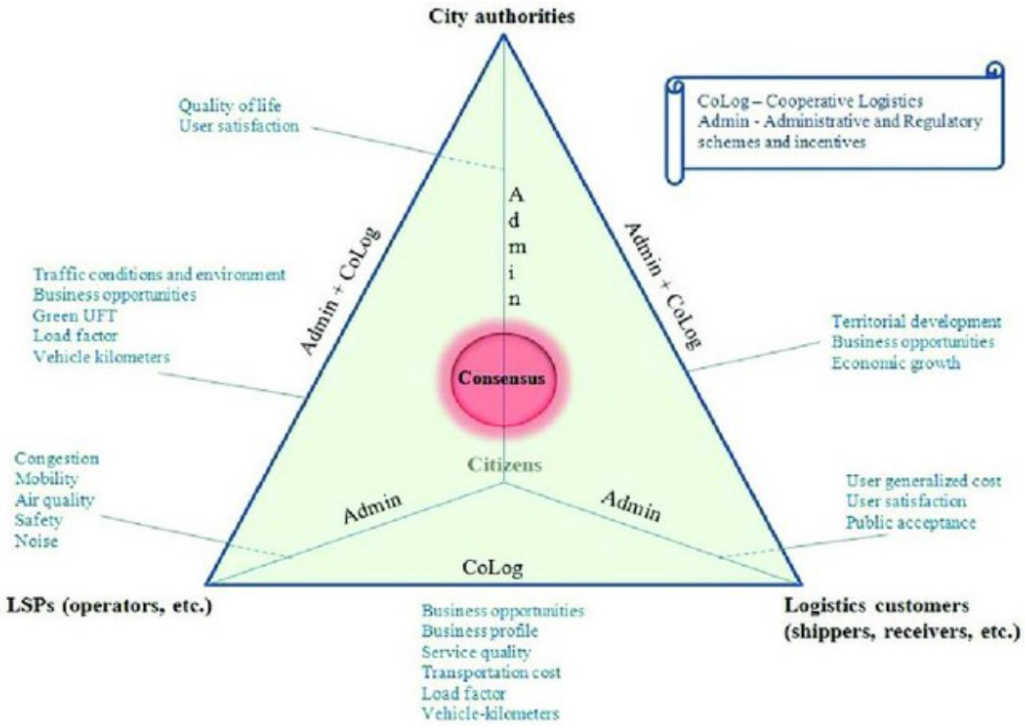


Figura 2.1: Pirâmide de interações entre *Stakeholders* Source: [Mat20].

Esta pirâmide representa o esquema de cooperação para cada par das partes interessadas. O consenso entre todas as partes encontra-se no centro, visto que é o principal objetivo da criação do SULP.

No projeto NOVELOG foi desenvolvido um *kit* de ferramentas para ajudar as cidades a selecionar as medidas ideais para implementação, com base em medidas já implementadas noutras cidades. A Figura 2.2 representa o kit de ferramentas que permite que o utilizador filtre as medidas disponíveis de acordo com um conjunto de parâmetros como objetivos, problema, morfologia da cidade, perfil logístico e mercado do UFT (*Urban freight transport*), principais *stakeholders* e medidas de implementação.

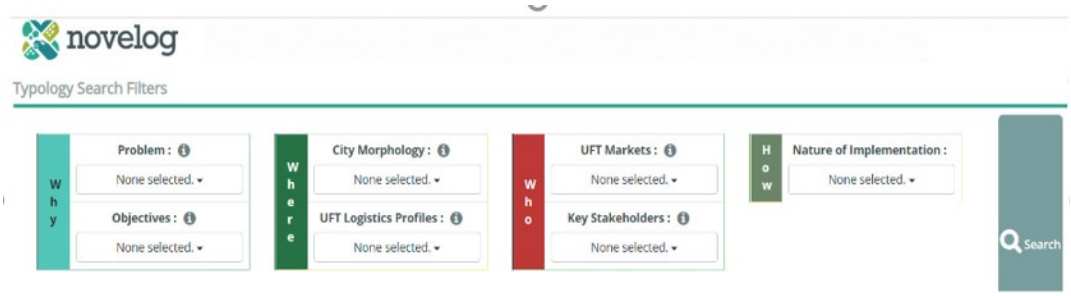


Figura 2.2: Ferramenta de logística urbana do projeto NOVELOG [Mat20].

2.2 Medidas de restrição de tráfego rodoviário

As medidas de restrição de tráfego podem ser classificadas como de caráter temporário ou permanente. As medidas de restrição temporárias têm por objetivo facilitar o fluxo de tráfego durante eventos esporádicos, como obras e concertos assim como em situações de terrorismo. Por exemplo, a *Gran Via* é uma das ruas com maior circulação da cidade de Madrid. Dada a grande oferta cultural, gastronómica, hoteleira e comercial, o tráfego intensifica-se na época natalícia. Com o objetivo de manter a segurança e assegurar a prestação dos serviços públicos essenciais, todos os anos são definidas medidas temporárias de restrição, controlo de acesso e circulação de veículos pesados nesta via [Bol20].

As medidas de caráter permanente, incluem medidas com objetivos particulares, como por exemplo redução de emissões, do congestionamento ou custos de logística. A implementação de Zonas de Emissões Reduzidas (LEZ) ou de Zero Emissões (ZEZ) são uma forma de criar medidas mais exigentes de forma permanente. As LEZ são geralmente implementadas em áreas urbanas onde o acesso de alguns tipos de veículos, nomeadamente os mais poluentes, é restrito. Normalmente, isto significa que, veículos com maior emissão de poluentes não podem entrar nesta área ou é cobrada uma taxa de acesso. Desde a década de 90, estas vias têm vindo a ser implementadas um pouco por toda a Europa, sendo mais populares em cidades do Sul da Europa como Atenas, Barcelona, Lisboa, Milão e Madrid. Em 1996, foi criada a primeira LEZ na Suécia [KBK$^+$20]. A França foi o segundo país a adoptar a implementação de áreas LEZ sendo que a Alemanha e a Itália são os países mais entusiastas visto que acreditam que esta política não só ajuda na redução de emissões, mas também na segurança rodoviária [KBK$^+$20]. A Tabela 2.2 apresenta uma lista de cidades onde foram implementadas LEZ.

Habitualmente a maioria dos veículos afetados por restrições de circulação em áreas LEZ são: veículos ligeiros de mercadorias (LDV - "*Light-Duty Vehicles*"), pesados de mercadorias (HDV - "*Heavy-Duty Vehicles*") e autocarros ("Buses"). No entanto, em algumas das cidades analisadas, os veículos afectados pela LEZ não só estavam separados nestas categorias, mas simultaneamente, as restrições variavam consoante o grau de poluente do veículo. As emissões dos veículos são classificadas, na Europa, pelos standards Europeus (A.5), sendo que em algumas LEZs, a instalação de filtros de partículas pode permitir o acesso de veículos a diesel [LEZ]. A grande maioria das

LEZs afecta a circulação de autocarros e veículos pesados de mercadorias (geralmente mais de 3,5 toneladas de peso bruto do veículo), dado que estes são habitualmente os veículos mais poluentes [LEZ].

Os horários de funcionamento mais comuns são os de caráter permanente (24h, 365 dias), que se aplicam a um grupo de veículos, ou intervalo de horário diurno aplicado a todos os veículos. Os intervalos de horário diurnos, por exemplo das 07:00 às 20:00 horas ou das 09:00 às 18:00 horas, estão relacionados com um maior tráfego rodoviário durante este período e pode variar em cada cidade tendo em conta as horas de ponta de tráfego (essencialmente relacionado com os fluxos casa - trabalho ou escola - casa).

De forma a controlar o acesso a estas áreas, algumas cidades, como Madrid e Barcelona, utilizam o sistema de autocolantes no pára-brisas do veículo. Estes autocolantes podem apresentar várias cores e a atribuição de cada uma está, principalmente, relacionada com a classe Euro do veículo. Porém, esta classe também pode variar dependendo da classe de imposto e da existência de um filtro, ou não, de partículas [Mar21].

As classes Euro ou *standards* Europeus de emissões são normas definidas pela União Europeia que definem os padrões mínimos de emissão de veículos novos [Eur]. Estas normas, vão desde a classe Euro 1 à classe Euro 6, sendo que o primeiro foi imposto em 1993 e o último em 2014. Cada classe tem associado um limite de emissões de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogénio (NOx), hidrocarbonetos (HC) e matéria particulada (PM) que possuem valores limites diferentes para veículos a gasolina ou *diesel*. Na Tabela 2.1 são apresentados os valores limite de emissões associados a cada classe Euro.

Tabela 2.1: Limites de emissões dos standards europeus.

Standards	Limites (g/km)							
	Diesel				Petrol			
	CO	HC	NO_x	PM	CO	HC	NO_x	PM
Euro 1	2,75	0,97		0,14	2.75	0,97		no limit
Euro 2	2,20	0,50		no limit	1,00	0,70		0,008
Euro 3	2,30	0,2	0,5		0.64	0,56		0,05
Euro 4	1,00	0,10	0,08	0,005	0,5	[1] 0,3	0,25	0,025
Euro 5			0,06			[1] 0,23	0,18	0,005
Euro 6						[1] 0,17	0,08	

[1]Esses valores limite representam a emissão de HC e NOx como um total.

Por exemplo, na Alemanha os veículos mais antigos que não cumprem com a classe Euro 1 ou com nenhuma das classes, não tem autocolante. O adesivo verde indica que o veículo é a diesel e atende aos padrões de classe Euro 4 e Euro 3 com filtro de partículas *diesel* (DPF, "*Diesel Particulate Filter*"), ou é um veículo a gasolina que atende aos padrões Euro 1. Um autocolante amarelo é para veículos a diesel atendendo pelo menos à classe Euro 3, ou Euro 2 com um filtro de partículas, e construído em 1996 ou mais tarde, e um vermelho é para veículos a *diesel* atendendo

pelo menos à classe Euro 2 ou Euro 1 com um filtro de partículas e construído em 1992 ou mais tarde. Os veículos que não atendem a nenhum desses requisitos estão na classe Euro 1 [CH15].

Para além do sistema de autocolantes, o controlo de acesso é muitas vezes feito através de câmaras de vídeo inteligentes que efetuam o reconhecimento automático da matrícula do veículo (ANPR - *Automatic Number Plate Recognition*). Estas câmaras de vídeo capturam imagens continuamente de todos os veículos e usam bases de dados para verificar se o veículo tem permissão para conduzir na área ou não. Este sistema é o mais usado na Bélgica, e também usado em Londres. Para veículos matriculados na Bélgica, as câmaras comparam o número de matrícula com os dados do registo do veículo, com o intuito de verificar se as caraterísticas técnicas do veículo (classe Euro) estão em conformidade com a legislação LEZ. Em caso de não conformidade, é aplicado uma multa ao titular do veículo [HC17][SB16].

Tabela 2.2: Caraterísticas de LEZ em diferentes cidades.

Cidade	Área (km^2)	Habitantes	Veículos			Horários				Autocolantes
			LDV	HDV	Autocarros	Permanentes	2f a 6f	2f a 5f	6f	
Amesterdão	316	1.140.000		x	x	x				
Aosta	21.37	34.361	x	x	x		09:00-18:00			
Atenas	584	3.325.000	x	x	x			07:00-20:00	07:00-20:00	
Barcelona	1.072	4.588.000	x	x	x		07:00-20:00			x
Berlim	1.369	397.200	[1]	[1]	[1]	x				
Bruxelas	32.61	174.383	[2]	[2]	[2]	x				
Helsínquia	231.8	631.695			x	x				
Lisboa	952	2,656,000		[2]	x		07:00-21:00			
Londres	1.739	10.979.000	[3]	[3]	[3]	06:00-00:00				
Madrid	1.365	3.000.000	x	x	x					x
Manhattan	59.1	1.632.000	x	x	x		06:00-18:00			
Milão	1.881	4.907.000	x	x			07:30-19:30			
Munique	482	1.928.000	[1]	[1]	[1]	x				
Paris	2.509	11.020.000		x		08:00-20:00				
			x				08:00-20:00			
Singapura	728.3	5.704.000	x	x	x		7:30-20:00 [4]			
Viena	338	1.809.000		x	x	x				

[1]Todos os veículos a diesel e veículos a gasolina sem um conversor catalítico de circuito fechado (Euro 1 ou equivalente) [2]Vans maiores, minibuses; Autocarros, autocarros com mais de 5 toneladas; camiões e veículos pesados especializados com mais de 3,5 tonelada [3]Todos os veículos que não atendem ao padrão Euro 3 e veículos com> 7,5 toneladas. [4]Sábado: 12:30-20:00 ; Feriados: 7:30-13:00

2.3 Aplicações

O desenvolvimento de Sistemas de Transporte Inteligentes (ITS, do inglês "*Intelligent Transportation Systems*") requer informação de trânsito em tempo real de alta qualidade. Os métodos usados para obter dados de tráfego têm evoluído consideravelmente, dada a crescente pressão de melhoria da gestão logística de trânsito nas cidades. Assim, o acesso a esse tipo de informações em tempo real tornou-se uma rotina global. [Led08]

Segundo a Escola de Arquitetura de Manchester, em termos de recurso de alto nível, em 2016, as aplicações de transporte com melhor cotação, com base nos modos de transporte e recursos suportados, foram o Google Maps, TripGo, Here WeGo, Citymapper e My TfGM [CS16].

Para suportar estas aplicações, são usados dados de tráfego provenientes de uma variedade grande de fontes, incluindo organizações governamentais de transporte [Sha17]. Outra fonte de dados, são os utilizadores dessas aplicações como o *Waze*. Os usuários do *Waze* fornecem informações através da aplicação, sobre acidentes e engarrafamentos que encontram ao longo dos seus trajetos. Segundo Trapsilawati et al. [TWJ19], os utilizadores, confiam mais no *Waze* do que no *Google Maps*. Assim, com a compra em 2013 do *Waze* pela *Google*, a *Google* pode entretanto tornar a experiência de navegação do *Google maps* mais precisa [Sha17].

No âmbito do controlo de restrições da circulação de tráfego, existe uma ferramenta de consulta disponível no site de *Urban Access Regulations in Europe*. Esta ferramenta intitula-se *Route Planner* e permite pesquisar a cidade europeia que o utilizador pretende, disponibilizando uma tabela com as informações de restrições da área seleccionada. Esta ferramenta apenas mostra um tipo que restrição, sendo esta a proibição de acesso. O utilizador da ferramenta tem a possibilidade de escolher o tipo de veículo cuja restrição pretende consultar, podendo optar por autocarro, cargas acima de 7,5 toneladas, cargas acima de 3,5 toneladas, auto caravanas, carros e motas. Selecionada a opção do tipo de veículo, é apresentada uma tabela com a data de início e fim da restrição, os veículos afectados (dentro do tipo de veículo selecionado, por exemplo dentro dos autocarros pode apenas ser afectado os autocarros de turistas), a classe Euro para veículos a gasolina, a classe Euro para veículos a diesel e em que casos o veículo está sujeito a pagar uma taxa de circulação.

Capítulo 3

Metodologia

Nesta secção é descrita a metodologia usada para o desenvolvimento deste trabalho. Em primeiro lugar, é apresentada a identificação dos *stakeholders* do sistema e, identificação e análise das suas necessidades. De seguida descreve-se como é que foi efectuada a identificação dos requisitos do sistema e por fim a ferramenta usada.

3.1 Identificação de *stakeholders*, identificação e análise das necessidades

A identificação de *stakeholders* e, identificação e análise das necessidades tem uma enorme importância no funcionamento de um sistema para que este possa ser concebido de modo a ir ao encontro das necessidades das partes interessadas. Neste trabalho, a identificação dos *stakeholders* foi realizada considerando a revisão da literatura, designadamente os resultados obtidos do projeto NOVELOG [Mat20]. Na Figura 2.1, apresentada anteriormente, são apresentadas as ligações entre os *stakeholders* bem como os respectivos interesses identificados neste projeto.

Após a identificação dos interesses, foram definidas as necessidades de análise, ou seja de que forma é que as funcionalidades do sistema podem contribuir para os interesses dos *stakeholders*. Para definir estas necessidades foram realizadas reuniões periódicas ao longo do desenvolvimento deste trabalho com especialistas na área dos transportes. Nestas reuniões foi também recolhido feedback de gestores de frota de uma empresa de logística de transportes pesados de mercadorias.

3.2 Requisitos de um sistema

Depois de identificadas as necessidades dos *stakeholders*, estas foram transformadas em requisitos do sistema. Para isso foram realizadas reuniões quinzenais com especialistas nas áreas dos transportes de forma a garantir a validade e precisão do processo.

O processo de identificação, definição e especificação de requisitos é um processo iterativo, com uma contínua validação entre fases, como mostra na Figura 3.1. Neste trabalho o processo de identificação e definição dos requisitos teve em conta as seguintes fases:

- **Descoberta:** Com base na análise das necessidades, foi efetuada, primeiro a compreensão e análise das necessidades dos *stakeholders* e depois a identificação dos requisitos do sistema.
- **Classificação:** De modo a facilitar a implementação do sistema, os requisitos do sistema foram organizados em grupos coerentes.
- **Priorização:** Os requisitos foram classificados tendo em conta o seu grau de importância e influência no funcionamento do sistema.
- **Especificação:** Cada um dos requisitos foi detalhado se forma mais rigorosa e detalhada de modo a identificar os inputs, processos e outpus.
- **Validação:** Foram realizadas reuniões de modo a verificar a consistência do sistema de forma global.

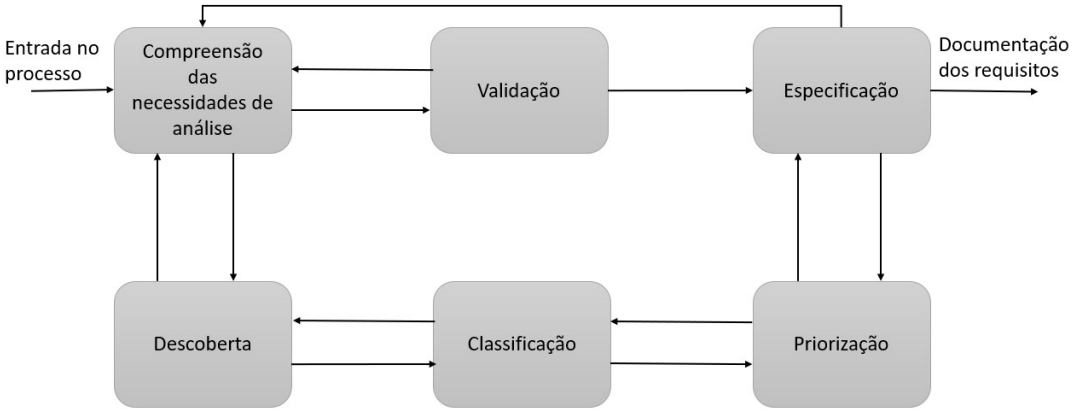


Figura 3.1: Processo de levantamento e análise de requisitos.

Ao longo da identificação de requisitos foram feitas pré-validações e uma descrição mais detalhada de cada requisito o que permitiu fazer ajustes e identificar incompatibilidades. Os requisitos foram descritos segundo a estrutura da Tabela 3.1 onde estão representados: o código e a descrição do requisito; o objetivo do requisito detalhando qual a funcionalidade pretendida; o input, ou seja, os dados necessários ou actividade que leva à realização do respectivo requisito; a operação, que descreve por tópicos o que o sistema deve realizar e como deve operar; o output obtido após a implementação do respectivo requisito.

3.3 Desenvolvimento das interfaces

Para concepção das interfaces, em primeiro lugar foram identificados e definidos os principais conceitos presentes no sistema. Seguidamente, para uniformização dos conceitos, foi criada uma simbologia única para todo o sistema.

Em função das necessidades e requisitos dos *stakeholders*, foram criadas aplicações Web e móveis distintas para cada um dos *stakeholders*. O desenvolvimento destas interfaces envolveu,

Tabela 3.1: FRx - Descrição de requisitos.

FRx	Descrição do requisito
Objetivo	O sistema deve ser capaz de....
Input	.....
Operação	O sistema deve • .... • ... • ....
Output	.....

sempre que possível a utilização de mapas e uma interação simples e intuitiva que permitisse uma compreensão fácil do sistema.

Neste trabalho, usou-se o Figma como ferramenta para desenho dos *mock-ups* das interfaces do sistema proposto. O Figma permite projetar e criar protótipos dispondo de todas as funções necessárias para a fase de design utilizando vectores capazes de representar uma ilustração completa e detalhada, bem como recursos de prototipagem e geração de código para transferência [Fig]. Esta ferramenta é também multidisciplinar o que permite às equipas de design explorar o mesmo projeto simultaneamente, permitindo assim acompanhar as suas alterações em tempo real. Esta ferramenta é usada através de um *browser* o que significa que pode ser usado em qualquer sistema operativo.

Capítulo 4

Identificação e definição de requisitos

A identificação de necessidades e definição de requisitos são de extrema importância para a concepção de um sistema de gestão robusto. Neste capítulo são apresentados os objetivos do sistema denominado de Log-ON, os seus *stakeholders*, bem como as suas necessidades, sendo estas transformadas em requisitos.

4.1 Principais objetivos e conceitos do sistema

Os objetivos gerais do sistema Log-ON são:

1. Monitorizar as restrições de trânsito numa área urbana;
2. Avaliar o impacto de determinadas restrições a nível ambiental;
3. Contribuir para um maior dinamismo/ flexibilidade e simultaneidade de restrições de tráfego;
4. Ajustar o acesso de veículos pesados de mercadoria a centros urbanos;
5. Melhorar a troca de informação entre os diferentes *stakeholders*.

No sistema proposto foram definidos vários conceitos, que se relacionam entre si, e que ajudam a percepcionar de forma mais clara o sistema proposto. Assim, os principais conceitos considerados no sistema Log-ON são:

- **Restrição**: Medida criada por uma autoridade municipal que se destina a regulamentar o acesso de um determinado tipo de veículo a uma dada zona, num determinado período de tempo;
- **Zona**: área geográfica à qual está associada uma restrição de tráfego;
- **Pedido**: pedido de autorização de circulação numa zona, por parte de um operador logístico.
- **Autorização**: resposta dada, de forma automática, a um pedido efetuado pelo operador do veículo.

4.2 Identificação dos *Stakeholders* e suas necessidades

Segundo Maria Matusiewicz [Mat20], os principais *stakeholders* na gestão das operações logísticas são as autoridades municipais, os operadores de serviços logísticos (fornecedores e destinatários), e as autoridades metropolitanas. Tendo em conta estes *stakeholders*, no sistema Log-ON foram identificados 4 principais grupos de *stakeholders*:

- **Público geral**: cidadão comum que deve ter acesso a toda a informação sobre as restrições nos centros urbanos.
- **Autoridades de regulação (municípios)**: Entidade responsável pelo ordenamento do território e gestão de uma cidade. É responsável pelo incentivo ao desenvolvimento logístico do meio urbano. Tem como principal interesse facilitar a gestão das restrições na cidade e garantir a qualidade do ar através do controlo de emissões.
- **Operadores de serviços logísticos (gestores de frota e condutores):** Empresas especializadas no transporte de mercadorias. A esta entidade pertencem o gestor de frota, que realiza todo o planeamento dos serviços assim como definição das rotas, pontos de paragens etc., e os operadores dos veículos (condutores). São os principais responsáveis pelas operações associadas com a distribuição de mercadorias e pela qualidade de serviço. Os gestores de frota e os condutores são considerados *stakeholders* independentes que pertencem ao mesmo tipo. Estas empresas pretendem garantir a qualidade do serviço que estão a prestar (cumprimento do planeamento de entregas definido), garantir a segurança rodoviária para os seus colaboradores. Uma das suas maiores necessidades é ter acesso prévio às restrições de circulação de forma a otimizarem o planeamento dos serviços prestados aos seus clientes.
- **Autoridades de fiscalização rodoviária (polícia):** Entidade responsável pela fiscalização e cumprimento do enquadramento legal no domínio dos transportes, visando o bem estar público e a defesa dos interesses dos cidadãos e dos operadores económicos. Esta entidade é responsável por assegurar a segurança rodoviária. O principal interesse destas autoridades no desenvolvimento deste sistema é perceber se existem veículos a circular sem autorização numa determinada área da cidade sujeita a uma restrição de tráfego que possam causar outros danos.

A Figura 4.1 representa o diagrama de interações entre os múltiplos *stakeholders* e os seus interesses. Este esquema foi inspirado no esquema da Figura 2.1 do projeto NOVELOG.

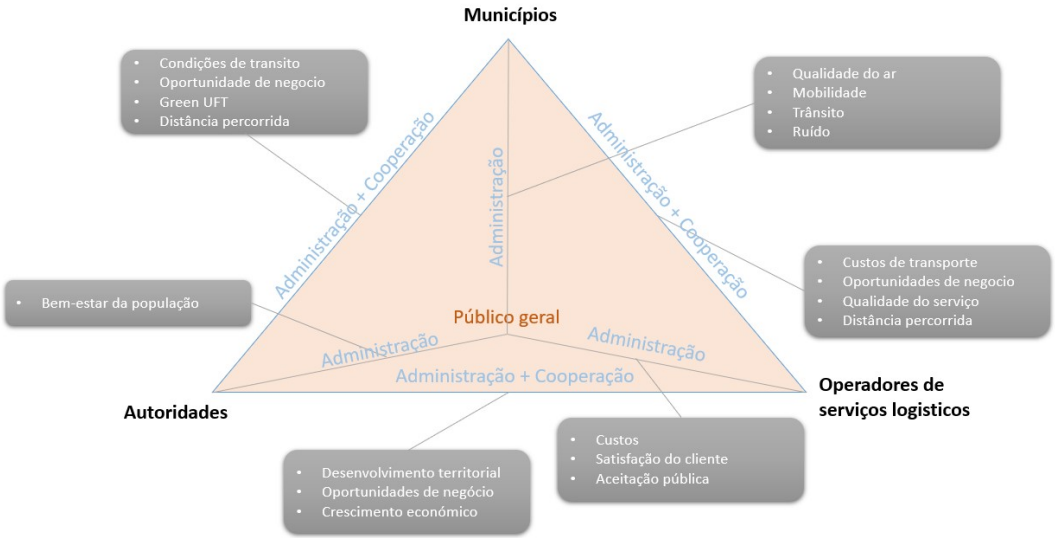


Figura 4.1: Diagrama triangular de interações entre *stakeholders*

4.3 Arquitetura e componentes do sistema

A Figura 4.2 apresenta o fluxo de dados no sistema. Este é composto por cinco componentes distintas: (a) Fontes de dados, (b) Área de retenção, (c) Armazenamento, (d) Processadores e (e) Ferramentas de Front-end.

As **Fontes de dados** referem-se a todos os tipos de estruturas de dados de onde é obtida a informação do sistema, havendo fontes externas (ex: internet, sensores) e fontes internas (informação obtida dentro do sistema). A componente da **Área de retenção** inclui todos as tarefas de transformação e preparação de dados a serem explorados como por exemplo filtrar, normalizar ou obtenção de novas fontes enquanto que o **Armazenamento** refere-se à componente que permite a pesquisa de dados isto é armazenamento e indexação de dados ou ferramentas de pesquisa. Os **Processadores** é a componente que inclui o processamento da informação como a gestão dos pedidos de acesso, a gestão das restrições e a fase de avaliação. As interfaces que permitem a visualização e exploração dos dados estão na componente de **Ferramentas de Front-End**. Esta componente inclui três aplicações distintas com múltiplas interfaces, designadamente:

1. **Pagina Web**: Destina-se aos *stakeholders* Municípios, Gestor de Frota e ao cidadão comum. Esta frente do sistema permite acesso aos três actores mencionados e cada um tem acesso a uma gama de dados direccionada às suas necessidades.

2. **Aplicação Móvel**: destinada aos operadores logísticos e às autoridades metropolitanas de fiscalização. Apesar da aplicação ser a mesma, as informações e funcionalidades disponíveis variam com as credenciais de início de sessão. Serve para o operador do veículo fazer pedidos de acesso a zonas com restrição de circulação e para as autoridades metropolitanas garantirem que não há veículos a cirular sem autorizaçã0ó

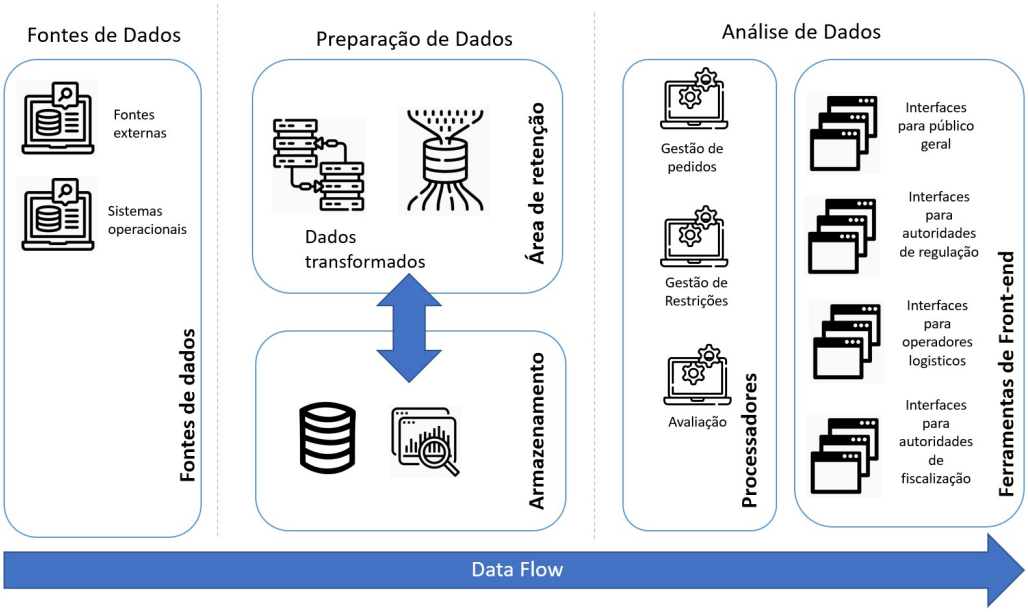


Figura 4.2: Diagrama de fluxo de dados do sistema Log-ON.

O sistema proposto está organizado em cinco grandes funcionalidades de execução, que atuam em simultâneo, designadamente para:

- **Obtenção de dados, pré-processamento e armazenamento de dados:** Inclui a recolha dos dados necessários para o funcionamento do sistema. A qualidade dos dados é garantida por funcionalidades de verificação e tratamento de dados.

- **Gestão de restrições:** Gestão de restrições de mobilidade a definir numa dada área urbana;

- **Gestão de pedidos:** Gestão de pedidos de acesso rodoviário a uma dada zona;

- **Monitorização e Avaliação:** Monitorização de veículos numa dada zona. Esta funcionalidade gerará informação estatística, assim como recomendações para apoio à decisão. Inclui também a avaliação de diversos tipos de indicadores (por exemplo, mobilidade e ambientais), nomeadamente condicionantes para a mobilidade no meio urbano;

- **Visualização:** Nesta fase são disponibilizados os dados do sistema aos *stakeholders* do sistema através de diversas interfaces.

Todas as funcionalidades do sistema serão suportadas pela informação existente na base de dados do sistema. A Figura 4.3 apresenta o diagrama de funcionamento do sistema, respectivos requisitos e a forma como se interligam as diferentes funcionalidades.

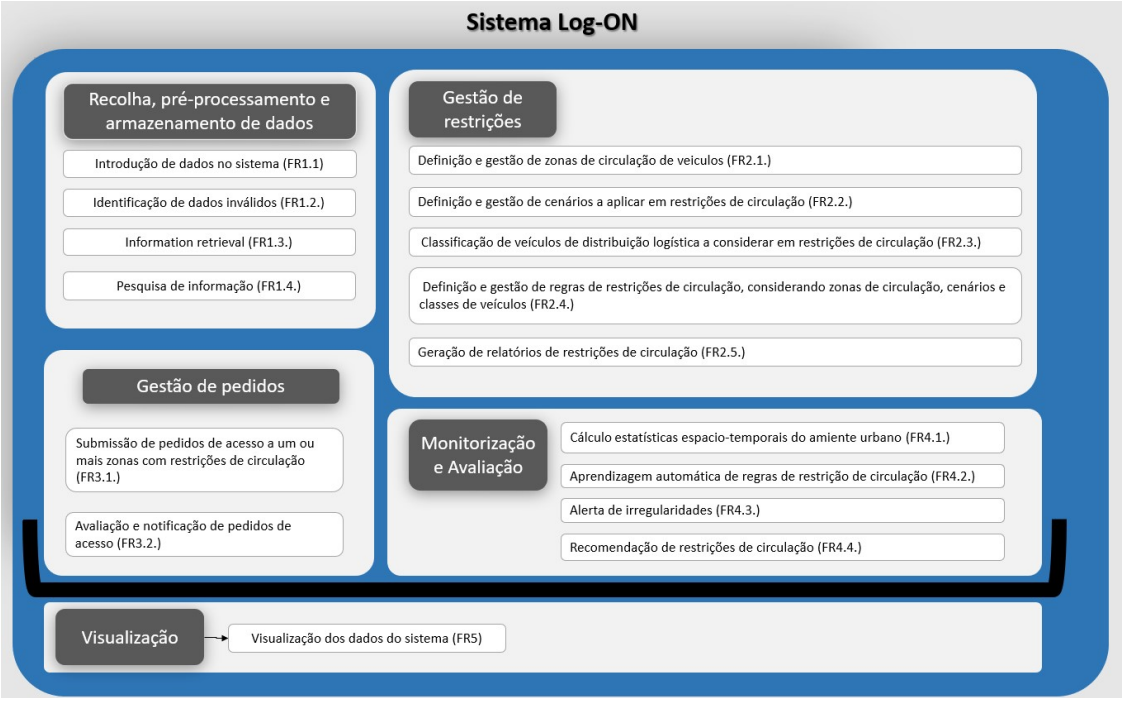


Figura 4.3: Diagrama do funcionamento do sistema e respectivos requisitos.

4.4 Requisitos

A identificação e a especificação de requisitos, foram efectuados de acordo com as necessidades dos respetivos *stakeholders* do sistema previamente identificados. Foram identificados dezasseis requisitos que foram agrupados em cinco fases. Destes, existe apenas um requisito transversal a todas as fases, que corresponde à pesquisa de informação. Os requisitos do sistema identificados são apresentados na Tabela 4.1. Esta tabela apresenta o código do requisito, a fase, e os *stakeholders* responsáveis: *Público geral (P)*, *Autoridades de regulação (Município (M))*, *Operador do veículo (O)*,*Gestor de frota (G), Autoridades de fiscalização (A)*. É ainda apresentado o título do requisito e o grau de prioridade: *Alta (+++)*, *Média (++)* ou *Baixa (+)*, tendo em conta a importância do requisito para o funcionamento do sistema. Além dos *stakeholders* foi também identificado o *Sistema (S)* como participante, associado a requisitos responsáveis pelo mesmo, feitos de forma automática.

Na especificação dos requisitos surgiram algumas dificuldades, designadamente em perceber quem é que deveria efetuar os pedidos de acesso a zonas com restrições de circulação: os gestores de frota e/ou o operador do veículo. De forma a garantir a usabilidade do sistema para estes *stakeholders* é necessário compreender a forma como estes gerem o planeamento das rotas dos veículos. Neste sentido foram realizadas reuniões com gestores de frota de uma empresa de logística. Da análise efetuada foram identificadas diversas soluções, todas elas com limitações:

Tabela 4.1: Tabela de requisitos da sistema Log-ON proposto.

Fase	Código	Título do requisito	Ator	Prio-ridade
1. Recolha, pré-processamento e armazena-mento de dados	FR1.1	Introdução de dados no sistema	M, S	+++
	FR1.2	Information retrieval	S	+++
	FR1.3	Identificação de dados inválidos	M	++
	FR1.4	Pesquisa de informação	TODOS	++
2. Gestão de restrições	FR2.1	Gestão de zonas de circulação de veículos	M	+++
	FR2.2	Definição e gestão de cenários a aplicar em restrições de circulação	M	++
	FR2.3	Classificação de veículos de distribuição logística a considerar em restrições de circulação	M	+++
	FR2.4	Definição e gestão de regras de restrições de circulação, considerando zonas de circulação, cenários e classes de veículos	M	+
	FR2.5	Geração de relatórios de restrições de circulação	M	++
3. Gestão de pedidos	FR3.1	Submissão de pedidos de acesso a um ou mais zonas com restrições de circulação	G, M	+++
	FR3.2	Avaliação e notificação de pedidos de acesso	M, O, G	+++
4. Monitorização e avaliação	FR4.1	Cálculo de estatísticas espaço-temporais do ambiente urbano	M	++
	FR4.2	Aprendizagem automática de regras de restrição de circulação	S	+
	FR4.3	Alerta de irregularidades	A, M	+++
	FR4.4	Recomendação de restrições de circulação	M	+++
5. Visualização	FR5.1	Visualização de dados do sistema	TODOS	+++

- **O condutor do veículo faz o pedido de autorização aquando da entrada na zona com restrição de acesso:** para que esta solução seja eficaz é necessário que o sistema tenha acesso à localização do veículo em tempo real, o que levanta problemas em questões de privacidade dos dados. No caso do condutor do veículo se deparar com uma restrição que sujeite a empresa ao pagamento de uma taxa, este não tem autoridade dentro da empresa para tomar a decisão de pagar a taxa ou alterar a rota.

- **O gestor de frota efectua os pedidos:** este sistema é destinado a todas as empresas de transportes de mercadorias sendo que cada uma tem o seu método de planeamento. No entanto todas elas têm que efectuar o planeamento independentemente do método usado. Então, surgiram várias questões: os pedidos são realizados após o planeamento estar definido? O gestor de frota consulta as restrições que existem em cada rota de cada veiculo, e efectua os pedidos individualmente? É possível exportar os dados das restrições para o sistema usado

pelo gestor de frota usa para o planeamento das rotas? A resposta a todas estas questões foi negativa pois todas estas opções tornam o sistema menos dinâmico.

Finalmente, assumiu-se que a melhor opção seria a primeira, em que o condutor faz os pedidos de acordo com a rota que tem previamente definida, assumindo que o mesmo tem autorizações para alterar rotas e aceitar a cobrança de taxas em nome da empresa.

Em relação à prioridade dos requisitos, considerou-se que os requisitos iniciais de introdução de dados e *Information retrieval* são de alta importância para o funcionamento do sistema dado que são responsáveis pela existência de informação na base de dados do sistema. Estes dados são pré-processados de forma a que esteja guardados na base de dados apenas informação válida para o sistema.

Na gestão de restrições, a gestão de zonas de circulação bem como a classificação de veículos de distribuição apresentam elevada importância visto que representam uma das principais funcionalidades deste sistema. Da mesma forma, a gestão de pedidos também deve ser uma prioridade dado que constitui a ponte entre dois tipos de usuários que irá permitir flexibilidade e dinamismo no controlo de acesso de determinados veículos a certas zonas restritas.

Os alertas de irregularidades e recomendação de restrições constituem requisitos de elevada prioridade pois contribuem para o dinamismo e gestão urbana da parte dos das autoridades de regulação (municípios). A recomendação de restrições baseia-se numa aprendizagem continua e automática das regras que, ao longo do tempo, são criadas manualmente pelas autoridades de regulação.

Por fim, mas não menos importante, a visualização dos dados do sistema é de elevada importância, sendo que é necessário representar os dados de forma clara e intuitiva de forma a que o utilizador consiga usar a informação de forma eficiente.

Capítulo 5

Interfaces do sistema

Este capítulo apresenta as características dos *mock-ups* das interfaces de um sistema dinâmico de gestão de distribuição logísticas (last-mile) em meio urbano multi-utilizador, o sistema Log-ON. Este sistema é composto por duas aplicações distintas, direcionadas aos diferentes *stakeholders* do sistema. Nas próximas secções serão apresentados os principais elementos e conceitos do sistema (secção 5.1), as interfaces desenvolvidas para a aplicação web (secção 5.2) bem como as interfaces da aplicação móvel (secção 5.3.)

5.1 Principais elementos e características do sistema

De forma a apresentar o design e funcionalidades do sistema Log-ON, foram desenvolvidas múltiplas interfaces. Este sistema é composto por duas aplicações distintas, direcionadas a diferentes *stakeholders*: (a) uma aplicação web para uso as autoridades de regulação, designadamente os gestores do espaço urbano (municípios), para uso os operadores logísticos, designadamente os gestores de frota (empresas de logísticas), sendo que esta aplicação também é direcionada ao cidadão comum (este poderá aceder a informação geral sem necessidade de autenticação); e (b) uma aplicação móvel para os condutores dos veículos de empresas logísticas e para as autoridades responsáveis pela fiscalização rodoviária. Apesar do sistema ser o mesmo, foram criadas funcionalidades distintas para cada um dos utilizadores do sistema dado que cada um dos *stakeholders* do sistema tem acesso a informação e funcionalidades diferente. A Figura 5.1 apresenta os ícones que identificam os diferentes tipos de *stakeholders* do sistema Log-ON (não existe ícone de identificação do público geral visto que este não necessita de autenticar-se para consultar o sistema).

No sistema Log-ON foram definidas seis tipos de restrições baseados no tipo de localização e na duração da restrição. Uma restrição pode ser aplicada numa determinada área, num local específico ou numa rua, sendo que a cor associada define uma restrição de longa duração, isto é, várias semanas ou meses (a vermelho), duração média, vários dias (a laranja) ou curta, algumas horas (a amarelo). A Figura 5.2 apresenta os ícones usados para definir estes conceitos.

Está também associada às restrições de circulação, a definição e cobrança de uma taxa predefinida. As situações de cobrança de taxa são as seguintes:



Figura 5.1: Ícones dos utilizadores do sistema. Da esquerda para a direita: gestor de frota da empresa logística, autoridade de regulação (município - gestor do planeamento urbano), autoridade de fiscalização rodoviária e condutor da empresa logística.

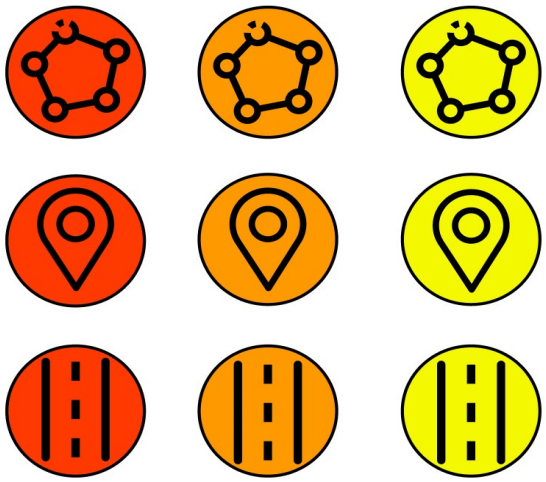


Figura 5.2: Ícones que representam o tipo de localização (da esquerda para a direita: área, ponto ou rua) sendo que as cores representam a duração da restrição (amarelo - curta duração; laranja-duração média; vermelho - longa duração)

.

1. Permanecer ou circular numa zona com restrição de acesso excedendo o tempo limite indicado na restrição.

2. Permanecer ou circular numa zona com restrição de acesso excedendo o número de veículos permitido.

3. Aceder a uma zona com restrição de acesso com um veículo classificado com uma classe euro inferior à permitida na restrição (quanto mais baixa a classe Euro do veículo, maior será a taxa).

5.2 Aplicação web

As funcionalidades da página web podem ser acedidas por qualquer utilizador web. Nesta página o utilizador (cidadãos em geral) pode consultar restrições e estatísticas sem estar autenticado no sistema. A Figura 5.3 apresenta a interface inicial de acesso a esta página.

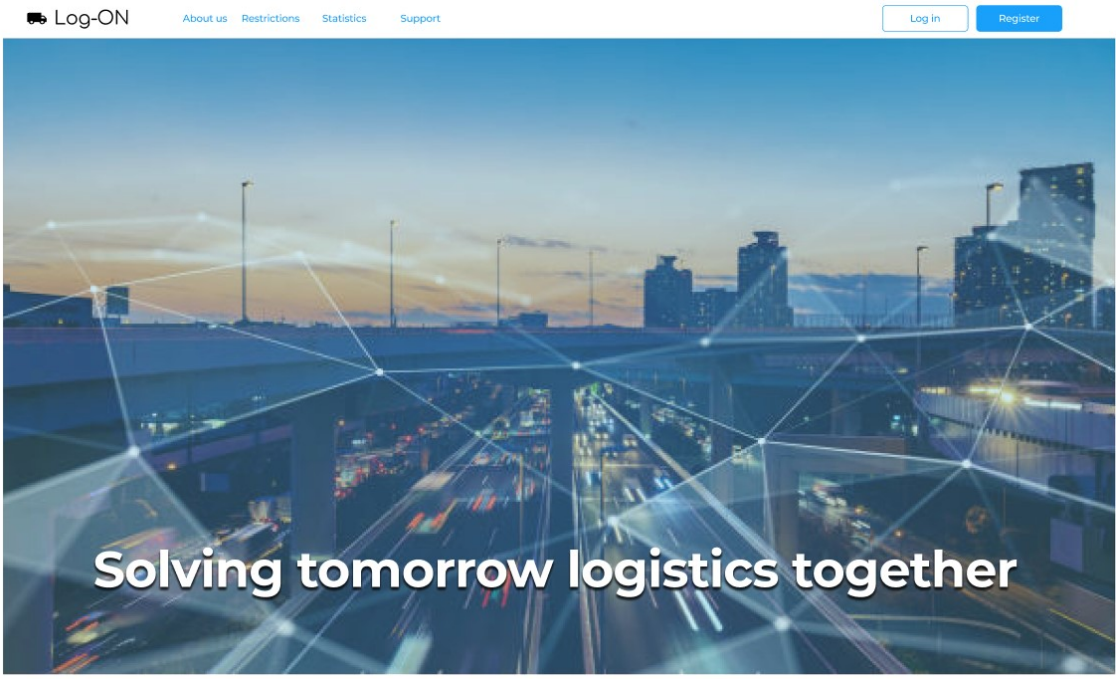


Figura 5.3: Página web inicial do sistema Log-ON.

Adicionalmente, os gestores do planeamento urbano e os gestores de frota, depois de autenticados, têm acesso a partir desta página a informação e funcionalidades direcionadas. Nesta interface (Figura 5.4) o utilizador pode não só iniciar a sessão como também efetuar um novo registo (para novos utilizadores).

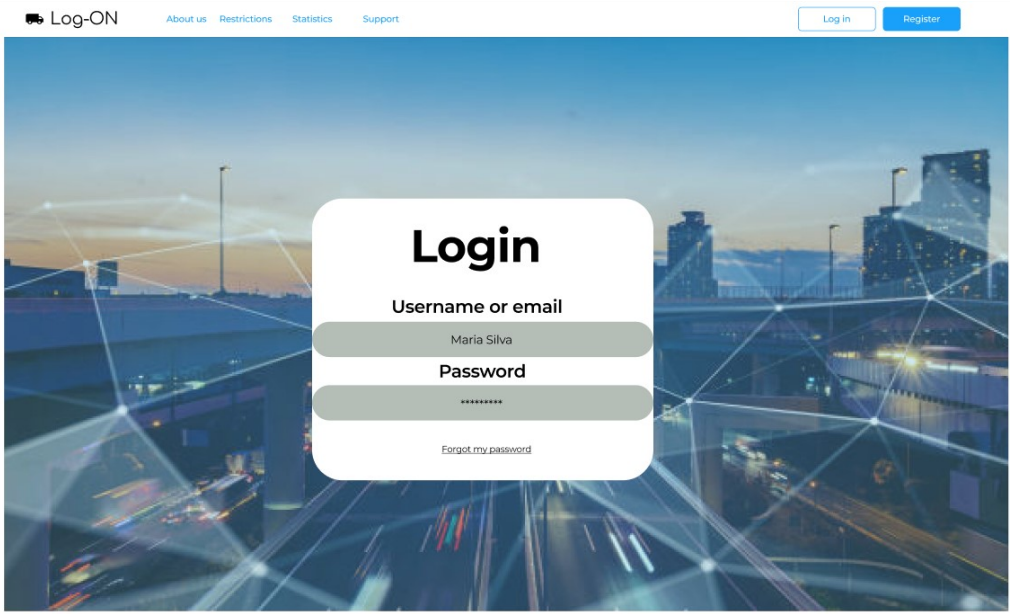


Figura 5.4: Login para acesso à página web do sistema Log-ON.

As interfaces destinadas às autoridades de regulação do espaço urbano, apresentam, após autenticação no sistema Log-ON, um mapa com os ícones actuais das restrições na sua respectiva localização (Figura 5.5). Nesta interface é possível pesquisar uma restrição, uma zona, localização/cidade, entre outros critérios. No canto superior direito é identificado o utilizador do sistema, não só com o seu nome, mas também com o ícone da entidade à qual pertence, e um botão que encaminha o utilizador para acesso às notificações do sistema.

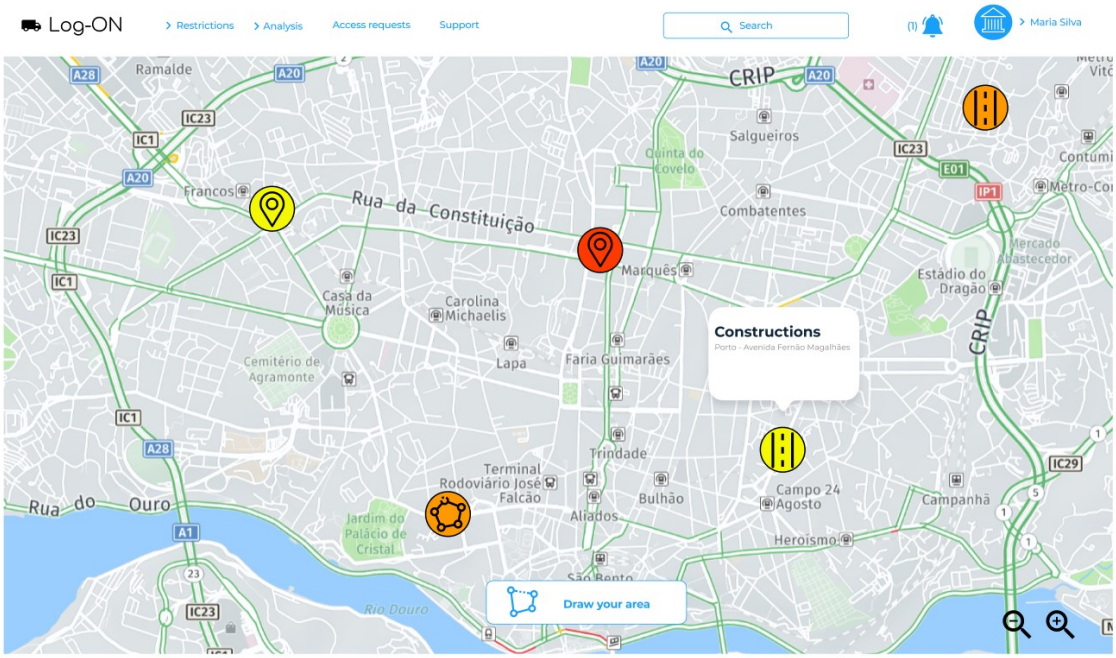


Figura 5.5: Pagina inicial do sistema Log-ON, direcionado às autoridades de regulação do espaço urbano (município).

Os menus do canto superior das interfaces destinadas às autoridades de regulação do espaço urbano (Figura 5.6), permitem aceder às seguintes opções:

- Criar, editar, eliminar ou visualizar um relatório das restrições de circulação activas, planeadas ou passadas.
- Consultar estatísticas relativas à qualidade do ar e do fluxo de veículos.
- Aceder aos pedidos de autorização.

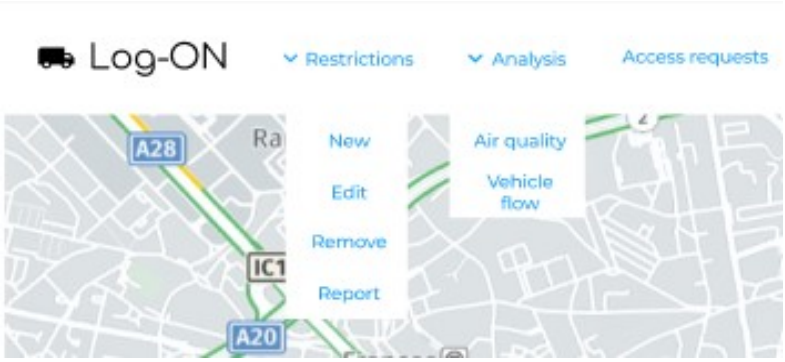


Figura 5.6: Opções para acesso aos menus de *Restrições*, *Estatísticas* e *Pedidos de acesso* da interface destinadas às autoridades de regulação do espaço urbano.

A Figura 5.7 é a primeira interface que aparece na interface das autoridades de regulação do espaço urbano, depois de seleccionar a opção *New*. O menu do lado esquerdo permite a alteração dos campos de forma a criar a restrição desejada. Inicialmente surge o menu *Type* que se refere à tipologia da restrição com a finalidade de identificar a restrição posteriormente. O utilizador pode optar por:

- Criar uma nova tipologia de restrição (através do botão *Create new type*), onde os restantes menus aparecerão por preencher e neste menu apenas deve escrever o nome da tipologia (Figura 5.8);
- Seleccionar uma tipologia já existente na lista *Restriction type*. Neste caso os campos já estarão pré-preenchidos. Neste caso, o utilizador pode optar por escrever um nome para o tipo de restrição, seleccionar um tipo existente e alterar alguns campos de acordo com o desejado.

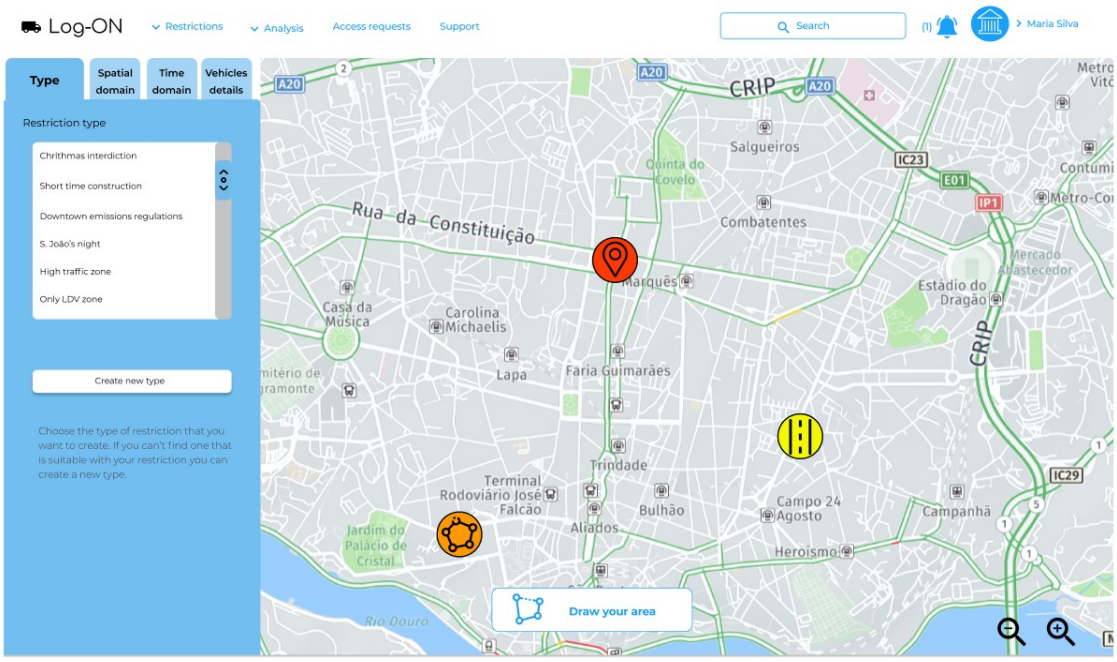


Figura 5.7: Interface para criação de uma nova restrição na aplicação das autoridades de regulação do espaço urbano.

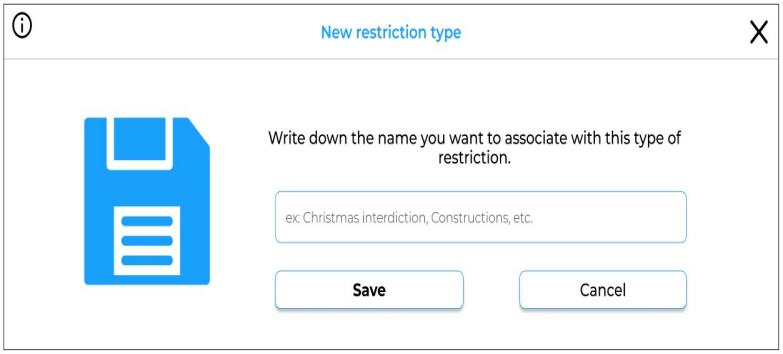


Figura 5.8: *Box* para criação de uma nova tipologia de restrição.

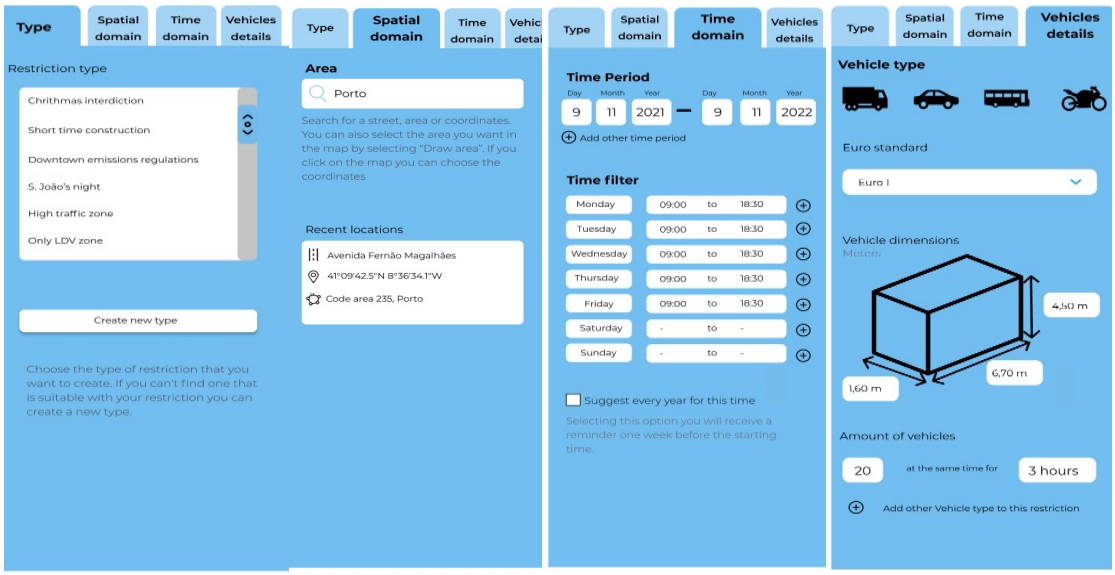
Nesta aplicação, em todas as interfaces com um mapa existe um botão na parte central inferior com a opção de desenhar uma área. Este botão, no caso da interface inicial pode ser usado para desenhar uma área do mapa para visualizar todas as restrições nesse local. No entanto, na criação de uma restrição, esta funcionalidade pode também ser usada para desenhar a área na qual será aplicada uma restrição. Os restantes menus da aplicação das autoridades de regulação do espaço urbano estão apresentados na 5.9.

No contexto espacial (Figura 5.9b), o utilizador pode associar uma ou mais áreas geográficas a uma restrição e pode fazê-lo selecionando: (i) directamente no mapa a área, local ou rua, (ii) utilizar a barra de pesquisa presente no menu para pesquisar ou, (iii) seleccionar uma localização

usada recentemente.

No contexto temporal (Figura 5.9c), optou-se pela seleção de um período de tempo, sendo possível selecionar mais que um, e um filtro para os dias da semana. Neste menu, acrescentou-se a funcionalidade de pedir ao sistema para sugerir esta restrição anualmente de forma a facilitar a gestão de restrições. Por último, é necessário definir quais os veículos afectados pela restrição (Figura 5.9d).

Apesar do Sistema Log-ON estar direcionado para veículos pesados de transporte de mercadorias, para efeitos de estatísticas e consulta do público geral decidiu-se que também serão considerados veículos ligeiros, autocarros e motas. O utilizador pode escolher um ou mais tipos de veículo e posteriormente indicar qual o limite de classe Euro que não será permitido aceder. Por exemplo, se o utilizador selecciona Euro 3, significa que os veículos com Euro 1, Euro 2, e Euro 3 são afectados pela restrição. Nesta parte da interface pode ser necessário definir as dimensões do veículo e definir a quantidade de veículos em simultâneo num determinado período de tempo. Estas funcionalidades estão definidas na Figura 5.9d.



(a) Tipologia / restrição (b) Domínio Espacial (c) Domínio temporal (d) Detalhes / veículos

Figura 5.9: Menu para criação de uma nova restrição na aplicação das autoridades de regulação do espaço urbano.

Após o preenchimento de todos os campos, o utilizador pode sair do menu da criação de uma nova restrição. Neste caso surge uma caixa (Figura 5.10) que questiona o utilizador se prende ou não guardar todas as alterações feitas no sistema.

No menu da restrições (Figura 5.6), o utilizador pode ainda editar, remover ou consultar o relatório de restrições. As interfaces para estas funcionalidades são idênticas sendo que foi desenhada o mock-up que apresenta a interface de edição de uma restrição (Figura 5.11). Nesta interface, o objectivo é utilizar os filtros no menu da esquerda de forma a que o utilizador consiga encontrar

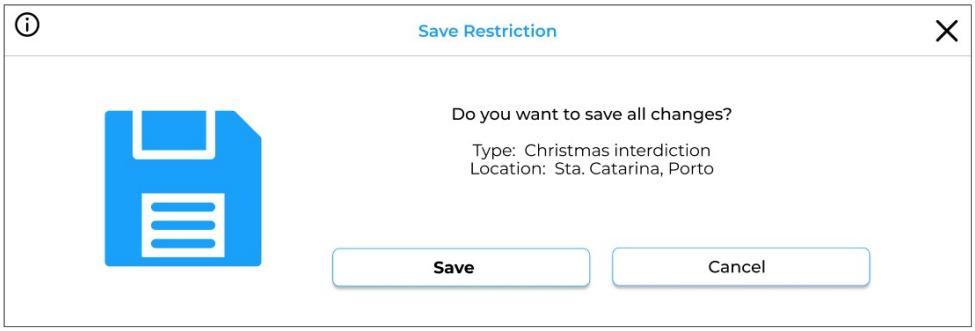


Figura 5.10: Interface que surge após o preenchimento dos campos da nova restrição, para garantir que o utilizador pretende guardar, ou não, as alterações realizadas.

a(s) restrição(ões) que pretende editar, remover ou visualizar. Note-se contudo que a única alteração que existe para as funcionalidades de remoção ou consulta é a designação e a descrição da restrição.

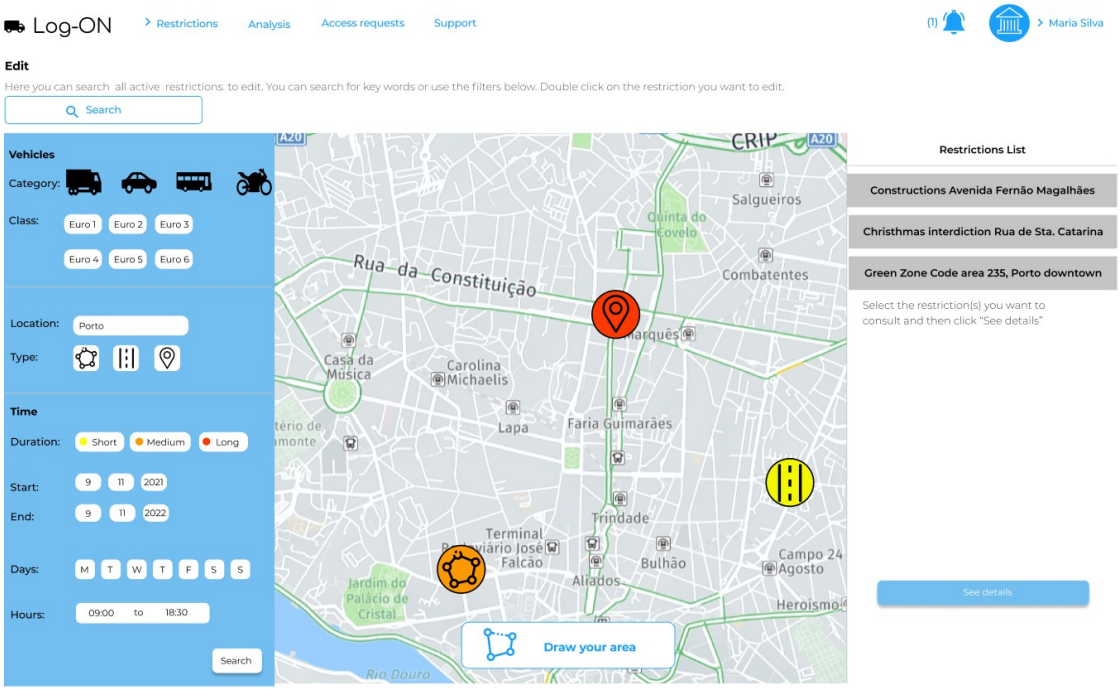


Figura 5.11: Interface para editar, consultar ou remover uma restrição disponível na aplicação das autoridades de regulação do espaço urbano.

Na aplicação da autoridade de regulação, para a consulta das estatísticas, o utilizador deve expandir o menu *Analysis*, localizado no canto superior esquerdo da interface, e optar por analisar as estatísticas de *Air quality* ou *Vehicle flow*.

A informação de qualidade do ar é apresentada na Figura 5.12. Nesta interface é disponibilizada o Índice de Qualidade do ar passado, em tempo real, e previsto. O verde claro indica que

os níveis de qualidade do ar são muito bons, enquanto que o vermelho escuro indicam que a qualidade do ar é má. A cada local está associado um nível de poluição (uma cor). Dependendo do período selecionado, o utilizador poderá consultar a respectiva informação para uma dada área ou ponto. O gráfico apresentado na interface mostra como é que a qualidade irá evoluir. O período de referência aqui considerado para a previsão da qualidade do ar foi de uma semana. Esta interface permite que o utilizador use o rato do computador para escolher o local no mapa, sendo que os dados representados à esquerda variam de acordo com o local selecionado. A título de exemplo, foram usados os dados disponibilizados no site da Breezo Meter num mapa de qualidade do ar em tempo real ([Air]) para demonstração do funcionamento do sistema.

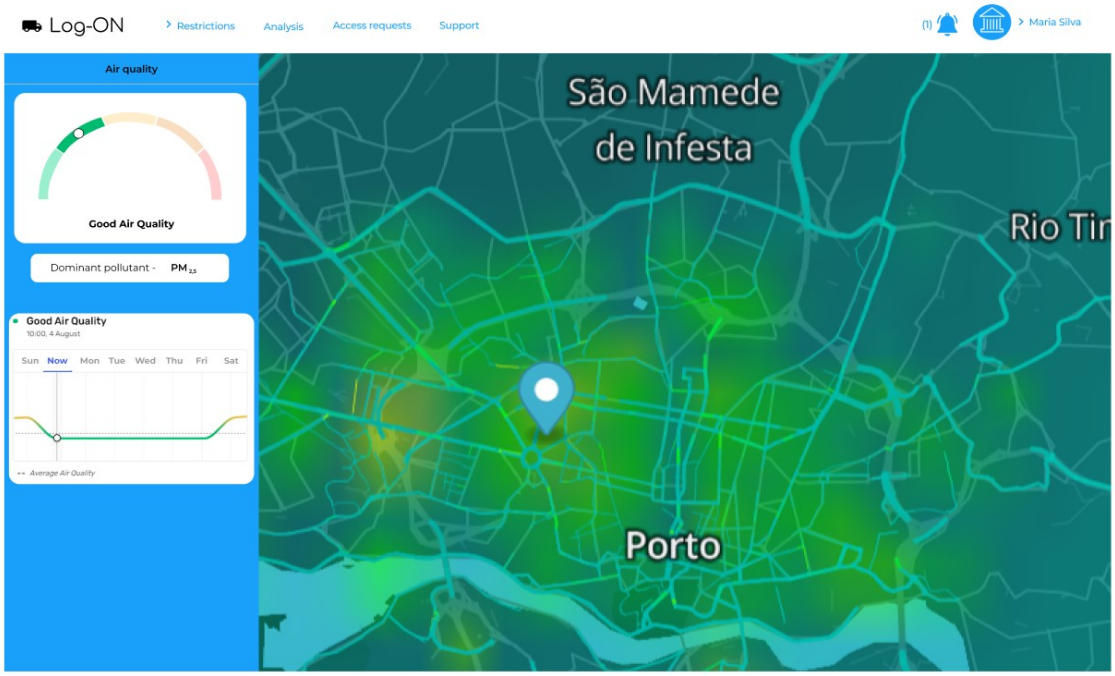


Figura 5.12: Interface de análise da qualidade do ar.

Na visualização das estatísticas relativas ao fluxo de veículos foi considerada a opção de escolher diferentes indicadores: (i) veículos que realmente circularam na zona restrita com autorização, (ii) veículos que cuja autorização foi rejeitada e o (iii) total de todos os pedidos que foram emitidos, independentemente da resposta. As estatísticas de fluxo de veículos mostram o número de veículos que circulou dentro da zona restrita, no período de tempo definido nos filtros. O utilizador pode seleccionar a categoria do veículo e a classe euro que pretende analisar. Na Figura 5.13. apresenta-se um exemplo da visualização das estatísticas. Neste exemplo, considerou-se a consulta às estatísticas de fluxo de veículos autorizados , sendo que apenas se pretende observar veículos da categoria de pesados de mercadorias, podendo pertencer a qualquer classe euro (ao ser selecionada a classe Euro 1, todas as que estão acima estão incluídas). Foi selecionada a zona do Porto e todos os tipos de localização (áreas restritas, ruas restritas ou localizações exatas com restrição). Em termos temporais, a situação analisada inclui restrições de longa, média e curta

duração, com data de início a 09/11/2021 e data final a 09/11/2022, todos os dias da semana entre as 09:00 e as 18:30. Após selecionados os filtros, surgem no mapa, diagramas de barras, sendo que o número de barras varia dependendo das classes euro selecionadas. Cada barra representa o número de veículos que circulou na área, rua ou localização com restrição de acesso dentro dos limites temporais selecionados.

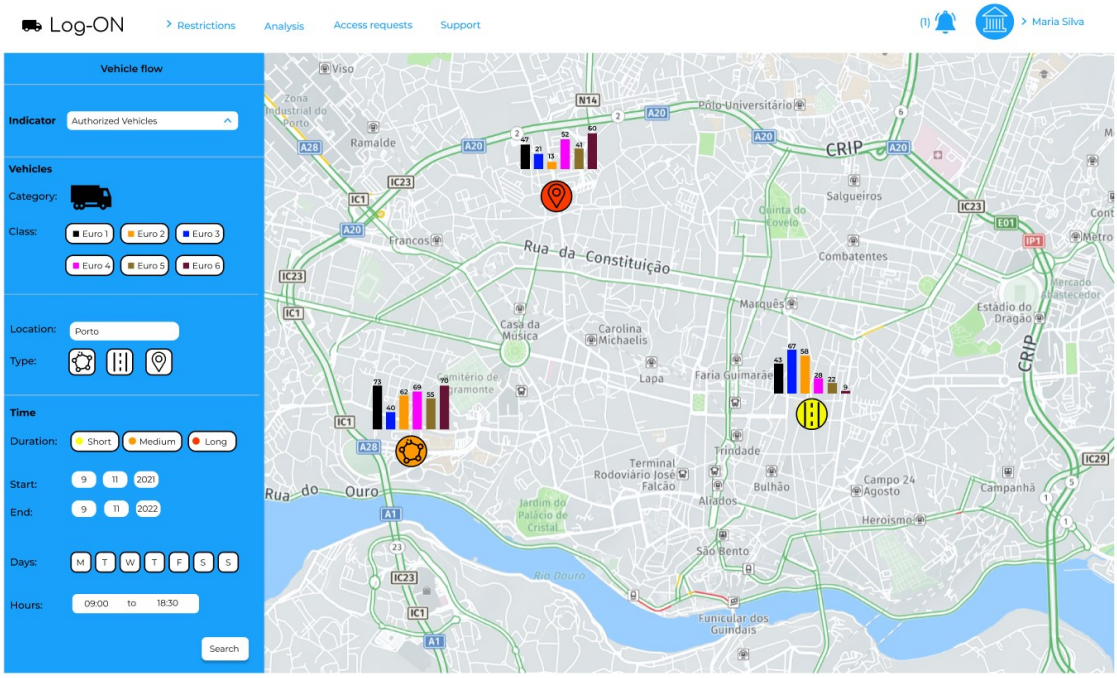


Figura 5.13: Interface de análise de fluxo de veículos da aplicação das autoridades de regulação.

A Gestão de Pedidos da parte das autoridades de regulação (municípios) é feita, maioritariamente, de forma automática, sendo que os utilizador do tipo operadores logísticos podem consultar os pedidos que foram aceites, rejeitados ou que se encontrem numa situação pendente que requer autorização manual (Figura 5.14). Na tabela apresentada nesta interface, é possível consultar os detalhes da restrição em questão carregando com o rato do computador no respectivo ícone de informação na coluna *Restriction*. O mesmo acontece para os pedidos pendentes, sendo que neste caso é apresentado o motivo pelo qual se encontra pendente.

As interfaces destinadas ao Gestor de Frota são idênticas às dos Municípios, apenas alterando o ícone do utilizador no canto superior direito e a ausência de algumas funcionalidades. O Gestor de Frota apenas tem acesso à consulta das restrições existentes (Figura 5.5), à pesquisa detalhada das restrições activas (interface similar à da Figura 5.11), e uma interface para consulta das autorizações dadas aos condutores pertencentes à sua empresa (Figura 5.16).

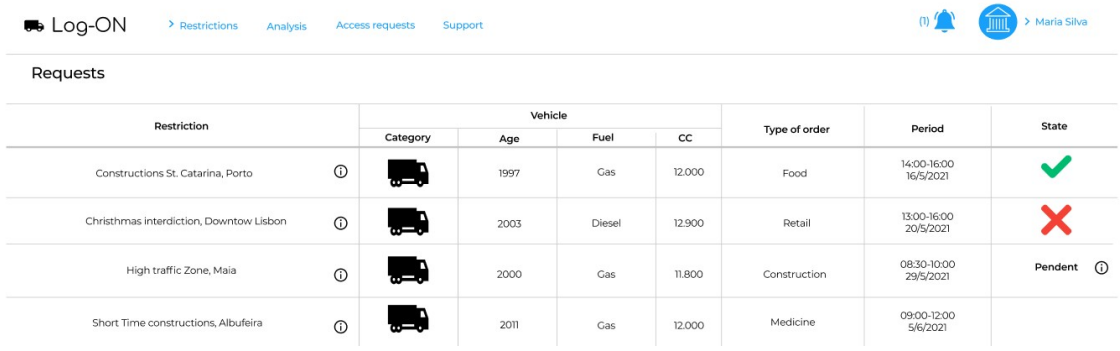


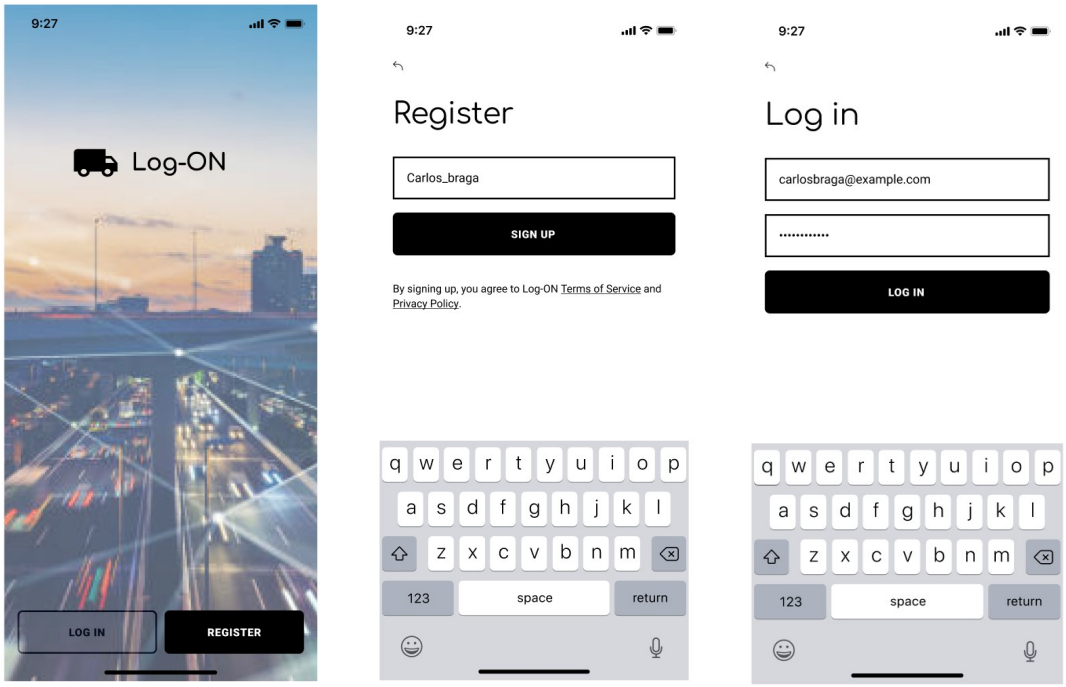
Figura 5.14: Interface de gestão de pedidos de autorização na aplicação das autoridades regulação.



Figura 5.15: Interface de gestão de pedidos de autorização dos Gestor de Frota.

5.3 Aplicação móvel

A aplicação móvel destina-se a dois tipos de *stakeholders* do sistema, os condutores dos veículos e as autoridades rodoviárias. De igual modo à aplicação web, ambos os utilizadores têm acesso a funcionalidades diferentes sendo necessário o uso de credenciais para iniciar sessão. Na Figura 5.16 estão representadas as três interfaces iniciais da aplicação móvel comum a estes dois *stakeholders*: à esquerda a aplicação sem nenhuma sessão iniciada (5.16a), no meio a interface que permite que utilizador se registe no sistema (5.16b) e à direita a interface onde o utilizador insere as suas credenciais para aceder aos seus dados (5.16c).

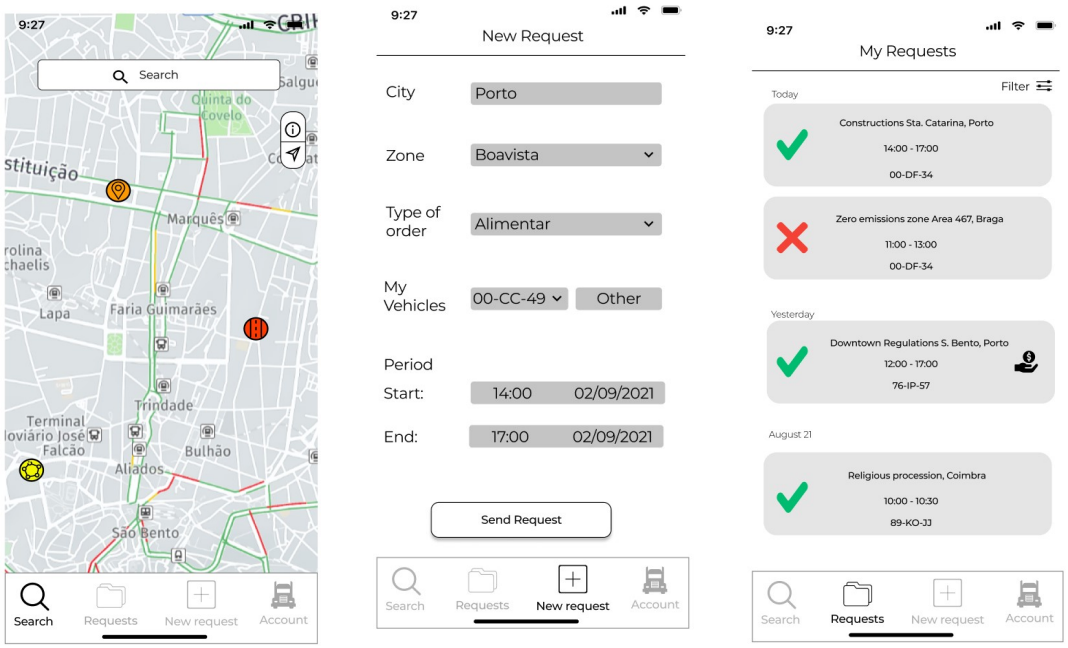


(a) Interface inicial (b) Registo (c) Login

Figura 5.16: Interfaces de inicio de sessão para os condutores e as autoridades na aplicação móvel do sistema Log-ON

A Figura 5.17a surge quando um condutor de um veículo inicia sessão na aplicação. Nesta interface o utilizador pode fazer uma pesquisa no mapa de forma a consultar as restrições activas no momento. O botão de informação no canto superior direito permite alterar a visualização do mapa (modo satélite ou modo mapa), sendo que o botão abaixo serve para indicar a posição actual do condutor. Tendo em conta o feedback obtido pelo operador logístico consultado para desenvolvimento deste trabalho, decidiu-se que seria da responsabilidade do condutor efetuar os pedidos de acesso às zonas com restrição. Desta forma, este pode selecionar a opção *New Request* sendo direcionado para a interface apresentada na Figura 5.17b. O condutor deve preencher os campos de acordo com as suas necessidades e carregar no botão *Send Request*. Se o pedido efetuado tiver uma taxa associada, então essa informação surgirá de modo a que o condutor possa ver o valor da taxa por hora associado ao pedido que submeteu (Figura 5.18), e escolha se pretende ou não finalizar o pedido (aceitando o pagamento da taxa) ou cancelar e efetuar alterações.

Para o utilizador consultar o seu histórico de pedidos basta selecionar *Requests* na barra de opções e será direcionado para a interface da figura 5.17c. Aqui, o condutor tem acesso a todos os pedidos efetuados com a opção de filtrar (botão no canto superior esquerdo) os pedidos que pretende consultar.



(a) Interface inicial direcionada ao condutor

(b) Interface para realização de um pedido de acesso a uma zona com restrição

(c) Interface de consulta dos pedidos efetuados pelo utilizador

Figura 5.17: Interfaces da aplicação móvel direcionadas ao condutor do veículo.

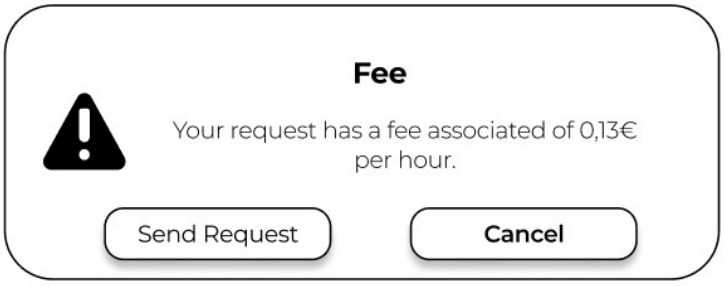


Figura 5.18: Cobrança de taxa associada a um pedido efetuado disponível na aplicação móvel.

No caso das autoridades de fiscalização rodoviária, estas, quando iniciam sessão na aplicação móvel surge a interface apresentada na Figura 5.19. As autoridades rodoviárias tem acesso à: (i) consulta de restrições activas no momento, (ii) verificação se um dado veículo tem autorização para circular na localização actual do mesmo, através da inserção da matrícula de um dado veículo, (iii) e reportar uma situação de um veículo em situação irregular.

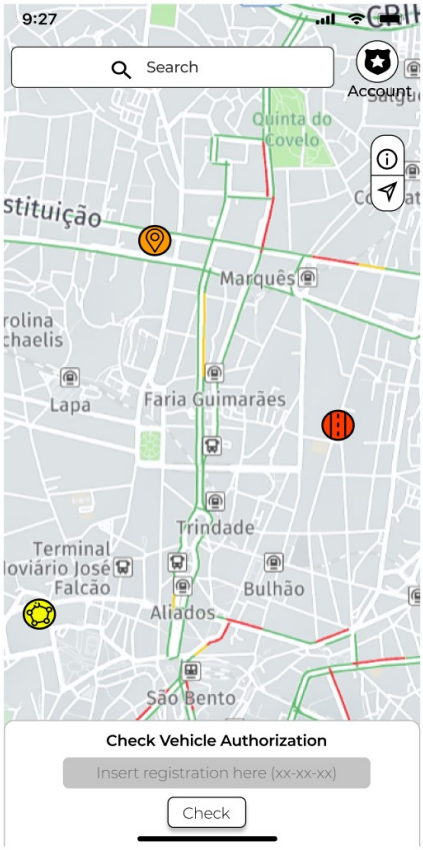


Figura 5.19: Interface de gestão de pedidos de autorização.

Capítulo 6

Conclusões e trabalho futuro

6.1 Conclusões

O trabalho desenvolvido focou-se na criação de interfaces de um sistema de informação dinâmico para auxilio das autoridades de regulação da mobilidade urbana na gestão de restrições de circulação: o sistema Log-ON. O sistema proposto permite flexibilizar a definição de medidas de restrição para a circulação de veículos, e actuar como sistema de apoio à decisão para definição dessas medidas. O trabalho centrou-se essencialmente na gestão das restrições dos veículos pesados de mercadorias em meios urbanos.

De forma a alcançar os objetivos propostos, foi definida uma metodologia simples e flexível, que permitisse alcançar os objetivos delineados. Assim, foi efetuada uma revisão da literatura sobre o problema em estudo, designadamente suportada pelo estudo de projetos de investigação europeus como o projeto Novelog, e realizadas reuniões semanais com especialistas na área dos transportes. Adicionalmente foram ainda consultados gestores de frota de uma empresa de transportes pesados de mercadorias. Esta abordagem permitiu identificar numa primeira etapa as necessidades dos *stakeholders* com o intuito de perceber quais as informações e funcionalidades que seriam úteis num sistema destes, para posteriormente se proceder à identificação, definição e especificação os requisitos do sistema.

Foram identificados dezasseis requisitos, que foram organizados em cinco grupos de funcionalidades de execução, que atuam em simultâneo, designadamente: (i) Obtenção de dados, pré-processamento e armazenamento de dados, (ii) Gestão de restrições, (iii) Gestão de pedidos, (iv) Monitorização e Avaliação, e (v) Visualização. Todas as funcionalidades do sistema são suportadas pela informação existente na base de dados do sistema. Adicionalmente, considerou-se que o fluxo de dados do sistema é composto por cinco componentes distintas: (a) Fontes de dados, (b) Área de retenção, (c) Armazenamento, (d) Processadores, e (e) Ferramentas de Front-end.

Numa segunda etapa foi definida a arquitectura do sistema e desenvolvidos as interfaces do sistema proposto usando-se a ferramenta Figma. Esta ferramenta revelou ser robusta e de uso intuitivo, facilitando assim o manuseamento de todas os componentes desenhadas.

O sistema foi desenhado considerando quatro grupos de *stakeholders*: público geral (cidadão comum), autoridades de regulação (municípios), operadores logísticos (gestores de frota e condutores), e autoridades de fiscalização de tráfego (polícia). Tendo em conta os requisitos identificados, foram desenhadas duas aplicações: uma aplicação web e uma aplicação móvel, com interfaces dirigidas para cada tipo de *stakeholders*. A aplicação web destinada ao cidadão comum, às autoridades de regulação (municípios) e aos gestores de frota dos operadores logísticos, e a aplicação móvel destinada aos condutores dos veículos e às autoridades de fiscalização rodoviária. Para ambas as aplicações, foram definidos um conjunto de conceitos do sistema e ícones comuns.

Com a implementação de um sistema deste tipo, espera-se que existam vários tipos de impactos. No caso de uma cidade optar pelo uso do sistema, é necessário ter em conta que o uso das aplicações seriam de caráter obrigatório para as empresas que possuíssem operações no centro urbano em causa, o que pode constituir um obstáculo. Considerando a situação ideal, em que todos os *stakeholders* diretos (Autoridades de regulação, Autoridades de fiscalização rodoviária, e Operados logísticos) aceitam a utilização do sistema, surgirão igualmente consequências, tanto de carácter positivo como também negativo para todas as partes envolvidas. Espera-se que os principais impactos positivos do sistema sejam:

- Melhoria do acesso à informação das restrições de circulação: os condutores de veiculos (seja um cidadão comum como condutores dos veículos das transportadoras) passarão a ter uma fonte de informação das restrições ativas sendo que atualmente, na maioria dos casos apenas há conhecimento da existência de uma restrição no momento de chegada ao local.

- Melhoria da gestão do tráfego: As autoridades de regulação conseguirão gerir o tráfego de modo a reduzir o congestionamento e as emissões de poluentes.

- Melhoria da qualidade de vida: O tráfego rodoviário nos centros urbanos será melhor controlado o que proporciona o bem-estar da população em termos mobilidade, ruído e qualidade do ar.

- Incentivo aos consumidores para uso das lojas tradicionais em detrimento das compras online: os operadores logísticos terão que pagar taxas e por vezes a distância percorrida poderá aumentar com a alteração de rotas, o que incrementa os custos de energia e pessoal. Todos estes custos irão refletir-se no consumidor final. Assim, aumentando os custos das compras online existirá um incentivo para o consumo nas lojas fisícas.

Porém, poderão surgir alguns impactos negativos do sistema, nomeadamente:

- Aumento dos custos dos operadores logísticos e, consequentemente dos custos do consumidor final: estes aumentos, poderão resultar da cobrança de taxas e extensão das rotas. Espera-se que estes custos se reflitam directamente no aumento dos preços de transporte cobrados ao consumidor final.

- Aumento dos atrasos das entregas ao consumidor final: esta situação poderá ocorrer em situações em que o condutor se depare com uma restrição para a qual não obteve autorização, ou que tenha que alterar a sua rota por optar não pagar a taxa associada.

Está a ser preparado um artigo com o trabalho desenvolvido nesta dissertação que será submetido à conferência EAI INTSYS 2021 - 5th EAI International Conference on Intelligent Transport Systems e que ocorrerá de 24 a 26 de Novembro de 2021 em Portugal (https://futuretransport.eai-conferences.org/2021/).

6.2 Trabalho futuro

O trabalho desenvolvido nesta dissertação incluiu a parte inicial do desenvolvimento de um projeto, a fase de conceptualização, bem como o desenho dos mockups das interfaces. Estas fases constituem uma das partes mais importante para o sucesso de um projeto pois é nestas fases que se decide e define como funcionará todo o sistema. Porém, após estas fases iniciais seguem-se um outro conjunto de actividades. Assim, como trabalho futuro podem ser identificados três actividades principais:

- Validação da usabilidade do sistema: Necessidade de validar a usabilidade do sistema desenvolvido com os *stakeholders* de forma a garantir que os requisitos identificados estão de acordo com as necessidades das partes envolvidas;

- Desenvolvimento do sistema: Após uma validação e eventuais ajustamentos nos requisitos e consequentemente no desenho das interfaces é necessário o desenvolvimento do sistema em si;

- Implementação do sistema: O sistema deve ser previamente usado numa área piloto para avaliação do seu desempenho.

Bibliografia

[Air] Air quality. https://www.breezometer.com/air-quality-map/air-quality/portugal/porto. 16/08/2021.

[Bol20] Boletín oficial del ayuntamiento de madrid. page 4. Sede electrónica del Ayuntamiento de Madrid, 2020.

[CH15] Xavier Querol Claire Holman, Roy Harrison. Review of the efficacy of low emission zones to improve urban air quality in european cities. *Atmospheric Environment*, 111:161–169, 2015.

[CS16] P Cheung and U Sengupta. Analysis of journey planner apps and best practice features. 2016.

[dOdSN$^+$] Leise Kelli de Oliveira, Luísa Tavares Muzzi de Sousa, Carla de Oliveira Leite Nascimento, Thaiza Gabrielle Costa, Silva Paulo Henrique Goes Pinto, Mateus Nogueira Garcia, Renata Moura Pereira, Lais Pugas Farias, Suellem Ferreira, Renata Lúcia Magalhães de Oliveira, et al. Os problemas e as soluÇÕes do transporte urbano de mercadorias em cidades mineiras sob a ótica dos varejistas.

[EEA] National emission reduction commitments directive reporting status 2020 — european environment agency. https://www.eea.europa.eu/publications/national-emission-reduction-commitments-directive. 25/03/2021.

[EEA21] European environment agency. https://www.eea.europa.eu/themes/air/urban-air-quality, 2021. 01/02/2021.

[EP18] Melissa Eddy Elisabetta Povoledo, Benoît Morenner. Survivor trees and memorial groves: Vegetal commemoration of victims of terrorism in europe and the united states. *Political Geography*, 64:63–72, 2018.

[Eur] Euro 1 to euro 6 – find out your vehicle's emissions standard | rac drive. https://www.rac.co.uk/drive/advice/emissions/euro-emissions-standards/. 06/02/2020.

[Eur11] Comissão Das Comunidades Europeias. Livro branco. *Roteiro do espaço Único europeu dos transportes - Rumo a um sistema de transportes competitivo e económico em recursos COM (2011)*, 144, 2011.

[Fig] What is figma. https://webdesign.tutsplus.com/articles/what-is-figma–cms-32272. 26/11/2018.

[HC17] Roel Heijlen and Joep Crompvoets. Clean data for cleaner air? case study research about data streams concerning low-emission zones and car-free zones. In *Proceedings of the 3rd Annual International Conference Data for Policy*, 2017.

[KBK+20] Donggyun Kua, Madiha Bencekria, Jooyoung Kimb, Shinhae Leec, and Seungjae Leed. Review of european low emission zone policy. *CHEMICAL ENGINEERING*, 78, 2020.

[Led08] Guillaume Leduc. Road traffic data: Collection methods and applications. *Working Papers on Energy, Transport and Climate Change*, 1(55):1–55, 2008.

[LEZ] What are low emission zones? URL: `https://urbanaccessregulations.eu/low-emission-zones-main/what-are-low-emission-zones`.

[LSM18] George Henriques de Souza Marcelo Fernandes de Souza Odilon Carreiro de Almeida Neto Vladyr Yuri Soares de Lima Cavalcanti Leonardo Silveira Melo, Fábio de Andrade Barroso. Gases poluentes derivados de veículos automotores no parque solon de lucena. *Revista Campo do Saber*, 4(4), 2018.

[Mar21] Shushanik Margaryan. Low emission zones and population health. *Journal of Health Economics*, 76, 2021.

[Mat20] Maria Matusiewicz. Sulp (sustainable urban logistics plan) as a tool for shaping sustainable urban logistics: a review of european projects supporting the creation of sulp. *Transport Economics and Logistics*, 84:71–78, 2020.

[NoEAD19] United Nations, Department of Economic, Social Affairs, and Population Division. *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*. 2019. `doi:10.18356/b9e995fe-en`.

[PPSD20] Eleonora Pantano, Gabriele Pizzi, Daniele Scarpi, and Charles Dennis. Competing during a pandemic retailers' ups and downs during the covid-19 outbreak. *Journal of Business Research*, 116:209–213, 2020.

[RC20] Francesco Russo and Antonio Comi. Investigating the effects of city logistics measures on the economy of the city. *Sustainability*, 12(4):1439, 2020.

[SB16] David Dajnak Gregor Stewart Martin Williams Julia C Fussell Frank Kelly Sean Beevers, David Carslaw. Traffic management strategies for emissions reduction: recent experience in london. *Energy and emission control technologies*, 4:27–39, 2016.

[Sha17] Ravi Sharma. How google maps gets its remarkably accurate real-time traffic data, 2017. URL: https://gadgets.ndtv.com/apps/features/how-google-maps-gets-its-remarkably-accurate-real-time-traffic-data-1

[SUL] Planning sustainable urban logistics. https://www.eltis.org/resources/tools/planning-sustainable-urban-logistics. 09/02/2018.

[TWJ19] Fitri Trapsilawati, Titis Wijayanto, and Eggie Septiawan Jourdy. Human-computer trust in navigation systems: Google maps vs waze. *Communications in Science and Technology*, 4(1):38–43, 2019.

Anexo A

A.1 Especificação de requisitos

Tabela A.1: FR1.1 - Introdução de dados no sistema.

FR1.1	Introdução de dados no sistema
objetivo	O sistema deve permitir que os utilizadores insiram os dados manualmente
Input	Dados relevantes para o funcionamento do sistema
Operação	O sistema deve: • Permitir aceder à base de dados; • Permitir guardar a informação inserida no sistema;
Output	Introdução, na base de dados, dos dados necessários para o funcionamento do sistema

Tabela A.2: FR1.2 - Information retrieval.

FR1.2	Information retrievel
objetivo	O sistema deve ser capaz de armazenar documentos com informação e dados relevante para o funcionamento do sistema e permitir que os seus utilizadores através de um motor de buscar possam recuperar e pesquisar informação existente na base de dados. No caso desta não existir, o sistema deve pesquisar na *World Wide Web* os dados ou informação em questão.
Input	Pesquisa de dados ou informação
Operação	O sistema deve: • Permitir que o utilizador introduza uma *query* no sistema; • Permitir ceder à base de dados do sistema; • Caso exista na base de dados, apresentar a localização dos dados ou informação pesquisados; • Caso não exista, o sistema deve ser capaz de pesquisar na internet, (p.ex. Google), e apresentar a localização da informação ou dados relevante extraídos através de API's, ou de técnicas de *webscrapping*
Output	Localização da informação pesquisada.

Tabela A.3: FR1.3 - Identificação de dados inválidos.

FR1.3	Identificação de dados inválidos
objetivo	O sistema tem que ser capaz de avaliar a qualidade dos dados existentes no sistema, verificando se os dados foram inseridos correctamente no sistema e se não há falhas de informação. .
Input	Introdução de novos dados no sistema
Operação	O sistema deve: • Permitir aceder à base de dados do sistema; • Analisar os dados introduzidos na base de dados; • Identificar registos de dados incompletos, inconsistentes e/ou *outliers*; • Proceder ao tratamento dos dados incompletos e/ou inconsistentes, conforme o formato e tipologia dos dados; • Padronizar os dados existentes no sistema, caso seja necessário; • Eliminar dados incompletos, caso não seja possível proceder ao seu tratamento; • Alertar os utilizadores responsáveis pela introdução de dados incompletos e/ou inconsistentes na base de dados do sistema.
Output	Base de dados do sistema composta por dados completos e consistentes. No caso de ser detectada a existência de dados incompletos e/ou inconsistentes, alertar os respectivos utilizadores.

Tabela A.4: FR1.4 - Pesquisa de informação

FR1.4	Pesquisa de informação
objetivo	O sistema tem que permitir a pesquisa de informação na base de dados do sistema ou seja consulta de restrições e pedidos de autorização. Consulta do estado de uma autorização ou seja saber se um veiculo esta ou não autorizado a circular na zona
Input	Base de dados
Operação	O sistema deve: • Consultar as restrições de circulação activas para uma dada zona e período de tempo; • Permitir consultar das restrições de circulação por tipologia; • Consultar das restrições de circulação por classe de veículo. • Mostrar pedidos efectuados para um dado operador logístico • Mostrar pedidos de autorização concedidos para uma dada zona, janela temporal e/ou veículo • Mostrar pedidos de autorização não concedidos para uma dada zona, janela temporal e/ou veículo • Permitir consultar uma autorização de entrada de um veículo num determinado momento de tempo usando a matricula do veículo • Mostrar o estado da autorização (autorizado; não autorizado, sem pedido efectuado)
Output	Lista de restrições activas tendo em conta um dado critério de pesquisa; Lista de pedidos; estado de autorização

Tabela A.5: FR2.1 - Definição e gestão de zonas de circulação de veículos.

FR2.1	Definição e gestão de zonas de circulação de veículos
objetivo	O sistema tem que ser capaz de permitir a criação de zonas de restrição da circulação de operadores logísticos com base no nome da rua, usando coordenadas, ou desenhando num mapa a zona desejada;
Input	Dados referentes às vias de tráfego
Operação	O sistema deve: • Permitir a criação de uma zona de restrição de circulação; • Permitir a selecção da zona no mapa ou via motor de busca do nome de uma rua ou coordenadas; • Guardar na base de dados do sistema a zona criada com um nome dado pelo utilizador.
Output	Zona de restrição de circulação

Tabela A.6: FR2.2. - Definição e gestão de cenários a aplicar em restrições de circulação.

FR2.2.	Definição e gestão de cenários a aplicar em restrições de circulação
objetivo	Criar tipologias de restrições de modo a facilitar a criação de novas restrições
Input	Dados referentes às tipologias de restrições
Operação	O sistema deve: • Permitir a criação de uma nova tipologia de restrição;
Output	Lista de tipologias distintas guardadas na base de dados do sistema e disponíveis para posterior utilização

Tabela A.7: FR2.3. - Classificação de veículos de distribuição logística a considerar em restrições de circulação.

FR2.3.	Classificação de veículos de distribuição logística a considerar em restrições de circulação
objetivo	Criar e ordenar um conjunto de classes de veículos
Input	Lista classes de veículos
Operação	O sistema deve: • Criar classes de veículos (ex: Euro 1, Euro 2) em função de um dado critério (ex. nível de emissão de PM2.5); • Agrupar veículos por classes (informação que será apresentada na restrição de circulação ao operador logístico); • Ordenar as classes de veículos para hierarquização dos tipos de veículos preferenciais para circulação numa zona com restrições de circulação (informação que será apresentada na restrição de circulação ao operador logístico).
Output	Lista das classes de veículos ordenadas para uma dada restrição

Tabela A.8: FR2.4. - Definição e gestão de regras de restrições de circulação, considerando zonas de circulação, cenários e classes de veículos.

FR2.4	Definição e gestão de regras de restrições de circulação, considerando zonas de circulação, cenários e classes de veículos
objetivo	O sistema deve ser capaz de, aquando da criação de uma nova restrição, permitir a criação de uma nova tipologia de restrição de circulação de veículos. Permitir a alteração ou eliminação de uma regra já existente
Input	Dados relativos às tipologias
Operação	O sistema deve: • Permitir associar a uma zona detalhes sobre a restrição a ela associada nomeadamente janelas de tempo (output do FR3.2) e hierarquias dos tipos de veículos a circular nessa zona (output do FR3.3); • Permitir seleccionar uma data restrição de circulação e mostrar a informação disponível sobre a mesma; • Permitir alterar os conteúdos da restrição de circulação seleccionada; • Consultar restrições de circulação activas no momento da consulta ao sistema; • Seleccionar uma ou um conjunto de restrições de circulação; • Eliminar da base de dados do sistema as restrições seleccionadas.
Output	Restrição para limitação da circulação de veículos numa dada zona e período de tempo

Tabela A.9: FR2.5. - Geração de relatórios de restrições de circulação

FR2.5.	Geração de relatórios de restrições de circulação
objetivo	O sistema tem que ser capaz de criar um histórico de restrições
Input	Base de dados com restrições
Operação	O sistema deve: • Identificar restrições de circulação terminadas registadas no sistema; • Criar um documento com as restrições terminadas por tipologia de restrição, zona, período, e/ou classe de veículo; • Permitir a consulta do documento criado.
Output	Documento com dados de restrições anteriores

Tabela A.10: FR3.1.- Submissão de pedidos de acesso a um ou mais zonas com restrições de circulação

FR3.1.	Submissão de pedidos de acesso a um ou mais zonas com restrições de circulação
objetivo	Permitir que o gestor de frota faça um pedido para entrar numa zona com restrições
Input	Dados das zonas restritas, dados do veiculo para o qual será o pedido de autorização
Operação	O sistema deve: • Permitir que um gestor de frota seleccione uma zona de restrição de circulação onde pretende entrar numa determinada janela de tempo; • Permitir que um gestor de frota envie um pedido de entrada na zona e período de tempo previamente especificados; • Guardar o pedido na base de dados do sistema.
Output	Pedido de autorização de entrada de um determinado veículo numa determinada zona com restrição de circulação especificando os dados do veículo (matrícula), período de utilização (dia e hora de início e fim), e zona em causa (nome da zona)

Tabela A.11: FR3.2.- Avaliação e notificação de pedidos de acesso

FR3.2.	Avaliação e notificação de pedidos de acesso
objetivo	Os operadores logísticos do município devem receber no sistema um pedido de autorização para circular numa dada zona com restrição de circulação. Deve ser feita uma avaliação ao pedido e posteriormente este ser aprovado ou rejeitado. Essa resposta deve ser enviada para o gestor de frota
Input	Pedido de autorização de entrada de um determinado veículo numa determinada zona com restrição de circulação especificando os dados do veículo (matrícula), período de utilização (dia e hora de início e fim), e zona em causa (nome da zona) ; Dados das restrições (tipologia da restrição, classes de veículo, janelas temporais), do veículo que fez o pedido (matrícula), e das características do pedido (zona e janela de tempo para acesso a zona)
Operação	O sistema deve: • Registar o pedido na base de dados do sistema; • Emitir um alerta de chegada de um novo pedido de autorização; • Verificar as condições da restrição e verificar se o veículo que fez o pedido pode aceder à zona na janela de tempo solicitada; • Conceder autorização de forma automática caso se trate de veículos com baixo impacto ao nível da restrição em vigor; • Notificar o município para que finalize a autorização caso se trate de um veículo com alto impacto ao nível da restrição em vigor. • Notificar o gestor de frota que fez o pedido com a resposta emitida pelo município
Output	Resposta ao pedido de entrada numa zona com restrição de circulação (autorização ou não autorização)

Tabela A.12: FR4.1. - Cálculo de estatísticas espaço-temporais do ambiente urbano

FR4.1.	Cálculo de estatísticas espaço-temporais do ambiente urbano
objetivo	Identificar quantidade de veículos e respectivos tempos de circulação dentro deu ma zona com restrição de circulação; Identificar zonas de maior circulação de veículos de distribuição logística; Identificar zonas onde os dados da qualidade do ar possam ser mais críticos e portanto que haja uma maior necessidade de criação de restrições
Input	Dados referentes à localização dos veículos; lista das zonas restritas, lista dos veículos que obtiveram autorização para circular numa zona e respectivo histórico de localizações; dados referentes a qualidade do ar
Operação	O sistema deve: • Aceder a lista de veículos com autorização para circular numa determinada zona com restrição de circulação; • Com um intervalo de 15 minutos, obter a localização GPS destes veículos; • Identificar zonas onde houve mais pedidos de circulação • Permitir identificar zonas com dados relativos à qualidade do ar mais críticos; • Permitir consultar dados da localização dos veículos existentes no sistema; • Calcular o tempo de circulação dos mesmos numa dada zona com restrição de circulação de veículos; • Calcular o número médio de veículos e o tempo médio que estes circulam numa determinada zona e janela temporal, por classe de veículo.
Output	Mapas e gráfico com os fluxos dos veículos tendo em conta um dado conjunto de critérios (ex: tipologia da restrição, classe de veículo, zona, janela temporal); Zonas com dados de qualidade dor ar mais críticos ; Estatísticas espaço-temporais tendo em conta um conjunto de critérios (ex:zona, janela temporal, tipologia das restrições, classe de veículos)

Tabela A.13: FR4.2. - Aprendizagem automática de regras de restrição de circulação.

FR4.2.	Aprendizagem automática de regras de restrição de circulação
objetivo	O sistema deve ser capaz de sugerir restrição de circulação de veículos , com base num conjunto de regras previamente apreendidas de forma automática
Input	Restrições
Operação	O sistema deve: • Ser capaz de avaliar o impacto passado de restrições de circulação de veículos; • Ser capaz de identificar eventuais repetições de restrições tendo em conta datas ou dados de emissões.
Output	Aprendizagem

Tabela A.14: FR4.3. - Alerta de irregularidades

FR4.3.	Alerta de irregularidades
objetivo	Notificar os utilizadores na eventualidade de uma irregularidade
Input	O sistema não ser capaz de autorizar ou rejeitar um pedido por falta de informação ou haver uma alteração (pico ou depressão) nos dados estatísticos
Operação	O sistema deve: • Notificar o utilizador quando identificar uma irregularidade nos dados estatísticos; • Notificar o utilizador quando um pedido estiver pendente de resposta;
Output	Irregularidades notificadas

Tabela A.15: FR4.4. - Recomendação de restrições de circulação.

FR4.4.	Recomendação de restrições de circulação
objetivo	O sistema tem que ser capaz de sugerir ao operador logístico do município restrições de circulação
Input	Aprendizagem continua
Operação	O sistema deve: • Sugerir restrições de circulação notificando o município de acordo com a análise feita com a aprendizagem;
Output	Sugestão de restrições

Tabela A.16: FR5.1. - Visualização de dados do sistema

FR5.1.	Visualização de dados do sistema
objetivo	Apresentar os dados do sistema através de interfaces
Input	Dados existentes na base de dados do sistema
Operação	O sistema deve: • Disponibilizar a informação necessária nas interfaces destinadas.
Output	Visualização de dados e interacção com os mesmos