



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Civil



Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

PEDRO MIGUEL LOURENÇO FARINHA

Licenciado em Engenharia Civil

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Área de Especialização de Vias de Comunicação e Transportes

Orientador:

Mestre Paulo José de Matos Martins, Professor Adjunto (ISEL)

Júri:

Presidente: Licenciada Luísa Maria Ferreira Cardoso Teles Fortes,
Professora adjunta (ISEL)

Vogais:

Doutor Luís Miguel Martinez, Investigador no Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georecursos (IST)

Mestre Paulo José de Matos Martins, Professor Adjunto (ISEL)

Dezembro de 2013

Resumo

A simulação com base em agentes inteligentes tem sido cada vez mais utilizada ao longo dos tempos, não só pelas suas características, mas também pelas potencialidades do seu uso quando aplicado nas diferentes áreas em que é possível a sua inclusão.

Nesta dissertação foi utilizado o *MATSim*, uma ferramenta de simulação por agentes que permite realizar análises de sistemas de transportes com base em modelos de atividades (*activity-based modelling*), disponibilizada de forma gratuita e que pode representar uma alteração substancial da forma de análise dos sistemas de transporte no futuro.

O *MATSim* é uma ferramenta desenvolvida em linguagem *java* e é disponibilizada na forma *open-source*. Trata-se de uma ferramenta desenvolvida segundo a arquitetura das linguagens orientadas por objetos, baseada na simulação por agentes e atividades, em que é possível a modelação de grandes cenários recorrendo a um nível de detalhe “microscópico”. É possível também a captura de fenómenos emergentes a quando da implementação de mudanças na rede ou das características dos agentes intervenientes na simulação.

Para comprovar a aplicabilidade deste tipo de ferramentas à modelação e análise de sistemas de transportes em meio urbano foi construído um modelo em *MATSim* para uma zona da cidade de Lisboa, constituída pelas freguesias de Alvalade, Nossa Senhora de Fátima, São João de Deus, São Sebastião da Pedreira e São Jorge de Arroios.

Por fim, foi efetuada a calibração do modelo, bem como da validação dos resultados obtidos, considerando para tal a obtenção de uma curva de tráfego em que exista o menor número possível de veículos em circulação entre as horas de ponta da manhã e da tarde, visto que se tratam apenas de viagens casa-trabalho e trabalho-casa (não compatibilizando as viagens efetuadas no período laboral), um fator de hora de ponta equiparável aos registados pelos postos de contagem da CML (Câmara Municipal de Lisboa). A utilização de dados reais de contagens de tráfego foi também tida em conta nestes processos de calibração e validação.

Palavras-chave: *MATSim*, micro-simulação, modelação por agentes, modelação com base em atividades, simulação de tráfego, afetação de tráfego.

Abstract

The agent-based simulation have been increasingly used over the past years, not only due to the features of this kind of simulation, but also for the potential of its use when applied to different fields where is possible to consider its inclusion.

In this dissertation, it was used the MATSim, an agent-based simulation tool that which allows you to perform analyses of activity-based models transport systems, open-source available and that can represent a substantial change in the form of transport analysis system in the future.

MATSim is a tool that is based on this kind of simulation. It is developed in java language and is open-source. It is an object-oriented tool based on agent-based and activity-based simulation and is capable of model large scenarios using a “microscopic” level of detail. It can also capture emergent phenomena upon the implantation of different network characteristics or agents attributes involved in the simulation.

To demonstrate the applicability of this kind of tools for modeling and analysis of transport systems in urban areas, a model for an area of Lisbon, composed by the civil parishes of Alvalade, Nossa Senhora de Fátima, São João de Deus, São Sebastião da Pedreira e São Jorge de Arroios was built using the tool *MATSim*, which was described above.

Finally, a model calibration as well as the validation was done, of the results obtained. For the purpose, a traffic curve in which there is as low number of vehicles in circulation between rush hours as possible was considered, since only travel from home to work and work-home was implemented, not matching the trips made in the work period, a peak hour factor comparable to those recorded by the counters of CML (Câmara Municipal de Lisboa) and the comparison of the model output's with real data traffic counts tip.

Keywords: *MATSim*, micro-simulation, agent-based Modeling, activity-based Modeling, traffic simulation, traffic assignment.

Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao Professor Paulo José de Matos Martins por todo o esforço, dedicação e orientações que ditaram o sucesso nesta dissertação, tornando possível a conclusão desta importante etapa da minha vida académica.

Em segundo lugar agradeço à minha família em geral mas principalmente à minha mãe Maria Arminda Eugénia Lourenço Farinha e ao meu pai Carlos António Farinha por toda a paciência, colaboração, apoio e sacrifício em todos os momentos de alegria e principalmente nos de desespero, contribuindo substancialmente para o sucesso da minha vida académica. Um agradecimento especial à Joana Maia pelas horas perdidas em conselhos, apoio e incentivo, não só nesta dissertação, bem como em todo o percurso académico.

Em terceiro lugar queria agradecer a todos os amigos de longa data e colegas de faculdade, principalmente à Daniela Lopes e Diana Furtado, por toda a dedicação, todo o auxílio e principalmente por toda a compreensão demonstrada ao longo da elaboração desta dissertação.

Índice

CAPÍTULO I. - INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO.....	1
1.2. OBJETIVOS.....	1
1.3. DEFINIÇÕES FUNDAMENTAIS	1
1.4. ESTRUTURA DO RELATÓRIO	2
CAPÍTULO II. - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. INTRODUÇÃO	5
2.2. MODELAÇÃO BASEADA EM AGENTES.....	5
2.3. MODELAÇÃO BASEADA EM ATIVIDADES	9
2.4. ESTUDO DAS COMPONENTES TEÓRICAS DA MICRO-SIMULAÇÃO	10
2.4.1. <i>Modelos estáticos ou dinâmicos;</i>	12
2.4.2. <i>Modelos microscópicos, mesoscópicos e macroscópicos;</i>	13
2.4.3. <i>Modelos determinísticos ou estocásticos;</i>	16
2.4.4. <i>Modelos desenvolvidos com base analítica ou através de simulação;</i>	17
2.4.5. <i>Outras características dos modelos.</i>	17
2.5. IDENTIFICAÇÃO DE UMA FERRAMENTA DE MICRO-SIMULAÇÃO MAIS ADEQUADA AO DESENVOLVIMENTO DE UM ESTUDO DE CASO URBANO EM LISBOA	18
2.6. SÚMULA DO CAPÍTULO	24
CAPÍTULO III. - ANÁLISE DA FERRAMENTA MATSIM	27
3.1. INTRODUÇÃO	27
3.2. O MATSIM.....	27
3.2.1. <i>Síntese sobre a evolução do MATSim</i>	28
3.2.2. <i>Revisão bibliográfica sobre o MATSim</i>	29
3.2.3. <i>Procedimento para a utilização do MATSim</i>	34
3.2.4. <i>Dados de entrada (input)</i>	35
3.2.5. <i>Funcionamento do MATSim</i>	42
3.2.6. <i>Dados de saída</i>	44
3.2.7. <i>Extensões</i>	51
3.3. SÚMULA DO CAPÍTULO	53
CAPÍTULO IV. - CONSTRUÇÃO DE UM MODELO INICIAL E ANÁLISE DE RESULTADOS	55
4.1. INTRODUÇÃO	55
4.2. OBJETIVOS DO ESTUDO DE CASO	55

4.3.	IDENTIFICAÇÃO DA ZONA DA CIDADE DE LISBOA A ANALISAR.....	56
4.4.	DESENVOLVIMENTO DO MODELO	60
4.4.1.	<i>Criação da rede</i>	64
4.4.2.	<i>Criação da população</i>	65
4.4.3.	<i>Ficheiro de Configuração</i>	78
4.4.4.	<i>Resultados iniciais obtidos do modelo não calibrado</i>	80
4.5.	SÚMULA DO CAPÍTULO	84
CAPÍTULO V. - CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO.....		85
5.1.	INTRODUÇÃO	85
5.2.	CALIBRAÇÃO DO MODELO	85
5.3.	VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS.....	93
5.3.1.	<i>Gráfico Score Statistics</i>	94
5.3.2.	<i>Velocidades médias</i>	94
5.3.3.	<i>Duração de viagens</i>	95
5.3.4.	<i>Leg histogram</i>	95
5.3.5.	<i>Visualização dos resultados</i>	96
5.3.6.	<i>Comparação com contagens reais</i>	97
5.4.	SÚMULA DO CAPÍTULO	101
CAPÍTULO VI. - CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS		103
6.1.	PRINCIPAIS CONCLUSÕES	103
6.2.	FATORES CRÍTICOS DE SUCESSO	104
6.3.	VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS ALCANÇADOS.....	104
6.4.	AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE IMPLEMENTAÇÃO E PERSPETIVAS FUTURAS.....	105
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		107
ANEXO A – FICHEIRO DE CONFIGURAÇÃO		115
ANEXO B – FICHEIRO SCORESTATS.XML		119
ANEXO C – FICHEIRO PLANS.XML		125
ANEXO D – FICHEIRO NETWORK.XML		129
ANEXO E – TRAVEL DISTANCE STATS		131
ANEXO F – TRIP DURATIONS		137
ANEXO G – ÍNDICES DE SERVIÇOS CALCULADOS		141
ANEXO H – ÍNDICES DE PRODUÇÃO CALCULADOS		149
ANEXO I – LOCALIZAÇÃO DOS CENTRÓIDES DENTRO DAS CINCO FREGUESIAS DE ANÁLISE		157

Índice de Figuras

FIGURA 1 - MODELO DOS 4 PASSOS.....	5
FIGURA 2 – REPRESENTAÇÃO DA REALIDADE DE MODO A UTILIZAR UMA MODELAÇÃO BASEADA EM AGENTES.....	8
FIGURA 3 – MODELAÇÃO BASEADA EM ATIVIDADES	9
FIGURA 4 – CARACTERÍSTICAS DAS TOMADAS DE DECISÃO NOS DIFERENTES NÍVEIS DE DETALHE.....	15
FIGURA 5 – EXEMPLO DE UM FICHEIRO <i>NETWORK.XML</i> REFERENTE A NÓS RODOVIÁRIOS.....	35
FIGURA 6 – EXEMPLO DE UM FICHEIRO <i>NETWORK.XML</i> REFERENTE A ARCOS RODOVIÁRIOS	35
FIGURA 7 - EXEMPLO DE UM FICHEIRO <i>PLANS.XML</i>	36
FIGURA 8 - EXEMPLO DE UM FICHEIRO <i>CONFIG.XML</i>	36
FIGURA 9 - EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO ALGORITMO DE <i>DIJKSTRA</i>	38
FIGURA 10 – EXEMPLO DE UM FICHEIRO <i>FACILITIES.XML</i>	42
FIGURA 11 – ESTRUTURA DO <i>MATSIM</i>	43
FIGURA 12 – ESTRUTURA SIMPLIFICADA DO <i>MATSIM</i>	45
FIGURA 13 – CONFIGURAÇÃO DO FICHEIRO “ <i>EVENTS</i> ”	46
FIGURA 14 - EXEMPLO DE VISUALIZAÇÃO DE ALGUNS AGENTES.....	47
FIGURA 15 - GRÁFICO <i>SCORE STATISTICS</i>	48
FIGURA 16 - EXEMPLO DE UM FICHEIRO <i>STOPWATCH</i>	49
FIGURA 17 - GRÁFICO <i>LEG HISTOGRAM</i> , REFERENTE À ITERAÇÃO Nº 10	50
FIGURA 18 - EXEMPLO DE UMA COMPARAÇÃO ENTRE DADOS RESULTANTES DA SIMULAÇÃO E DADOS REAIS RESULTANTES DE CONTAGENS DE TRÁFEGO.....	51
FIGURA 19 – PLANTA DE LOCALIZAÇÃO DA ZONA A ANALISAR	57
FIGURA 20 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS NOVAS FREGUESIAS DO CONCELHO DE LISBOA.....	58
FIGURA 21 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS FREGUESIAS A ANALISAR.....	59
FIGURA 22 - FLUXOGRAMA DE CRIAÇÃO DO MODELO	60
FIGURA 23 - FLUXOGRAMA DE ESTRUTURAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA.....	61
FIGURA 24 – ESTRUTURA <i>QUADTREE</i>	63
FIGURA 25 – REDE A UTILIZAR NO MODELO INICIAL	65
FIGURA 26 – ROTINA DE CÁLCULO EM <i>MATLAB</i> PARA A FUNÇÃO DENSIDADE PROBABILIDADE	67
FIGURA 27 – ROTINA DE CÁLCULO EM <i>MATLAB</i> PARA A DISTRIBUIÇÃO DOS AGENTES DENTRO DA FREGUESIA DE ESTUDO	69
FIGURA 28 – ÍNDICE DE “SERVIÇOS” PARA AS SUBSECÇÕES CONSIDERADAS NO MODELO	71
FIGURA 29 – DIVISÃO DO NUTTII LISBOA NAS ZONAS “E”, “F”, “G” E “H”	72
FIGURA 30 – DIVISÃO DO MUNICÍPIO DE LISBOA NAS ZONAS “A”, “B”, “C” E “D”	72
FIGURA 31 – SIMPLIFICAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DOS CENTRÓIDES RELATIVOS ÀS QUATRO ZONAS DO MUNICÍPIO DE LISBOA E ÀS QUATRO DO NUTTII LISBOA	75
FIGURA 32 – GRÁFICO <i>LEG HISTOGRAM</i> , REFERENTE À ITERAÇÃO Nº 0, DO MODELO INICIAL	80
FIGURA 33 – GRÁFICO <i>LEG HISTOGRAM</i> , REFERENTE À ITERAÇÃO Nº 10, DO MODELO INICIAL	81

FIGURA 34 – VISUALIZAÇÃO DOS AGENTES PRESENTES NA HORA DE PONTA DA MANHÃ	82
FIGURA 35 – VISUALIZAÇÃO DOS AGENTES PRESENTES NA HORA DE PONTA DA TARDE	83
FIGURA 36 – HORA DE INÍCIO E DE FIM DAS VIAGENS REALIZADAS PELA POPULAÇÃO RESIDENTE EM LISBOA	86
FIGURA 37 – HORA DE INÍCIO E DE FIM DAS VIAGENS REALIZADAS PELA POPULAÇÃO NÃO RESIDENTE EM LISBOA	86
FIGURA 38 – VEÍCULOS EM CIRCULAÇÃO NA CIDADE DE LISBOA	87
FIGURA 39 – VELOCIDADE MÉDIA DE CIRCULAÇÃO PARA AS VIAGENS ORIGINADAS EM CADA ZONA NO PERÍODO DE PONTA DA MANHÃ.....	88
FIGURA 40 – VELOCIDADE MÉDIA DE CIRCULAÇÃO PARA AS VIAGENS ORIGINADAS EM CADA ZONA NO PERÍODO DE PONTA DA TARDE	88
FIGURA 41 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA FUNÇÃO DENSIDADE DE PROBABILIDADE DA DISTRIBUIÇÃO NORMAL PADRONIZADA	90
FIGURA 42 – ASPETO FINAL DA REDE A UTILIZAR NO MODELO CALIBRADO E DE TODOS OS CENTRÓIDES UTILIZADOS NO MODELO.	92
FIGURA 43 – ASPETO DA REDE COMPOSTA POR TODOS OS ARCOS E NÓS NA ZONA DE ANÁLISE.	93
FIGURA 44 – GRÁFICO <i>SCORE STATISTICS</i> REFERENTE ÀS 400 ITERAÇÕES EFETUADAS.....	94
FIGURA 45 – VELOCIDADES MÉDIAS OBTIDAS COM O MODELO CALIBRADO	94
FIGURA 46 – DURAÇÃO DAS VIAGENS REALIZADAS NO MODELO CALIBRADO	95
FIGURA 47 – GRÁFICO <i>LEG HISTOGRAM</i> , REFERENTE À ITERAÇÃO Nº 400, DO MODELO CALIBRADO	95
FIGURA 48 – VISUALIZAÇÃO DOS AGENTES PRESENTES NO MODELO CALIBRADO NA HORA DE PONTA DA MANHÃ	96
FIGURA 49 – VISUALIZAÇÃO DOS AGENTES PRESENTES NO MODELO CALIBRADO NA HORA DE PONTA DA TARDE.....	96
FIGURA 50 – TRÁFEGO MÉDIO DIÁRIO NO MÊS DE MARÇO DE 2012 NOS CONTADORES DA CML	97
FIGURA 51 – LOCALIZAÇÃO DOS POSTOS DE CONTAGEM CONSIDERADAS	98
FIGURA 52 – COMPARAÇÃO DE CONTAGENS PARA A AVENIDA DE BERNA PARA AVENIDA DA REPÚBLICA DEPOIS DA RUA MARQUÊS SÁ DA BANDEIRA	99
FIGURA 53 – COMPARAÇÃO DE CONTAGENS PARA A AVENIDA FONTES PEREIRA DE MELO PARA SALDANHA DEPOIS LATINO COELHO	99
FIGURA 54 – COMPARAÇÃO DE CONTAGENS PARA A FAIXA CENTRAL DA AVENIDA DA REPUBLICA (N/S) PARA CAMPO PEQUENO (SAÍDA TÚNEL) JUNTO LINHA FÉRREA.....	100
FIGURA 55 – COMPARAÇÃO DE CONTAGENS PARA A AVENIDA DA REPÚBLICA PARA CAMPO PEQUENO DEPOIS MIGUEL BOMBARDA	100

Índice de Tabelas

TABELA 1- MODELOS DE SIMULAÇÃO DIVIDIDOS POR ÁREAS DE INTERVENÇÃO	11
TABELA 2- CRITÉRIOS PARA A SELEÇÃO DO NÍVEL CORRETO DE DETALHE DE MODELAÇÃO.....	15
TABELA 3- ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO PARA CADA NÍVEL DE DETALHE DE MODELAÇÃO	16
TABELA 4 - TABELA RESUMO DOS ESTUDOS MENCIONADOS.....	19
TABELA 5 - QUADRO RESUMO DE ESTUDOS EFETUADOS COM AS PRINCIPAIS FERRAMENTAS DE MICRO-SIMULAÇÃO.....	23
TABELA 6 - ESTUDOS E MODELOS JÁ EFETUADOS COM O USO DA FERRAMENTA <i>MATSim</i>	29
TABELA 7 - TIPOS DE SIMULAÇÃO DE MOBILIDADE UTILIZADOS NO <i>MATSim</i>	37
TABELA 8 - MÓDULOS POSSÍVEIS DE UTILIZAR NO FICHEIRO DE CONFIGURAÇÃO.....	40
TABELA 9 - EXTENSÕES DO <i>MATSim</i>	52
TABELA 10 - NOVAS FREGUESIAS DE LISBOA	58
TABELA 11 - INDIVÍDUOS RESIDENTES EMPREGADOS POR SUBSECÇÃO DA FREGUESIA DE ALVALADE.....	67
TABELA 12 - POPULAÇÃO RESIDENTE, A EXERCER UMA PROFISSÃO POR LOCAL DE RESIDÊNCIA E LOCAL DE TRABALHO PARA A FREGUESIA DE ALVALADE.....	68
TABELA 13 - RESULTADOS DO CÁLCULO DO ÍNDICE DE SERVIÇOS PARA AS SUBSECÇÕES DA FREGUESIA DE ALVALADE.....	70
TABELA 14 - MATRIZ OD REFERENTE ÀS SUBSECÇÕES DA FREGUESIA DE ALVALADE	73
TABELA 15 - MATRIZ OD FINAL SIMPLIFICADA	76
TABELA 16 - MEIO DE TRANSPORTE MAIS UTILIZADO NOS MOVIMENTOS PENDULARES (N.º) POR LOCAL DE RESIDÊNCIA (À DATA DOS CENSOS 2011) E PRINCIPAL MEIO DE TRANSPORTE.....	78
TABELA 17 - VARIÁVEIS DOS FICHEIROS DE ENTRADA INTERVENIENTES NO MODELO	79

Lista de Abreviaturas

BGRI	Base Geográfica de Referenciação de Informação
MATSim	Multi-Agent Transport Simulation
NUT II	Nomenclaturas de Unidades Territoriais de nível II
INE	Instituto Nacional de Estatística
OSM	Open Street Map
xml	Extensible Markup Language
GPS	Global Positioning System (trad. Sistema de Posicionamento Global)
INE	Instituto Nacional de Estatística
ZAT	Zona de Análise de Tráfego
AML	Área Metropolitana de Lisboa
TMD	Tráfego Médio Diário

Agradecimentos Institucionais

Gostaria de prestar os meus sinceros agradecimentos à Sr.^a Engenheira Paula Dias, Engenheira do Território da Câmara Municipal de Lisboa pelo apoio e prestimosa ajuda dada na elaboração do estudo de caso aplicado à cidade de Lisboa.

O autor, o seu orientador e o ISEL gostariam de apresentar os sinceros agradecimentos ao Dr. Kai Nagel, do *Land and Sea Transport Systems, Technische Universität Berlin*, pelo seu apoio, recomendações e conselhos que se revelaram fundamentais no processo de calibração do modelo desenvolvido para o caso de estudo.

Os mesmos gostariam também de expressar os mais sinceros agradecimentos ao Dr. Marcel Rieser, do *Swiss Federal Institute of Technology Zurich*, pelo fornecimento, a título gratuito, e pelo período de um ano, de uma licença educacional do visualizador *VIA – Visualization and Analysis Tool*, da empresa *Senozon*, o que resultou na sua utilização sem qualquer limite de visualização de agentes intervenientes no modelo e na utilização de todos os *plugins*.

Por fim, gostaria de prestar os meus agradecimentos às entidades que desenvolveram o *MATSim* e pela disponibilização a título gratuito à comunidade científica.

Institutional acknowledgements

I would like to pay my sincere thanks to Ms. Paula Dias, Planning Engineer of the Municipality of Lisbon for their support and help given in the preparation of the case study applied to the city of Lisbon.

The author, his supervisor and ISEL would like to express a special thanks to Dr. Kai Nagel, from the Institute for Land and Sea Transport Systems, Technische Universität Berlin, for his support and very important recommendations and advices which were fundamental for the correct calibration of the model developed in the case study of the dissertation.

They also like to express a special thanks to Dr. Marcel Rieser, from the Swiss Federal Institute of Technology Zurich, by providing, for free of charge and for a period of one year, an educational license for Via - Visualization and Analysis Tool, from the Senozon enterprise, which has resulted in the utilization of this visualizer without any constrain involving the visualization of agents in the model's simulation and made possible the use of all visualizer plugins.

At last, I would like to pay my sincere thanks to the entities that developed MATSim and by making available to make it open-source for the scientific community.

Capítulo I. - Introdução

1.1. Enquadramento

Ao longo do tempo, tem-se verificado um crescente uso de modelos de simulação com base em agentes. Este fenómeno deve-se sobretudo ao incremento do poder computacional, que tem tornando possível a análise de sistemas com um crescente grau de complexidade.

Este tipo de modelos começaram a ser incipientemente utilizados no Planeamento de Transportes, mais precisamente, no recurso a técnicas de validação de modelos de simulação de tráfego. Estes modelos de simulação, também denominados por modelos de afetação de tráfego, integram-se no último ponto da metodologia mais conhecida e utilizada no planeamento de transportes, o Modelo dos 4 Passos, que como o nome indica, é caracterizado pelas suas 4 etapas, sendo elas a Geração, Distribuição, Repartição Modal e Afetação.

A principal motivação para a escolha deste tema é a possibilidade de criação de um modelo que servirá de apoio à análise de sistemas de transporte. O modelo será criado através do *MATSim*, uma ferramenta do tipo *open-source*, com um interface acessível aos utilizadores, que já foi testada e aplicada em vários cenários, com características e propriedades diferentes entre eles.

1.2. Objetivos

O principal objetivo a alcançar é o de analisar as vantagens, potencialidades e desvantagens da aplicação de modelos de simulação baseados em agentes, com abordagens indutivas do tipo *bottom-up* à modelação e análise de sistemas de transportes em meio urbano, em áreas com uma extensão ao nível da zona da cidade, cidade ou região metropolitana.

Esta análise será consubstanciada através da criação de um modelo de teste numa zona da cidade de Lisboa, com o intuito de constatar a qualidade e o interesse dos resultados obtidos neste tipo de modelos de simulação, permitindo compará-los com os resultados encontrados nos estudos de planeamento desenvolvidos segundo a clássica abordagem macroscópica estática.

1.3. Definições fundamentais

Um modelo pode ser descrito como uma representação simplificada da realidade, sendo possível classificá-los de várias formas, como apresentado no ponto 2.4 deste relatório (Castle & Crooks, 2006).

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

Uma simulação, como o nome indica, representa a execução deste mesmo modelo, ou seja, é a execução sucessiva dos comportamentos e interações dos agentes intervenientes (Macal & North, 2010).

Teoricamente, é possível a modelação de qualquer cenário existente, aplicando e utilizando todas as variáveis intervenientes na constituição dos elementos do modelo (Castle & Crooks, 2006). Para esta representação ser fidedigna, pode ser necessário, por vezes, recorrer a estruturas de dados agregados ao invés de representar individualmente todos os objetos constituintes do modelo.

Tem-se assistido, contudo, a uma crescente utilização de dados desagregados, tendo contribuído para tal não só o crescente poder computacional (elevado desempenho e grande capacidade de armazenamento de dados) mas também a adoção de uma abordagem autómata, que se caracteriza como sendo um mecanismo de processamento de dados, variável ao longo do tempo, conjugando as características do próprio modelo com as regras impostas e com os respetivos dados de entrada. (Castle & Crooks, 2006).

A modelação baseada em agentes é uma técnica que, como já referido, tem sido cada vez mais utilizada para a modelação de um grande número de situações e problemas. Esta abordagem apresenta-se como uma extensão natural dos modelos baseados em autómatos celulares (decorrentes da abordagem autómata), sendo que a principal característica incide na heterogeneidade das interações entre agentes e ambiente envolvente. Os utilizadores deste tipo de abordagem não tendem a descrever e pormenorizar todo o sistema e todo o ambiente envolvente matematicamente, utilizando ao invés, um conjunto de unidades ou agentes autónomos, capazes da tomada de decisões – agentes inteligentes¹ – que são representativos de parcelas da população, (Ljubović, 2009).

1.4. Estrutura do relatório

O presente relatório foi dividido em cinco capítulos.

No capítulo I apresenta-se o enquadramento, abordam-se os conceitos iniciais e definem-se os objetivos a alcançar na dissertação.

¹ Por exemplo, um agente pode representar numa simulação o comportamento de cem, mil ou dez mil indivíduos dessa mesma população com características idênticas (ou melhor, semelhantes) às do agente modelado.

Capítulo I. - Introdução

Seguidamente, no capítulo II é descrito o estado da arte, dando ênfase às temáticas relevantes ao estudo, como é o caso da simulação com base em agentes, da simulação com base em atividades, e da apresentação de algumas das ferramentas existentes, bem como seus principais campos de aplicação.

No capítulo III é executada uma análise mais aprofundada do *MATSim*, que foi a ferramenta utilizada no desenvolvimento da dissertação, caracterizando os seus dados de entrada e de saída, bem como as metodologias de funcionamento e análise.

No quarto capítulo é desenvolvido um modelo de simulação por agentes de uma zona da cidade de Lisboa com recurso ao *MATSim* e analisados os resultados obtidos.

No quinto e último capítulo retiram-se as principais conclusões desta dissertação e são apresentadas as principais perspetivas futuras passíveis de serem desenvolvidas.

Capítulo II. - Revisão bibliográfica

2.1. Introdução

Os modelos de simulação são um dos tipos de modelos, com base nos quais, é possível efetuar afetação de tráfego às redes, sendo parte integrante da última etapa do Modelo dos 4 Passos, de afetação.

A metodologia da aplicação do Modelo dos 4 Passos (Figura 1), embora seja suscetível de sofrer outras abordagens ou outro tipo de formulação, na sua formulação clássica, é iniciada com a quantificação do número de viagens originárias de cada zona de análise de tráfego e do número de viagens esperado nessas mesmas zonas, permitindo criar a bordadura de uma matriz Origem/Destino (Geração). Segue-se uma repartição e análise do número de viagens entre cada zona em análise, preenchendo-se o miolo dessa matriz (Distribuição). Seguidamente, procede-se a uma repartição da procura pelos vários modos de transporte disponíveis, indicando assim os meios utilizados nas viagens entre cada par O/D, criando tantas matrizes quanto os modos de transporte utilizados (Repartição Modal). Por fim, é executada uma afetação dos fluxos de à rede (composta por arcos e nós) de um modelo de tráfego, simulando assim, a tomada de decisão dos utilizadores relativamente ao percurso a efetuar (Afetação), (Tavares, 2003).



Figura 1 - Modelo dos 4 Passos

2.2. Modelação baseada em agentes

Um modelo de tráfego baseado em agentes é constituído por três tipos de elementos: agentes, ambiente e regras. De um modo simplificado, pode assumir-se que os agentes representam “indivíduos” que “habitam” num determinado ambiente e que se têm determinadas características e se regem segundo regras específicas e objetivos a alcançar (Lei Zhang & Levinson, 2004).

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

Os agentes tiveram a sua origem no campo da Inteligência Artificial, não existindo uma definição exata do termo. Um agente pode ser considerado capaz de perceber o ambiente em que está inserido por meio de sensores e de agir sobre ele (Russel & Norvig, 2003), sendo definido também por um sistema situado e pertencente a um ambiente, que percebe o mesmo e atua sobre este ao longo do tempo, de acordo com a sua própria “agenda” e de modo a refletir percepções futuras (Franklin & Graesser, 1996).

Segundo Nwana (1996), estes agentes podem ser classificados, de modo a ser possível uma visualização das suas características de uma forma mais ampla, sendo esta classificação feita com base na análise de:

- Nível de inteligência da sua aplicação, podendo esta ser baixa quando o agente executa tarefas rotineiras, média quando os agentes aplicam um conhecimento base para o desenvolvimento de um raciocínio ou alta quando utilizam não só o conhecimento base mas também o conhecimento adquirido;
- Complexidade da tarefa a executar, podendo estes apenas executar tarefas muito simples (*gopher*), tarefas de alto nível em que é necessário uma definição bem clara dos requisitos do utilizador (prestadores de serviço) ou tarefas mais complexas em que exista a necessidade de pesquisa de informações, filtração de dados ou mesmo execução de tarefas não definidas pelo utilizador (pró-ativo);
- Capacidade de movimentação, quando é analisada a possibilidade de deslocamento numa rede (estáticos e móveis);
- Aquisição de inteligência, podendo o comportamento destes apenas ser determinado pelos estímulos causados pelo estado do ambiente em que estes estão inseridos (reativos) ou então possuírem a capacidade de raciocínio utilizada para tomar as melhores decisões e executar as tarefas necessárias para alcançar os objetivos pretendidos (deliberativos).

Tendo por base as classes acima definidas, estes agentes podem ser identificados, embora não sendo esta feita de uma forma exata, em 8 tipos diferentes, segundo o mesmo autor:

- Agentes colaborativos;
- Agentes de interface;
- Agentes móveis;
- Agentes reativos;
- Agentes híbridos;
- Agentes inteligentes;
- Agentes de informações;

Capítulo II. – Revisão bibliográfica

- Agentes autónomos.

Visto que os objetivos que estes agentes têm que alcançar (trabalho, habitação, lazer, entre outros) nem sempre são realizados no mesmo espaço ou localização, estes agentes precisam de efetuar uma deslocação espacial, ou seja, viajarem. Esta viagem será efetuada através do uso da rede de transportes, durante um certo período de tempo, criando um plano para cada um dos agentes. Para a execução destes planos, são necessárias decisões sobre de vários aspetos, como por exemplo:

- Que arco devo utilizar para ir para a viagem? – Decisão de afetação;
- Que modo de transporte devo utilizar para a viagem? – Decisão de repartição modal;
- Devo ficar mais tempo ou ir já para casa? – Decisão de duração da atividade;
- Devo ir às compras mais perto de casa ou numa localização mais distante? – Decisão da localização da atividade;
- Quando devo ir às compras hoje? – Decisão da hora de início da atividade;
- Devo ir visitar o alguém? – Decisão do tipo de atividade;
- Quem devo levar comigo na viagem? – Decisão do tipo de composição para a realização da atividade;
- Devo ir ao ginásio antes ou depois do trabalho? – Decisão de encadeamento de atividades.

Para a aplicação de um modelo baseado em agentes, é necessário, primeiramente, a definição de quais os agentes envolvidos (incluindo os seus atributos e características), a definição dos métodos de interação e relação entre agentes (sendo definido, por uma topologia subjacente, como e com quem os agentes interagem) e ainda a definição do ambiente em que os agentes irão operar. Estes agentes podem ser classificados segundo Macal & North (2010), em três tipos distintos: arcos, nós e utilizadores da rede.

Apresentam-se de seguida algumas características que segundo os autores anteriores são inerentes a estes agentes:

- A possibilidade de serem identificáveis: os agentes devem possuir um conjunto de características e regras que regulam o seu comportamento e a escolha das decisões a serem tomadas;
- Serem heterogéneos: a simulação baseada em agentes considera uma gama muito vasta de características pertencentes aos agentes intervenientes para possibilitar a simulação da realidade a representar (heterogeneidade da população), como se mostra na Figura 2. As características e comportamentos dos agentes podem variar consoante

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

a quantidade de informação considerada nas decisões tomadas e consoante a capacidade de armazenamento das interações destes.

- Habitarem num ambiente e interajam com ele e com outros agentes: os agentes possuem características para a interação com outros agentes, como é o caso da comunicação, movimentação, disputa espacial e do reconhecimento das características de outros agentes;
- Serem autónomos: um agente opera de forma independente no ambiente em que se insere e nas interações entre outros agentes. O comportamento dos agentes é regulado por regras impostas em modelos abstratos;
- Serem orientados por objetivos: um agente possui objetivos a cumprir, no que diz respeito aos seus comportamentos. Isto permite que um agente compare os resultados obtidos e adapte os comportamentos a utilizar em objetivos e interações futuras.
- Ganharem conhecimentos com a experiência: os agentes adaptam o comportamento com base na experiência adquirida, tanto ao nível individual, como ao nível de uma população de agentes, sendo isto feito por meio de um processo de seleção. É deste modo possível o aumento da capacidade do número de agentes, consoante a melhor adaptação destes ao ambiente em que habitam;

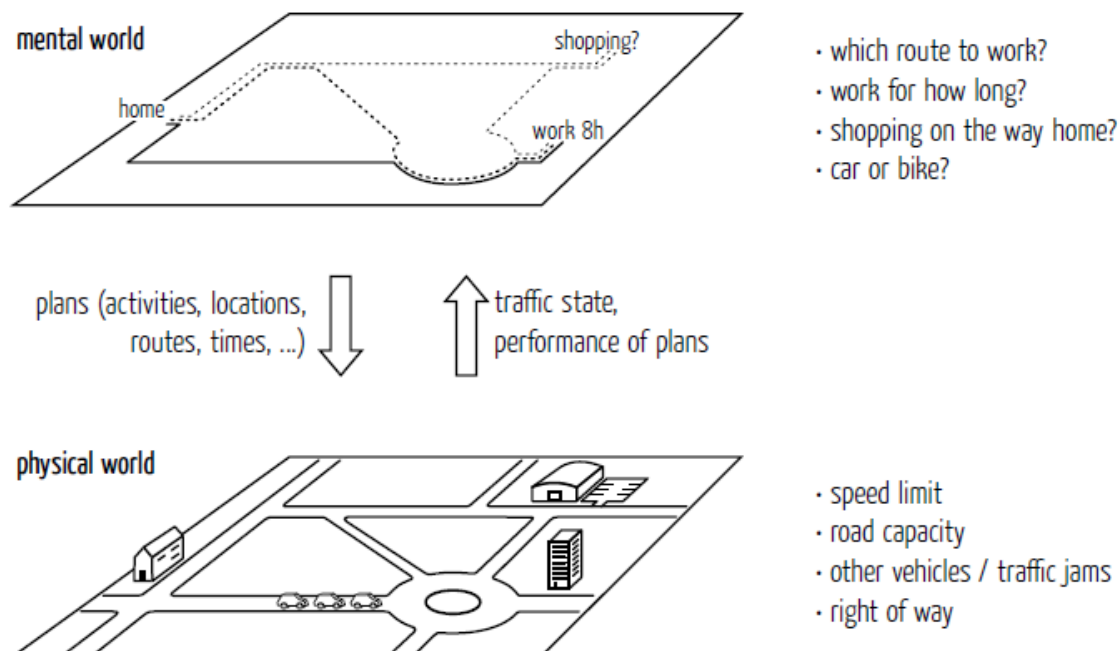


Figura 2 – Representação da realidade de modo a utilizar uma modelação baseada em agentes

Fonte: Rieser (2010)

Capítulo II. – Revisão bibliográfica

2.3. Modelação baseada em atividades

A simulação de um modelo baseado em agentes é, como o nome indica, a simulação de todas as suas interações e de todos os seus comportamentos associados. Este tipo de simulação pode ser executado segundo regras previamente estipuladas como é o caso de estruturas de simulação passo a passo, de execução de eventos discretos ou de modelos baseados em atividades, sendo esta última estrutura abordada neste subcapítulo, visto que a ferramenta a utilizar nesta dissertação recorre a este tipo de abordagem, (Ljubović, 2009).

Um modelo baseado em atividades é um modelo que utiliza dados sociodemográficos dos potenciais utilizadores da rede e dados relativos ao uso dos solos para criar como dados de saída planos de viagem baseados na estimativa de atividades a efetuar durante um dado período de tempo, no tempo gasto em cada uma das atividades, conforme se apresenta na Figura 3, e na informação relativa à deslocação entre essas atividades, como por exemplo o tempo de viagem e o modo de transporte utilizado, (Bhat, Guo, Srinivasan, & Sivakumar, 2003).

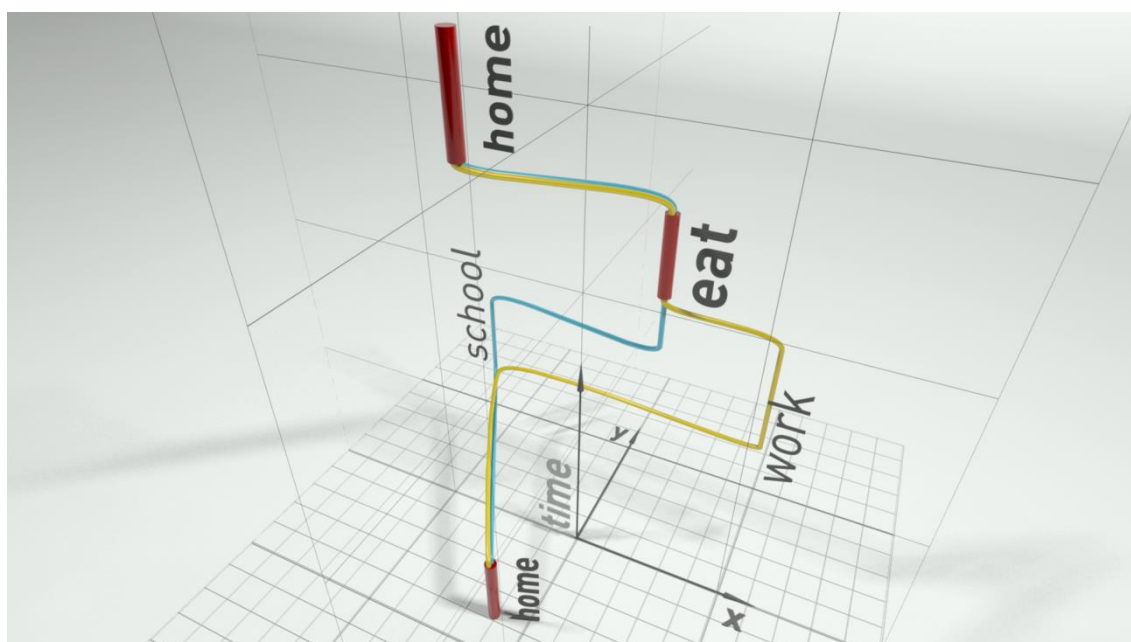


Figura 3 – Modelação baseada em atividades
Fonte: FCL, (2013)

Os modelos baseados em atividades têm vindo a ser, ao longo do tempo, cada vez mais utilizados na modelação de tráfego, substituindo assim os modelos baseados em viagens, gerados a partir do Modelo dos 4 Passos, já abordado no ponto 2.1 desta dissertação.

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

O Modelo dos 4 Passos utiliza a unidade de “viagem” como elemento de análise, sendo esta análise concretizada utilizando esse mesmo modelo (Bhat et al., 2003), em duas principais etapas:

Numa primeira etapa, algumas características do utilizador da rede e do uso dos solos são avaliadas, calibradas e validadas, resultando numa procura e oferta não equilibrada. Numa segunda fase, este tipo de informação é inserida na rede, tendo como único objetivo a afetação de tráfego à mesma, não contemplando alguns aspetos como é o caso, por exemplo, da fase do dia, (McNally, 1996).

De seguida apresenta-se as características negativas inerentes ao Modelo dos 4 Passos e aspetos que reforçam o uso de modelos baseados em atividades, (McNally, 1996).

- A procura da rede é originada devido à necessidade da deslocação para uma determinada atividade – procura derivada;
- A participação nessa mesma atividade envolve a geração, escolha espacial e horário de funcionamento;
- A atividade e o modo de transporte a utilizar é constrangido, e por vezes definido, por certas restrições existentes, como é horário e distância a percorrer.
- As ligações e interações entre utilizadores da rede, locais e atividades não são considerados neste tipo de abordagem.

Neste tipo de modelos, os dados de saída são organizados em matrizes origem destino (OD), utilizadas para a afetação do tráfego à rede. Esta afetação pode ser estática ou dinâmica, diferindo do tipo de modelo utilizado. Os resultados desta afetação originam volumes de tráfego e tempos de viagem que podem ser, por sua vez, utilizados também como dados de entrada dos modelos baseados em atividades, (Bekhor, Dobler, & Axhausen, 2011).

2.4. Estudo das componentes teóricas da micro-simulação

Existe um grande número de áreas, abrangendo as temáticas políticas, sociais e económicas, em que o uso da simulação faz parte do processo de obtenção de resultados e otimização de recursos. Um estudo já realizado (Abu-taieh, Abdel, & El, n.d.) divide os 56 modelos identificados pelas respetivas 22 áreas de intervenção, como se pode observar pela Tabela 1.

Capítulo II. – Revisão bibliográfica

Tabela 1- Modelos de simulação divididos por áreas de intervenção

Fonte: Abu-taieh, Abdel, & El, (n.d.)

Área de Intervenção	Modelos	Porcentagem do Total
Sistemas de fabricação	Analytica, AutoMod, ExpertFit, Factory Explorer, Flexsim, GoldSim, GPSS World for Windows, MAST, MICROSAINTE, NAG SMP Library, Resource Manager, (PIMSS), Proplanner Manufacturing Process Management Software, SIGMA, SimCAD Pro, Visual Simulation Environment	14%
Gestão de recursos humanos	Analytica, Arena, Crystal Ball Standard Edition & Professional Edition, DecisionPro, DecisionScript, ExpertFit, MyStartegy, ProModel-ProcessModel, ProVision, SimCAD Pro, STELLA / itthink, VSE, WebGPSS (micro-GPSS)	11%
Gestão e Logística	AnyLogic 5.0, Arena, Flexsim, MAST, (PIMSS), SAS Software, SLIM, Supply Chain Builder, VSE	10%
Redes computacionais e de comunicações	AnyLogic 5.0, AweSim, ExpertFit, GPSS World for Windows, Optsim (Artifex), SAS Software, SLIM, VisSim, VSE	8%
Sistemas de Transporte	AnyLogic 5.0, AutoMod, Berkeley Madonna™, ExpertFit, NAG SMP Library, SLIM, VisSim, Visual Simulation Environment, Witness	7%
Gestão de uso de solo	AutoMod, Enterprise Dynamics, ExpertFit, Extend, SAS Software, SimCAD Pro	6%
Educação	Any Logic 5.0, NAG SMP Library, PASION Simulation System, STELLA / itthink, VSE, WebGPSS (micro-GPSS)	4%
Sistemas de saúde	AutoMod, ExpertFit, MICROSAINTE, NAG SMP Library, SIGMA, VSE	4%
Sistemas militares e de combate	AnyLogic 5.0, ExpertFit, MICROSAINTE, NAG SMP Library, STARDIS, VSE	4%
Modelos financeiros	Analytica, DecisionPro, DecisionScript, GAUSS, NAG SMP Library	4%
Avaliação da complexidade do design de sistemas	AnyLogic 5.0, Arena, AutoMod, NAG SMP Library, SIGMA, VSE	3%
Aeroespacial	Analytica, AutoMod, NAG C Library, QX3D, Witness	3%
Indústrias de Gás e Petróleo	Analytica, Design II simulation Package, NAG SMP Library	3%
Congestionamento de Tráfego	eM-Plant, Factory Explorer, ShowFlow, SIMUL8,	3%
Tomada de decisão e análise de risco	Analytica, Crystal Ball Standard Edition& Professional Edition, DecisionPro, SIMPROCESS	3%
Sistemas de Serviço	Arena, ExpertFit, SIGMA, Visual Simulation Environment	2%
Sistemas mecânicos e robóticos	Dymola, QX3D, SimCAD Pro	2%
Avaliação da performance computacional	AnyLogic 5.0, Visual Simulation Environment	1%

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

Área de Intervenção	Modelos	Porcentagem do Total
Controle de tráfego aéreo e de sistemas espaciais	Visual Simulation Environment	1%
Comunicações via satélite e sem fios	Visual Simulation Environment	1%
Construção	Analytica, Design II simulation Package	1%
Cenários <i>what if</i>	Arena, Resource Manager, SIMUL8	1%

O uso de modelos de micro-simulação com base em agentes é cada vez mais utilizado no planeamento de transportes, tanto na temática dos Sistemas Inteligentes de Transporte (nos quais a micro-simulação desempenha um papel fundamental, ao possibilitar uma representação dinâmica da rede viária, o que permite uma representação viável da realidade e uma previsão de acontecimentos) (Lind et al., 1999), como também nos modelos que permitem descrever o nível de desempenho da rede viária, face os efeitos causados pelas tomadas de decisão dos utilizadores do sistema de transporte (Tavares, 2003), possibilitando obter informações sobre:

- Volumes de tráfego;
- Velocidades praticadas;
- Atrasos existentes na rede;
- Emissão de gases poluentes;
- Consumo de combustível;
- Tempo estimado de viagem entre as diferentes zonas;
- Congestionamento de arcos;
- Percursos entre pares de zonas de origem e destino.

Por outro lado, em termos da identificação dos modelos de análise de sistemas de transportes, estes podem ser classificados das seguintes formas segundo Tavares, (2003) e Ortuzar & Willumsen (2011):

- Estáticos ou dinâmicos;
- Microscópicos, mesoscópicos ou macroscópicos;
- Determinísticos ou estocásticos;
- Desenvolvidos com base analítica ou através de simulação;
- Com ou sem restrições de capacidade.

2.4.1. Modelos estáticos ou dinâmicos;

Como se referiu, os modelos de afetação de tráfego podem ser divididos em dois grandes grupos: estático e dinâmico.

Capítulo II. – Revisão bibliográfica

De um modo simplificado, um modelo é estático quando os volumes de tráfego e as velocidades nos arcos se mantêm constantes ao longo do tempo, enquanto num modelo dinâmico, este tipo de dados são dependentes da variável tempo (Jeihani, 2007), que é interna ao próprio modelo.

Num modelo estático, para os períodos de tempo de análise (como é o caso das horas de ponta), os dados de congestionamento são descritos como informações relativas a volumes de tráfego horários e tempos de viagem, obtidos através da afetação à rede da matriz O/D (considerando o elemento essencial como a viagem), ou seja, não contemplando o período horário, de modo a obter o tempo total de viagem, segundo Chiu et al., (2011). Este tipo de abordagem tem algumas limitações:

- É incapaz de representar a situação real exata existente no arco;
- O volume de entrada no arco é sempre igual ao volume de saída (podendo não se considerar um limite), sendo diretamente proporcional ao tempo de viagem. Este aspeto pode originar um volume no arco superior à capacidade do mesmo.

Embora este tipo de modelos tenha dominado, no passado, todas as análises de tráfego feitas, começa a observar-se um uso crescente de modelos dinâmicos para este fim (Jeihani, 2007).

Nos modelos dinâmicos, a modelação do tráfego é feita compatibilizando os tempos de viagem com os dados de congestionamento, representando assim a realidade. Assim, se o fluxo de entrada for maior que o de saída, a densidade no arco irá aumentar provocando também um aumento do tempo de viagem e uma redução da velocidade, o que não acontece com os modelos estáticos nos quais os fluxos e as densidades são constantes.

2.4.2. Modelos microscópicos, mesoscópicos e macroscópicos;

Na modelação de transportes é comum adotar-se uma de três escalas possíveis de abordagem: macroscópica, mesoscópica e microscópica.

Estes três níveis diferem sobretudo na sua abrangência espacial (escala) de análise e do nível de desagregação da informação, sendo escolhido para cada cenário, aquela escala que é mais conveniente aos objetivos do estudo e recursos disponíveis, tendo em conta o tipo e forma das variáveis a considerar em cada análise.

No nível macroscópico, é possível a modelação de grandes áreas, como é o caso de zonas equiparáveis a áreas metropolitanas, mas torna-se impossível a representação de veículos ou agentes presentes na rede. Este tipo de modelos também não inclui normalmente a variável tempo, sendo eventualmente efetuadas várias análises para períodos de tempo diferenciados,

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

como a hora de ponta da manhã, o período entre pontas e, eventualmente, fim-de-semana, ou outros períodos de tempo específicos.

No nível Microscópico é possível a representação, com grande detalhe, de todos os componentes da rede, como é o caso de um troço de um arco da rede, ou de uma intersecção, obtendo-se assim resultados muito detalhados e precisos, visto que é possível a modelação individual do veículo ou utilizador da rede, num determinado período de tempo. Neste nível de desagregação de dados, torna-se quase impossível a calibração de um modelo de dimensões ao nível de uma área metropolitana, visto que seria necessária uma quantidade enorme de dados de entrada e de um nível de poder computacional bastante elevado.

Por fim, o nível mesoscópico situa-se entre os dois acima referidos, conseguindo-se uma maior área de análise comparando com o nível microscópico, e com resultados mais detalhados face aos obtidos com um nível macroscópico.

Consoante o nível de detalhe adotado, as decisões efetuadas pelos utilizadores da rede também serão de diferentes tipos, podendo estas ser de carácter estratégico (como é o caso da compra de um veículo ou da decisão de viagem, sendo estas decisões tomadas muito antes do começo da viagem), tático (como é o caso da hora de partida ou da escolha de um caminho, decisões estas feitas no início da viagem) ou operacional (como é o caso do incremento ou decréscimo da velocidade na viagem ou da mudança de via, sendo estas feitas durante a viagem), Vanderschuren, (2006).

No caso do nível de detalhe macroscópico, estas tomadas de decisão verificam-se sobretudo a médio e longo prazo (caracter tático e estratégico), enquanto que no caso dos modelos microscópico verificam-se tomadas de decisão ao longo da viagem, de caracter operacional (decisões tomadas com efeitos a curto prazo ou em tempo real), como se apresenta na figura.

Capítulo II. – Revisão bibliográfica

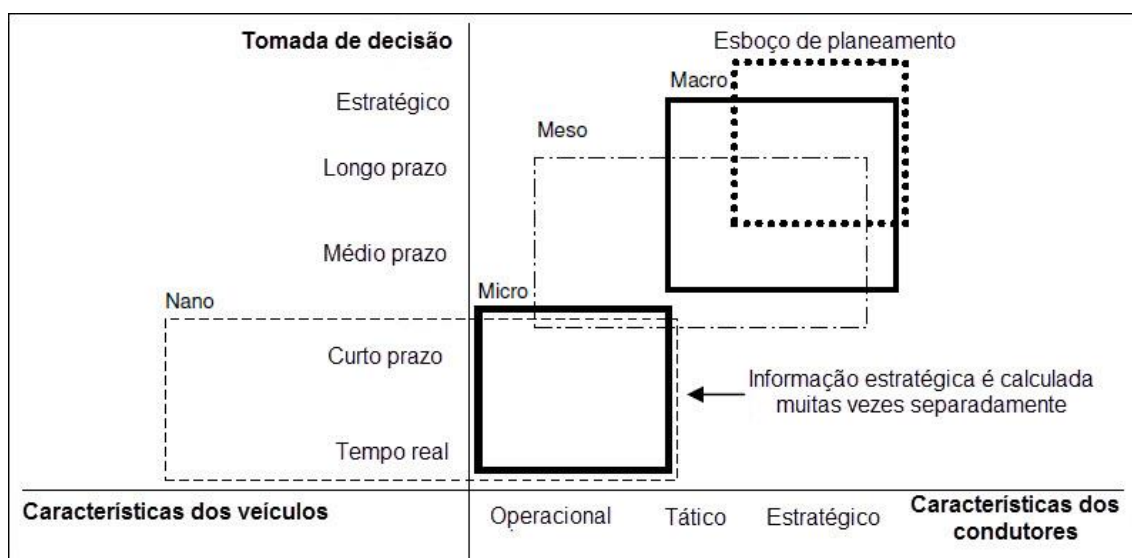


Figura 4 – Características das tomadas de decisão nos diferentes níveis de detalhe
Fonte: Vanderschuren, (2006).

De seguida, apresentam-se na Tabela 2 os critérios adotados pelo *Federal Highway Administration Traffic Analysis Tools* para a escolha de uma ferramenta de análise de tráfego com o correto nível de detalhe.

Tabela 2- Critérios para a seleção do nível correto de detalhe de modelação
(Adaptado de: Jeannotte, Chandra, Alexiadis, & Skabardonis, 2004)

	Macroscópico	Mesoscópico	Microscópico
Contexto Analítico			
Planeamento	FPA	FPA	FPA
Projeto	FTA	FTA	FTA
Operação	FTA	FTA	FTA
Contexto Geográfico			
Local isolado	FNA	FNA	FNA
Segmento de arco	FPA	FPA	FPA
Corredor ou pequena rede	FPA	FPA	FPA
Região	FPA	FPA	FPA
Tipo de Infraestrutura			
Intersecção isolada	FTA	FTA	FTA
Rotunda	FPA	FNA	FPA
Via arterial	FTA	FTA	FTA
Autoestrada	FTA	FTA	FTA
Vias reversíveis	FNA	FPA	FTA

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

	Macroscópico	Mesoscópico	Microscópico
Praça	FNA	FNA	FPA
Modo de Transporte			
Transporte Individual	FTA	FTA	FTA
Autocarro	FPA	FTA	FTA
Pedonal	FPA	FPA	FPA
Nota:	FPA – Ferramenta Perfeitamente Aplicável FTA – Ferramenta Teoricamente Aplicável FNA – Ferramenta Não Aplicável		

Na Tabela 3 apresenta-se também uma análise custo-benefício para cada nível de detalhe de modelação.

Tabela 3- Análise custo-benefício para cada nível de detalhe de modelação

(Adaptado de: Jeannotte, Chandra, Alexiadis, & Skabardonis, 2004)

	Macroscópico	Mesoscópico	Microscópico
Análise de Custo Benefício			
Custo geral	M	B	B
Nível de esforço	M	B	B
Confiável	M	B	M
Requisitos computacionais	B	B	B
Requisitos de dados	B	B	B
Tempo de simulação computacional	E	B	B
Requisitos após análise	M	E	E
Documentação	M	M	M
Suporte ao utilizador	M	M	M
Parâmetros chave definidos pelo utilizador	E	E	E
Valores predefinidos fornecidos	E	E	E
Nota:	E - Elevado	M - Médio	B - Baixo

2.4.3. Modelos determinísticos ou estocásticos;

Um modelo é considerado determinístico se não existir nenhum elemento com características variáveis intervenientes na simulação, ou seja, se o estado do ambiente em que o agente opera é determinado pelas suas ações e comportamentos de forma completamente determinada.

Capítulo II. – Revisão bibliográfica

Neste tipo de abordagem, é assumido que os utilizadores da rede adotam o caminho em que o custo, a distância ou o tempo de viagem é mínimo entre a origem e o destino. Esta situação acontece, devido ao facto de estes modelos presumirem que os utilizadores da rede têm informação precisa e concreta sobre o tempo de viagem em toda a rede, que estes tomam sempre decisões corretas sobre os caminhos a utilizar e que todos os utilizadores se comportam de forma idêntica, o que se revela ser uma suposição não razoável para a maioria das situações, (Sheffi, 1985).

Quando um agente não tem comportamentos determinísticos, quer devido à incerteza sobre o ambiente envolvente, quer porque representa uma classe de indivíduos com padrões médios coincidentes com os do agente, mas variáveis, o modelo é considerado estocástico, visto que existe uma parcela de comportamentos e escolhas que é variável. Isto resulta numa capacidade dos agentes de lidar com circunstâncias inesperadas, como é o caso da perceção do tempo de viagem na rede como um fator aleatório, (Russell et al., 1995).

2.4.4. Modelos desenvolvidos com base analítica ou através de simulação;

Os modelos podem ainda ser desenvolvidos com base analítica quando, é usado computação matemática para determinar o estado de um sistema ou modelo. Este tipo de modelos pode ainda ser desenvolvido com condições de desagregação de informação como apresentados no ponto 2.4.2, mas serem também dotados de elementos estocásticos, como já referidos no ponto 2.4.3.

Um sistema que é desenvolvido através de simulação é dotado de um conjunto de regras (maioritariamente sob a forma de equações matemáticas) que regem o comportamento dos agentes da rede no modelo a analisar. Estes modelos podem também ser determinísticos ou estocásticos, sendo para este última classificação necessária a execução de várias simulações, (Akçelik & Besley, 2007).

2.4.5. Outras características dos modelos.

É ainda possível impor no modelo restrições de capacidade dos arcos e nós constituintes da rede, o que afeta o cálculo dos tempos de viagem, podendo estes depender das condições do tráfego (velocidade nos arcos e atrasos nas interseções), (Tavares, 2003).

Os modelos podem também ser classificados quanto à forma de abordagem, ou seja, se se apresentam como sendo dedutivos ou indutivos. No caso da micro-simulação, os modelos são dotados de abordagens indutivas, ou seja, *bottom-up*, em que inicialmente é feita uma caracterização dos elementos de base do sistema, sendo efetuada posteriormente uma junção

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

destes mesmos elementos em diferentes classes, até que seja obtida uma caracterização completa do universo que o modelo pretende representar, (Von Zuben & Attux, n.d.).

2.5. Identificação de uma ferramenta de micro-simulação mais adequada ao desenvolvimento de um estudo de caso urbano em Lisboa

Neste ponto são referenciadas todas as ferramentas de micro-simulação identificadas ao longo do desenvolvimento e pesquisa efetuada nesta dissertação. Salienta-se que o *MATSim* não é abordado neste capítulo, porque como é a ferramenta a utilizar nesta dissertação, será efetuada uma revisão mais detalhada dos estudos de referência já efetuados com o mesmo no Capítulo III.

São inúmeros os estudos e documentos em que é feita a análise e a comparação pontual de ferramentas de simulação de tráfego, em que cada um destes estudos compara algumas destas ferramentas umas com as outras, não sendo no entanto feito um *benchmarking* aprofundado e generalizado. Ainda assim, podemos afirmar que nos últimos 20 anos foram realizados, alguns estudos em que são identificados uma grande variedade de modelos e feita uma análise detalhada dos mesmos. Nos próximos parágrafos apresenta-se uma breve descrição das principais fontes de revisão bibliográfica analisadas, fazendo-se a síntese das mesmas na Tabela 4.

Um estudo elaborado em 1997 (Algers et al., 1997) apresenta uma série de ferramentas de micro-simulação de tráfego, identificando o país de origem, a respetiva organização, e o ambiente de simulação para os quais são utilizados, classificando-os em 4 tipos distintos: *Urbano*, *Autoestrada*, *Combinado* ou *Outro*, como se apresenta na Tabela 4. Este estudo teve como objetivo principal a análise e classificação dos modelos existentes nessa data, bem como a identificação de potenciais falhas ou erros em cada um dos modelos.

No final de 2000, um outro estudo (Boxill & Yu, 2000) teve como principal objetivo a identificação e caracterização das funcionalidades de cada ferramenta apresentada, de modo a avaliar a sua aplicabilidade no âmbito dos Sistemas de Transportes Inteligentes.

Mais tarde, Jeannotte et al. (2004) apresentam outro estudo que quantifica os modelos existentes. Este integra-se numa coletânea de 7 volumes ("*Traffic Analysis Tools*") com o intuito de descrever os procedimentos e metodologias a adotar na análise de transportes.

Por fim, um estudo realizado mais recentemente (Gibson, 2012) apresenta uma atualização de outro já apresentado acima (Boxill & Yu, 2000). Um dos objetivos principais foi a

Capítulo II. – Revisão bibliográfica

caracterização mais aprofundada de cada ferramenta que ainda se encontrava disponível à data da realização do mesmo, atribuindo 5 critérios de classificação:

- Credibilidade da teoria base usada para a construção do modelo;
- Aplicação em cenários reais;
- Capacidade de devolver informações acerca dos tempos de viagens e velocidades praticadas;
- Possibilidade de ser incorporado em estudos ITS;
- Disponibilidade pública.

Apresenta-se na Tabela 4 o resumo dos estudos acima já analisados, descrevendo o ambiente de simulação em que se inserem, bem como o país e a organização responsável pelo seu desenvolvimento.

Tabela 4 - Tabela resumo dos estudos mencionados

Ferramenta	Organização	Data do Estudo				País	Ambiente
		1997	2000	2004	2012		
AIMSUN 2	Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona	R	R	R	R	Espanha	Combinado
ANATOLL	ISIS and Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement	R	R	R	N	França	Outro
ARCADY2	Department of Transport	N	R	N	N	Reino Unido	Urbano
AUTOBAHN	Benz Consult – GmbH	R	R	R	R	Alemanha	Autoestrada
AVENUE	Tokyo Metropolitan University	N	R	N	R	Japão	Urbano
CARSIM	Mechanical Simulation Corporation	N	R	N	R	E.U.A.	Combinado
CASIMIR	Institut National de Recherche sur les Transports et la Sécurité	R	R	R	N	França	Urbano
CONTRAM	TRL and Mott McDonald	N	R	N	N	Reino Unido	Combinado
CORSIM	Federal Highway Administration	R	R	R	R	E.U.A.	Combinado
DRACULA	Institute for Transport Studies, University of Leeds	R	R	R	R	Reino Unido	Urbano
FLEXSYT II	Ministry of Transport	R	R	R	R	Holanda	Combinado
FOSIM	Transport Research Center	N	R	N	R	Holanda	Autoestrada
FREEVU	University of Waterloo, Department of Civil Engineering	R	R	N	R	Canada	Autoestrada
FRESIM	Federal Highway Administration	R	R	N	R	E.U.A.	Autoestrada
HIPERTRANS	European Commission DGIV	N	R	R	N	Reino Unido	Urbano
HUTSIM	Helsinki University of Technology	R	R	R	R	Finlândia	Urbano
ICARUS	Elsevier Company	N	R	N	R	Holanda	Outro

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

Ferramenta	Organização	Data do Estudo				País	Ambiente
INTEGRATION	Queen's University, Transportation Research Group	R	R	R	R	Canada	Combinado
INTRAS	Federal Highway Administration	N	R	N	R	E.U.A	Autoestrada
JAM		N	R	N	N		
MELROSE	Mitsubishi Electric Corporation	R	R	R	R	Japão	Combinado
METROPOLIS	Universite de Cergy-Pontoise	N	R	N	N	França	Combinado
MICROSIM	Centre of parallel computing (ZPR), University of Cologne	R	R	R	R	Alemanha	Combinado
MICSTRAN	National Research Institute of Police Science	R	R	R	R	Japão	Urbano
MIMIC	Automotive Automation Limited	N	R	N	R	Reino Unido	Combinado
MISSION	National Aeronautics and Space Administration	N	N	N	R	E.U.A	Combinado
MITRAM	University of Electro-Communications	N	N	N	R	Japão	Combinado
MITSIM	Massachusetts Institute of Technology	R	R	R	R	E.U.A	Combinado
MIXIC	Netherlands Organisation for Applied Scientific Research - TNO	R	R	R	R	Holanda	Autoestrada
NEMIS	Mizar Automazione	R	R	R	R	Itália	Urbano
NETSIM	Federal Highway Administration	N	R	N	R	Reino Unido	Urbano
OLSIM	University of Duisberg	N	R	N	R	Alemanha	Autoestrada
PADSIM	Nottingham Trent University – NTU	R	R	R	R	Reino Unido	Urbano
PARAMICS	The Edinburgh Parallel Computing Centre and Quadstone Ltd	R	R	R	R	Reino Unido	Combinado
PELOPS	Institut fur Kraftfahwesen Aachen	N	N	N	R	Alemanha	Outro
PHAROS	Institute for simulation and training	R	R	R	R	E.U.A.	Outro
PLANSIM-T	Centre of parallel computing (ZPR), University of Cologne	R	R	R	R	Alemanha	Combinado
ROADSIM	FHWA, USA	N	R	R	R	E.U.A.	Urbano
SATURN	Institute for Transport Studies, University of Leeds, UK	N	R	N	N	Reino Unido	Outro
SHIVA	Robotics Institute - CMU	R	R	R	R	E.U.A.	Outro
SIGSIM	University of Newcastle	R	R	R	R	Reino Unido	Urbano
SIMCO2	Technical University of Aachen	N	R	N	R	Alemanha	Autoestrada
SIMDAC	ONERA - Centre d'Etudes et de Recherche de Toulouse	R	R	R	R	França	Outro
SIMNET	Technical University Berlin	R	R	R	R	Alemanha	Urbano
SimTraffic	Trafficware, The Traffic Signal Software Company	N	R	R	R	E.U.A.	Outro

Capítulo II. – Revisão bibliográfica

Ferramenta	Organização	Data do Estudo				País	Ambiente
SISTM	Transport Research Laboratory, Crowthorne	R	R	R	R	Reino Unido	Autoestrada
SITRA-B+	ONERA - Centre d'Etudes et de Recherche de Toulouse	R	R	R	R	França	Urbano
SITRAS	University of New South Wales, School of Civil Engineering	R	R	R	R	Austrália	Urbano
SMARTAHS	University of California Berkley	N	R	N	N	E.U.A.	Autoestrada
SmartPATH	University of California Berkley	N	R	R	N	E.U.A.	Autoestrada
SOUND	University of Tokyo	N	R	N	R	Japão	Combinado
SPEACS	Prometheus Program	N	R	N	R	Reino Unido	Autoestrada
STEER	Network Control Group at University of York, UK	N	R	N	R	Reino Unido	Autoestrada
STREETSIM		N	R	N	R		Outro
SUMO	Institute of Transportation Systems at the German Aerospace Center	N	N	N	R	Alemanha	Combinado
TEXAS	University Of Texas	N	R	R	N	E.U.A.	Outro
TEXSIM	Texas Transportation Institute	N	R	N	N	E.U.A.	Outro
THOREAU	MITRE Corporation	R	R	N	R	E.U.A.	Urbano
TRAFFICQ	MVA	N	R	N	R	E.U.A.	Outro
TRANSIMS	Los Alamos National Laboratory	R	R	R	R	E.U.A.	Combinado
TRANSMODELER	Caliper Corporation	N	N	N	R	E.U.A.	Combinado
TRARR	Australian Road Research Board	N	N	R	N	Austrália	Urbano
TRGMSM	J. Wu and M. McDonald	N	R	N	N	E.U.A.	Outro
TRITRAM	CSRIO and Roads and Traffic Authority of New	N	R	N	N	Pais de Gales	Autoestrada
TRAF-NETSIM	Federal Highway Administration	R	N	N	N	E.U.A.	Urbano
TWOPAS	Midwest Research Institute	N	N	R	N	E.U.A.	Autoestrada
UTSS	Hong-Cha University	N	R	N	N		Urbano
VEDENS	AEA Technology	N	R	N	R	E.U.A.	Outro
VISSIM	PTV System Software and Consulting GMBH	R	R	R	R	Alemanha	Combinado
WATSIM	KLD Associates	N	R	R	R	E.U.A.	Combinado
WEAVSIM	FHWA	N	R	N	R	E.U.A.	Combinado
Nota:							
R - Referenciado no estudo		N - Não Referenciado no estudo			Sem informação disponível		

Há que referir também que, desde a data de elaboração destes estudos até aos dias de hoje, alguns dos modelos em análise foram descontinuados.

A análise dos estudos descritos e os resultados obtidos permitem destacar alguns modelos que, devido ao seu uso comercial e/ou à sua aplicação na área de investigação, são os mais utilizados,

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

como é o caso do *CORSIM*, do *VISSIM*, do *PARAMICS*, do *INTEGRATION* e do *SimTraffic* (Appiah, Ph, Naik, Rilett, & Kim, 2011).

O *CORSIM* (*CORridor-microscopic SIMulation*) apresenta-se como um conjunto de duas ferramentas de simulação a nível microscópico, o *NETSim* (que analisa o tráfego urbano) e o *FRESIM*, que modela o tráfego ao nível das autoestradas. Esta ferramenta é considerada aquela que representa mais fiavelmente as manobras de mudança de via, visto que é dotado da representação dos movimentos de veículos individuais (tendo em conta o comportamento do condutor) e consegue obter resultados muito detalhados para a análise de impactos específicos, como por exemplo, a mudança de uma paragem de autocarro ou a mudança de restrições de estacionamento, (Industries, 2006).

O *VISSIM* apresenta-se como uma ferramenta com um nível de detalhe microscópico muito bom, baseado em atividades e que é sensível ao fator tempo. É uma ferramenta de simulação de tráfego urbano, transporte público e tráfego pedestre. As principais vantagens do uso desta ferramenta é a possibilidade da visualização das interações entre o tráfego pedestre e o tráfego urbano, presente nos arcos e nós, o dimensionamento, avaliação e calibração de cruzamentos regulados por sinais e a análise do tráfego em caso de congestionamento ou velocidades muito lentas (PTV, 2012).

O *PARAMICS* é uma ferramenta de alta performance passível de ser usada para a modelação do movimento e comportamento dos utilizadores da rede, podendo efetuar modelação urbana, interurbana ou em autoestradas. A ferramenta é constituída por 5 módulos, sendo estes o *Modeller*, *Processor*, *Analyser*, *Programmer* e *Monitor*. É possível também a visualização do modelo (a três dimensões contendo os veículos intervenientes neste) e também a modificação e implementação de novas regras de comportamento dos agentes, (Aitken & Braidwood, 2003).

O *INTEGRATION* apresenta-se como a única ferramenta das citadas em que se pode simular inversões do sentido de marcha (Prevedouros & Wang, 1998), mas tem grandes limitações em cruzamentos semaforizados. O nome *INTEGRATION* deriva da integração entre a afetação do tráfego, a simulação a nível microscópico e a modelação de redes de autoestradas e vias arteriais, seguindo uma lógica simples, (Van Aerde, 2010).

O *SimTraffic* apresenta-se como a ferramenta mais fácil de utilizar das cinco apresentadas. Esta é usada geralmente em gestão operacional, conjuntamente com a ferramenta *SYNCHRO*, uma ferramenta de otimização de tempos em cruzamentos semaforizados. Uma pequena desvantagem do *SimTraffic* é a escassez de detalhe nos ficheiros de saída, bem como de análises

Capítulo II. – Revisão bibliográfica

automáticas da rede e de congestionamento. Por outro lado, esta apresenta a capacidade da visualização dos modelos em três dimensões, funcionando esta ferramenta muitas vezes como um complemento menos detalhados e alternativo ao uso de ferramentas como o *VISSIM* ou *PARAMICS*, embora com nível de desenvolvimento e detalhe menor

De seguida, apresenta-se um quadro resumo de alguns estudos em que estas ferramentas foram comparadas entre si ou com outras de relevância identificada, não tendo sido estas, no entanto, aprofundadas.

Tabela 5 - Quadro resumo de estudos efetuados com as principais ferramentas de micro-simulação

(Adaptado de: Ratrou et al., 2009)

Referência	Ferramentas Comparadas	Principais conclusões
(Rakha & Van Aerde, 1996)	<i>TRANSYT</i> e <i>INTEGRATION</i>	Os principais problemas da regulação dos vários tempos presentes nos sinais luminosos, que não podem ser examinados pela ferramenta <i>TRANSYT</i> , foram analisados pelo <i>INTEGRATION</i> devido às suas propriedades de simulação dinâmica. Esta última ferramenta consegue obter os mesmos resultados que o <i>TRANSYT</i> conseguindo colmatar as falhas e limitações apresentadas por este.
(Middleton & Cooner, 1999)	<i>CORSIM</i> , <i>FREQ</i> e <i>INTEGRATION</i>	As ferramentas foram utilizadas para a simulação de tráfego em meio urbano, obtendo-se praticamente os mesmo resultados para situações de não congestionamento. Pelo contrário, estas foram inconclusivas na análise de situações de congestionamento.
(Prevedouros & Wang, 1998)	<i>INTEGRATION</i> , <i>CORSIM</i> e <i>WATSim</i>	Foram introduzidas nestas ferramentas dados de entrada de modo a estas representarem uma rede composta por troços urbanos e extra urbanos e posteriormente comparar os resultados obtidos com volumes de tráfego reais. Para a ferramenta <i>INTEGRATION</i> foi necessária uma extensa modificação dos parâmetros envolvidos de modo a que os valores obtidos se aproximassem da realidade. Para o <i>WATSIM</i> foram necessárias apenas poucas modificações, tendo apresentado valores muito próximos do <i>CORSIM</i> .
(Bloomberg & Dale, 2000)	<i>CORSIM</i> e <i>VISSIM</i>	Estas ferramentas foram comparadas para cenários de congestionamento, apresentando valores muitos próximos, mesmo tendo em conta apenas as predefinições de cada uma das ferramentas.
(Boxill & Yu, 2000)	<i>CORSIM</i> , <i>INTEGRATION</i> , <i>AIMSUM</i> e <i>PARAMICS</i>	Este estudo teve o intuito da avaliação da integração de cada uma das ferramentas em Sistemas de Transporte Inteligentes. As ferramentas <i>AIMSUM</i> e <i>PARAMICS</i> apresentaram um grande potencial apesar de requererem um maior esforço para a calibração e validação de dados. Conclui-se também que as ferramentas <i>CORSIM</i> e <i>INTEGRATION</i> se apresentam com uma maior probabilidade de sucesso na solução de problemas reais, não descurando a também extensa calibração e validação de dados

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

Referência	Ferramentas Comparadas	Principais conclusões
(Barrios, Ridgway, & Choa, 2001)	<i>CORSIM</i> , <i>VISSIM</i> , <i>PARAMICS</i> e <i>SimTraffic</i>	Foi tido como principal fator de análise a capacidade da representação gráfica (animação), especialmente no caso da simulação de transporte público (autocarro), sendo escolhido o <i>VISSIM</i> como aquele que apresenta as melhores características, muito devido à possibilidade da representação a três dimensões.
(Choa, Milam, & Stanek, 2002)	<i>CORSIM</i> , <i>PARAMICS</i> e <i>VISSIM</i>	De acordo com este estudo, a ferramenta que tem uma melhor performance na modelação de agentes isolados é o <i>CORSIM</i> , devido à menor dificuldade de estipulação das regras e do superior desempenho computacional. O <i>PARAMICS</i> e o <i>VISSIM</i> distinguiram-se pela grande capacidade da representação dos resultados da simulação em três dimensões, tendo uma melhor perspectiva dos resultados em situações reais.
(Tian, Ii, Engelbrecht, & Balke, 2002)	<i>CORSIM</i> , <i>SimTraffic</i> e <i>VISSIM</i>	Vias arteriais equipadas com sinais luminosos foram o principal fator de análise deste estudo. A principal conclusão retirada é o facto de os valores obtidos diferirem com o tamanho do arco, da velocidade praticada e do volume de tráfego no arco. O <i>CORSIM</i> apresentou valores mais estáveis quando comparado com as outras ferramentas
(Bloomberg, Hill, & Swenson, 2003)	<i>CORSIM</i> , <i>INTEGRATION</i> , <i>MITSIMLab</i> , <i>PARAMICS</i> , <i>VISSIM</i> e <i>WATSIM</i>	Todos os modelos apresentados foram estudados para as situações de intersecções sinalizadas em redes urbanas, desempenhando o seu papel consistentemente e com valores razoavelmente aceitáveis
(Kosman, Hallmark, & Poska, 2003)	<i>VISSIM</i> e <i>CORSIM</i>	Ambos os modelos conseguem obter resultados adequados de velocidades de circulação na rede, que funcionaram como dados de entrada para a análise de emissões de gases ao nível.
(Sullivan, Malave, Cheekoti, & Jones, 2004)	<i>CORSIM</i> , <i>SimTraffic</i> , e <i>AIMSUN</i>	As 3 ferramentas apresentadas possuem características vantajosas para a criação de grandes redes urbanas e extraurbanas, destacando-se o <i>AIMSUM</i> pela qualidade da afetação de tráfego dinâmica, possuindo este ultimo uma codificação mais complexa.

2.6. Súmula do capítulo

Neste capítulo foram abordadas as matérias relevantes e conexas com o tema da micro-simulação de sistemas de transportes que a presente dissertação aborda.

Primeiramente foi feito o enquadramento na temática do planeamento de transportes, fazendo referência ao Modelo dos 4 Passos. Visto que o *MATSim* é uma ferramenta de simulação e modelação de tráfego com uma abordagem baseada em agentes deliberativos (sendo esta ferramenta das primeiras a utilizar este tipo de agentes) e em atividades, foram também analisadas estas temáticas, tendo-se descrito as características destes dois tipos de modelação.

Capítulo II. – Revisão bibliográfica

Foram também apresentados outros tipos possíveis de classificação dos modelos de transportes e apresentados os campos de intervenção em que os modelos de simulação intervêm.

Por fim, e porque o *MATSim* é uma ferramenta dotada de um nível de detalhe microscópico, foram apresentadas outras ferramentas com características equiparáveis, principalmente com o mesmo nível de detalhe. Foram também explicitadas algumas das características mais relevantes daquelas que, como já referido, devido aos seus usos comerciais e às suas aplicações nas áreas de investigação, são os mais utilizados nos Estados Unidos: o *CORSIM*, o *VISSIM*, o *PARAMICS*, o *INTEGRATION* e o *SimTraffic*.

Capítulo III. - Análise da ferramenta *MATSim*

3.1. Introdução

Como já referido, a ferramenta utilizada para a construção de um modelo de simulação de tráfego será o *MATSim*. Neste capítulo é feita uma análise mais aprofundada desta ferramenta, apresentando todas as características, funcionalidades, potencialidades e cenários já modelados. Deste modo, é então possível a perceção do tipo, estrutura e nível de desagregação dos dados de entrada e de saída obtidos no processo de criação de um novo cenário.

3.2. O *MATSim*

O *MATSim* (*Multi Agent Transport Simulation*) apresenta-se como uma ferramenta de simulação de transportes com base em agentes, mais precisamente como modelo de afetação de tráfego, sendo o seu ambiente desenvolvido maioritariamente em linguagem *java*, possibilitando a sua utilização na maioria dos sistemas operativos.

Os agentes constituintes desta ferramenta, tal como apresentado no ponto 2.2, podem ser classificados como sendo agentes deliberativos, ou seja, possuem uma inteligência para a escolha das melhores opções e decisões a tomar de modo à obtenção dos objetivos propostos.

A principal característica do *MATSim* é a tratar-se de uma ferramenta gratuita, facilmente acessível e compreensível, muito pela razão de ser acompanhado de um tutorial em que são apresentados, passo a passo, todos os caminhos que se devem seguir para a obtenção de uma análise correta dos exemplos dados, sendo estes também fornecidos de forma gratuita.

Para além das características já referidas (ser uma ferramenta gratuita e disponibilizar uma rápida simulação com base em agentes), o *MATSim* oferece, igualmente, outras potencialidades:

- Afetação de tráfego dinâmica;
- Possibilidade da simulação de dias inteiros em minutos;
- Simulação de transporte individual e de transporte público;
- Resultados de simulação e de análises facilmente compreensíveis;
- Simulação de áreas de intervenção de grande dimensão, recorrendo a milhares de agentes para tal, podendo simular milhões de agentes e/ou redes com um grande nível de detalhe;
- Facilmente personalizável com potencialidades desenvolvidas pelos utilizadores;

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

- Visualizador interativo, que fornece a possibilidade de visualizar a ação de um único agente entre todos os intervenientes na simulação, necessitando este de uma licença de utilização (sendo paga a partir dos 6 meses) visto que foi desenvolvido por uma empresa exterior ao *MATSim*;
- Ferramenta em constante desenvolvimento com o intuito de desenvolver novas características e melhorar as existentes.

3.2.1. Síntese sobre a evolução do *MATSim*

O *MATSim* foi criado no final da década de 90, do século XX, sendo constituído por um conjunto de ferramentas isoladas, em linguagem *C* ou *C++* (Balmer & Rieser, 2008).

Teve a sua primeira implementação em por Raney & Nagel, conseguindo-se obter os primeiros resultados de um modelo de simulação baseada em agentes para a cidade de Zurique. As simulações foram executadas com o recurso ao sistema *MPI* (*Message Passing Interface*), um sistema em que é possível o funcionamento de vários computadores em paralelo, sendo o uso do *CPU* necessário distribuído por cada um deles. Na mesma época, foi também efetuada a substituição das bases de dados em ficheiros *flat* por ficheiros de extensão *xml*, excetuando o ficheiro de Eventos.

Em 2005, foi efetuado a transposição do código em *C* ou *C++* para *java*. Foi também possível a utilização, pela primeira vez, de um único computador para correr o *MATSim*, funcionando de forma iterativa. Foi também implementada a funcionalidade da escolha do tipo de custo de viagem (tempo, distância, peço), a possibilidade da simulação de cenários de evacuação, e foi incorporado um leque de análises automáticas (tempos de viagem, planos de viagem melhorados, comparações com contagens de tráfego real, ficheiros escritos e de imagem com os vários resultados obtidos).

Mais recentemente, em 2008, a ferramenta *MATSim* foi apresentada na conferência *Heureka* por Balmer et al., (2008) com o primeiro projeto externo, a representação comprovada da cidade de Zurique. Foi também desenvolvido no ano de 2008 o primeiro modelo executado por utilizadores independentes (que não estiveram ligados à sua criação), tendo sido também implementado um visualizador interativo e melhoradas as velocidades de simulação da ferramenta.

Atualmente, o *MATSim* enfrenta cada vez mais desafios, à medida que várias aplicações vão requerendo a simulação de tráfego em redes com cada vez mais nível de detalhe. Alguns exemplos destas aplicações são:

Capítulo III. – Análise da ferramenta *MATSim*

- Inquéritos de viagem com base em dados GPS, que requerem um grande nível de detalhe da rede, de modo a que os dados recolhidos sejam corretamente afetados à rede;
- Sistemas de Transporte Inteligente, em que é necessário um maior detalhe de informação no que diz respeito às contagens de tráfego, de modo a modelar mais corretamente os sinais luminosos das intersecções e prever os fenómenos resultantes destes;
- Aplicações comerciais, visto que certas empresas necessitam de prever qual o número muito aproximado de veículos que passam numa determinada secção da rede, de modo a portajar esse arco devidamente, bem como as características desses utilizadores, como por exemplo a zona onde habitam ou o número de vezes que passam por dia na secção do arco.

3.2.2. Revisão bibliográfica sobre o *MATSim*

Apresentam-se na Tabela 6 os principais modelos e cenários criados em *MATSim* e referenciados e citados neste trabalho.

Tabela 6 - Estudos e modelos já efetuados com o uso da ferramenta *MATSim*

Ano	Referencia	Cidade Região	Resumo
2005	(Balmer, Nagel, & Axhausen, 2005)	Zurique	Foi demonstrado, neste trabalho, a flexibilidade da implantação da ferramenta <i>MATSim</i> numa zona com as características da cidade de Zurique. Foi também concluído que se pode realizar a modelação do sistema de transportes com um número ilimitado de agentes, obter tipos diferentes de desagregação e também a possibilidade de modificar a quantidade e forma de dados de entrada, consoante o cenário escolhido.
2007	(Bischoff, 2007)	<i>Sioux Falls</i>	Este modelo simula uma evacuação de grande escala, ao nível da cidade de <i>Sioux Falls</i> , para o caso de uma catástrofe natural, como é o caso de um <i>tsunami</i> . Este tipo de modelos consegue prever o comportamento das pessoas face a estes acontecimentos, conseguindo obter quais as zonas de maior aglomeração e passíveis de resultarem em becos sem saída. Foi ainda previsto que este modelo possa ser implementado, mais tarde, na cidade de Padang.
2007	(Illenbergerl, Flotterod, & Nagel, 2007)	Berlim	Neste estudo foi efetuada a aplicação da ferramenta <i>MATSim</i> , sendo modelada uma zona da cidade de Berlin. Foram consideradas como impedâncias o custo de viagem e a distância percorrida, comprovando-se assim a sua aplicabilidade e implementação num cenário com estas características

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

Ano	Referencia	Cidade Região	Resumo
2007	(Rommel, 2007)	Berlim	O principal objetivo desta tese de mestrado foi a modelação de tráfego no <i>MATSim</i> por meio de orientação automática com dispositivos COOPERS (<i>Co-operative Systems for Intelligent Road Safety</i>). A conclusão retirada é que a modelação e controle do tráfego com base no <i>feedback</i> e em tempo real melhora significativamente as condições de tráfego em cenários onde as vias se encontram com capacidade limitada devido, por exemplo, a um acidente de tráfego.
2008	(Senozon, 2012a)	Berlim	A empresa <i>Senozon</i> , juntamente com a empresa <i>PTV Berlin</i> , construíram um modelo baseado em atividades com uma afetação de tráfego dinâmica para estimar o tráfego existente para ano de 2015. A principal funcionalidade é a capacidade da <i>BVG (Berliner Verkehrsbetriebe</i> ; companhia de transporte público de Berlin) testar a implementação de casos de estudo com vista à melhoria do tráfego rodoviário (tanto transporte particular como público).
2009	(Joubert, Fourie, & Axhausen, 2009)	Gauteng	Foi utilizada neste trabalho uma abordagem baseada em agentes para modelar e simular cadeias de atividades (planos), recorrendo a veículos comerciais e particulares, para o cenário da cidade de Gauteng. Foram também comparados os resultados de contagens de tráfego reais com os resultados obtidos no modelo, obtendo uma variância de cerca de 20%.
2009	(Marchal & Wisetjindawat, 2009)	Lyon	Foi construído um modelo inicial para a cidade de <i>Lyon</i> , com o intuito de analisar todo o processo de recolha de dados, geração de população inicial e uma afetação preliminar.
2009	(Ou, Balmer, Liu, & Shi, 2009)	Zurique	Este estudo teve como principal objetivo a modelação de intersecções sinalizadas no modelo de Zurique já construído anteriormente. Conclui-se que o fator predominante é o tempo de sinal verde, mas também que o tempo de viagem, à medida que se avança no processo iterativo, tende a estabilizar.
2010	(Bekhor, Dobler, & Axhausen, 2010)	Tel Aviv	O estudo teve como objetivo a integração de um modelo baseado em atividades com um outro baseado em agentes dinâmicos. O primeiro aspeto a salientar é a rapidez de execução da simulação do <i>MATSim</i> , pelo facto de ser muito maior que a do <i>Activity Generator Unit of Tel Aviv</i> . Obtiveram-se também resultados bastante satisfatórios, mesmo tratando-se de dados pouco agregados.
2010	(Fourie, 2010)	Gauteng	A principal motivação deste estudo foi a comparação da ferramenta <i>MATSim</i> com o <i>EMME/2</i> para o cenário da cidade de Padang. As duas ferramentas apresentaram resultados muito semelhantes mas numa apreciação mais minuciosa, o <i>MATSim</i> consegue utilizar de forma mais eficiente os arcos com menor capacidade de modo a evitar congestionamentos

Capítulo III. – Análise da ferramenta *MATSim*

Ano	Referencia	Cidade Região	Resumo
2010	(Gerike, Nagel, & Luz, 2011)	Munique	O principal objetivo deste modelo foi a integração da ferramenta <i>MATSim</i> com o cálculo das emissões de gases para a atmosfera de acordo com o HBEFA (<i>Handbook of Emission Factors for Road Transport</i>). Os resultados obtidos consideraram-se muito satisfatórios ao nível da comparação com o PHEM, apresentando as duas ferramentas valores muito semelhantes. Foi também tido em conta a possibilidade da aplicação deste tipo de modelos a cenários diferentes, devido à possibilidade da modificação das características dos agentes e das fontes emissoras de gases.
2010	(Gao, Balmer, & Miller, 2010)	Toronto	Este modelo resulta de uma comparação entre a ferramenta <i>MATSim</i> e o <i>EMME/2</i> , duas ferramentas de afetação de tráfego com características e funcionalidades diferentes. No caso do <i>MATSim</i> , este apresentou uma melhor performance quanto ao cálculo do tempo de viagem e da velocidade praticada nos arcos, devido à representação do tráfego de uma forma mais realista. Esta ferramenta é também mais sensível ao período horário em que se executa a modelação e a possíveis erros presentes nos dados de entrada. Contudo, de um modo geral, os resultados apresentados pelas duas ferramentas são consistentes em vários aspetos.
2010	(Hattori, Nakajima, & Yamane, 2010)	Kyoto	Foi modelada, neste cenário, uma zona da cidade de Kyoto, com os objetivos de representar o tráfego urbano, capturar os fenómenos emergentes dos vários fluxos de tráfego e de analisar esses mesmos fluxos, tanto a nível macroscópico como a nível microscópico.
2010	(Hurtubia, 2010)	Bruxelas	Neste cenário, a ferramenta <i>MATSim</i> foi utilizada como complemento do <i>UrbanSim</i> , fornecendo dados de entrada decorrentes dos sistemas de transportes, a serem utilizados num protótipo para a cidade de Bruxelas.
2010	(Meister et al., 2010)	Zurique	Este estudo decorre da otimização e atualização do modelo já apresentado em 2005 para Zurique, mas agora fazendo referência à possibilidade da modelação de toda a repartição modal. Este cenário apresenta-se composto por 6 milhões de agentes, numa rede com mais de um milhão de arcos. Foi concluído que esta ferramenta é muito sensível aos possíveis erros presentes nos dados de entrada, bem como à dificuldade de um utilizador singular conseguir reunir toda a informação necessária à modelação num nível de detalhe correto.
2010	(Ciari, Schuessler, & Axhausen, 2010)	Zurique	Foi modelado e analisado, neste cenário, recorrendo ao modelo da cidade já criado, a função de <i>carsharing</i> , ainda em desenvolvimento. Este modelo poderá prever a procura de utilizadores de <i>carsharing</i> , bem como das suas características e comportamentos face a vários fatores aleatórios. Concluiu-se pela possibilidade de inclusão do <i>carsharing</i> na modelação de grandes cenários, mesmo tratando-se de um nível microscópico.

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

Ano	Referencia	Cidade Região	Resumo
2011	(Ravulaparthi & Goulias, 2011)	<i>Santa Barbara</i>	O <i>MATSim</i> é apresentado como uma ferramenta a utilizar num trabalho futuro para a obtenção de dados sobre modos de viagem e de afetação de tráfego para a utilização no modelo construído na ferramenta <i>UrbanSim</i> , de modo a obter previsões de dados sociodemográficos até 20 anos.
2011	(Nicolai, Wang, Nagel, & Waddell, 2011)	<i>Seattle</i>	O principal objetivo a alcançar foi a utilização simultânea de um modelo de usos de solo (<i>UrbanSim</i>) com um modelo baseado em agentes (<i>MATSim</i>) numa área com uma acessibilidade muito reduzida, analisando também os efeitos causados por possíveis congestionamentos.
2011	(Hatzopoulou, Hao, & Miller, 2011)	<i>Toronto</i>	Este modelo foi criado com o principal objetivo de prever as emissões de gases poluentes derivados do tráfego rodoviário, a qualidade do ar e a exposição destes gases à população. Este modelo conseguiu captar os fenómenos emergentes da emissão de gases tendo em conta as modificações efetuadas na rede, como é o caso de portajar arcos, políticas de estacionamento ou mudança de capacidade da via.
2011	(Senozon, 2012b)	<i>Los Angeles</i>	Foi criado um protótipo da cidade de <i>Los Angeles</i> , pela empresa <i>Senozon</i> , que visou a integração da ferramenta <i>MATSim</i> com uma outra ferramenta, o <i>CEMDAP (Comprehensive Econometric Micro-simulator for Daily Activity-travel Patterns)</i> tendo em conta a representação e visualização de uma amostra da população.
2011	(Wevell, 2011)	África do Sul	Neste trabalho final de bacharelato, foi analisada a viabilidade da implantação da ferramenta <i>MATSim</i> no contexto da zona sul-africana. Devido às características inerentes dos utilizadores e dos modos de transporte utilizados, a principal conclusão retirada foi a possibilidade da sua implementação, mesmo tendo em conta o grande número de utilizadores de transporte público, resultando assim numa previsão e modelação de correntes de tráfego mais aproximada da realidade
2012	(<i>MATSim</i> , 2012a)	<i>Poznan</i>	Esta cidade, juntamente com as suas áreas suburbanas, é constituída por 1 milhão de pessoas. O modelo é formado por uma rede de aproximadamente 13600 nós e 32000 arcos. O projeto começou por volta do ano 2012, sendo o objetivo principal a simulação do conjunto de todos os agentes intervenientes no modelo, no espaço horário de um dia (24 horas).
2012	(Plessis & Joubert, 2012)	<i>Gauteng</i>	O principal objetivo deste modelo foi a simulação do comportamento dos utilizadores da rede mediante as várias alterações no preço de viagem, como é o caso de portajar um certo arco da rede. Este modelo poderá servir para a previsão de qual o preço mais aceitável, mediante o comportamento dos respetivos utilizadores.

Capítulo III. – Análise da ferramenta *MATSim*

Ano	Referencia	Cidade Região	Resumo
2012	(Bouman et al., 2012)	<i>Netherlands</i>	O principal objetivo foi o de representar todos os movimentos dos agentes, sendo estes heterogéneos e contendo aproximadamente quatro meses de dados recolhidos, tendo sido alcançado. Como perspetivas futuras deve-se salientar o fato de, apesar de os resultados serem satisfatórios, ser necessário uma melhor e mais exaustiva calibração do modelo, de modo a representar de forma ainda mais precisa a realidade.
2012	(McArdle, Furey, Lawlor, & Pozdnoukhov, 2012)	<i>Dublin</i>	Para este cenário, os principais objetivos atingidos foram o de comparar os dados resultantes da simulação, com dados recolhidos em campo. Obtiveram-se dados muito satisfatórios, com um intervalo de confiança de cerca de 40%, mesmo tratando-se de uma abordagem genérica. Foi também registado que as vias mais congestionadas no modelo são aquelas em que, na realidade, existem congestionamentos, o que resulta numa representação da realidade com alguma veracidade.
2012	(Velden, 2012)	<i>Nelson Mandela Bay Metropole</i>	Este trabalho final de bacharelato teve como principal objetivo a implementação da ferramenta <i>MATSim</i> para a zona apresentada. Foi utilizada uma amostra de 10% da população, obtendo-se valores razoavelmente aceitáveis, de modo a serem utilizados para análise de acessibilidades.
2012	(Zilske, n.d.)	<i>Côte d'Ivoire</i>	Foi construído um cenário para esta cidade com base num modelo com dados recolhidos de inquéritos. Esta metodologia foi validada, embora com algumas restrições, nomeadamente na construção do plano diário de viagens de cada um dos agentes. Foi também concluído que os inquéritos podem servir apenas para confirmar e alterar os dados resultantes de um modelo previamente construído, obtendo-se assim resultados mais significantes.
2012	(Goetz & Zipf, 2012)	---	Neste trabalho foi proposta a utilização de dados geográficos provenientes da contribuição e de voluntariado de vários utilizadores, neste caso o <i>OpenStreetMap</i> , para a utilização na simulação de evacuação em caso de emergência num edifício. Como principais desvantagens da utilização deste tipo de dados estáticos destaca-se a impossibilidade da simulação do comportamento dos agentes face a variáveis dinâmicas, como algum objeto em movimento ou gás presente na atmosfera. Por outro lado, o <i>MATSim</i> , funcionando como um processo iterativo, conseguiu obter resultados bastante razoáveis e fiáveis.
2013	(Grether, Fürbas, & Nagel, 2013)	Europa	O principal objetivo deste trabalho foi a análise e previsão do tráfego aéreo na região da Europa, utilizando uma abordagem baseada em agentes. No geral, os resultados mostram que uma simulação deste tipo é perfeitamente viável. Tendo em conta as capacidades e características dos agentes intervenientes, estes foram capazes de aprender as limitações da rede de transporte aéreo e todos eles conseguiram chegar ao destino previamente estipulado. Por outro lado, alguns dos agentes ficaram 'presos' no final do dia, dependendo este número da configuração do modelo e das variáveis intervenientes.

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

Ano	Referencia	Cidade Região	Resumo
2013	(Axhausen, 2013)	Singapura	Este modelo foi construído com o intuito da simulação de todo o sistema de transporte de Singapura durante a hora de ponta da manhã, utilizando a ferramenta <i>MATSim</i> . A implementação deste modelo à escala real representa um marco muito importante para a compreensão da mobilidade em toda a ilha. A aplicação e desenvolvimento fizeram parte de uma tese de doutoramento e permitiu à equipa concretizar várias atividades inovadoras neste campo, para esta cidade.
2013	(EUNOIA, 2013)	Londres	Este modelo será parte integrante do Projeto EUNOIA (<i>Evolutive User-Centric Networks For Intraurban Accessibility</i>) com o intuito de analisar as vantagens das tecnologias de informação e comunicação mais desenvolvidas enquanto ferramentas para a criação de novos modelos urbanos e criação de novas políticas de mobilidade.
2013	(EUNOIA, 2013)	Barcelona	Este modelo é também parte integrante do Projeto EUNOIA, já descrito acima
2013	(Pretoria, 2013)	África do Sul	Desde 2007, o <i>Department of Industrial and Systems Engineering</i> tem trabalhado com o objetivo de criar cada vez mais modelos para a zona do Sul de África. Durante o ano de 2013, foram publicados os modelos referentes a <i>Cape Town, Mangaung, Mbombela, Polokwane</i> e <i>Rustenburg</i> , decorrentes do projeto intitulado " <i>Mobility Modelling using an Affordability Index</i> "
2013	(Lun Zhang, Yang, Wang, & Rao, 2013)	Shangai	Foi demonstrada, neste cenário, a possibilidade do uso da ferramenta <i>MATSim</i> numa zona de grandes dimensões (neste caso com cerca de 50000 arcos e 200000 agentes). Obtiveram-se resultados de contagens de tráfego, quando comparados com dados reais, muito semelhantes.
2013	(Balmer, 2013)	Berlim	Recorrendo ao modelo criado pela <i>Senozon</i> e pela <i>PTV Berlin</i> foi possível a modelação do sistema <i>carsharing</i> na cidade de Berlim.
---	(<i>MATSim</i> , 2012a)	Caracas	Este modelo foi construído ao nível académico e possibilitou a representação da zona comercial e industrial de <i>Los Ruices y Los Cortijos de Lourdes</i> . Foram feitos vários testes e modificações ao modelo de modo a estudar e obter a hora de saída ideal da habitação para os agentes, de modo à rede conseguir suportar todo o tráfego existente na hora de ponta da manhã, quando existem os potenciais congestionamentos.

3.2.3. Procedimento para a utilização do *MATSim*

O tutorial disponibilizado gratuitamente no *site* do *MATSim*, é iniciado com uma pequena introdução, também fornecida em formato de apresentação.

Capítulo III. – Análise da ferramenta *MATSim*

Nela consta uma análise muito generalista desta ferramenta, em que são descritas as etapas do tutorial disponibilizado, a evolução que a ferramenta sofreu (fazendo referência ao modo de funcionamento desta) e os *inputs* necessários para executar a simulação. A descrição dos dados feita seguidamente teve por base o tutorial disponibilizado, (MATSim, 2012a).

3.2.4. Dados de entrada (*input*)

Todos os dados necessários para executar o *MATSim* são disponibilizados gratuitamente. Será feita, seguidamente, uma pequena descrição de cada um dos tipos de informação necessária. Todos os seguintes ficheiros são disponibilizados com extensão *xml*.

3.2.4.1. *Input* da rede

A rede apresenta-se como uma representação da infraestrutura rodoviária. É composta por arcos e nós de ligação, contendo a informação acerca do par de coordenadas no caso dos nós e no caso dos arcos informação relativa à capacidade de cada arco, sentido, origem e destino, extensão, velocidade de fluxo livre, número de vias e modos de transporte permitidos no arco.

```
<nodes>
  <node id="1000" x="730065.3125" y="220415.9531" type="2" origid="1000" />
  <node id="1001" x="731010.5" y="220146.2969" type="2" origid="1001" />
  <node id="10012" x="644902.625" y="234228.0" type="2" origid="10012" />
  <node id="10013" x="643402.0" y="234966.0" type="2" origid="10013" />
  <node id="10014" x="641180.0" y="233040.7031" type="2" origid="10014" />
  <node id="1002" x="731453.75" y="219936.6875" type="2" origid="1002" />
  <node id="1003" x="731715.75" y="219880.8594" type="2" origid="1003" />

```

Figura 5 – Exemplo de um ficheiro *network.xml* referente a nós rodoviários

```
<links capperiod="10:00:00">
  <link id="100365" from="226" to="227" length="921.0" freespeed="33.33333333333333" capacity="56000.0" permlanes="2" oneway="1" origid="183" type="10" />
  <link id="100366" from="227" to="226" length="921.0" freespeed="33.33333333333333" capacity="56000.0" permlanes="2" oneway="1" origid="183" type="10" />
  <link id="100367" from="228" to="229" length="5594.0" freespeed="33.33333333333333" capacity="56000.0" permlanes="2" oneway="1" origid="184" type="10" />
  <link id="100368" from="229" to="228" length="5594.0" freespeed="33.33333333333333" capacity="56000.0" permlanes="2" oneway="1" origid="184" type="10" />
  <link id="100369" from="229" to="230" length="749.0" freespeed="33.33333333333333" capacity="53200.0" permlanes="2" oneway="1" origid="185" type="10" />
  <link id="100370" from="230" to="229" length="749.0" freespeed="33.33333333333333" capacity="53200.0" permlanes="2" oneway="1" origid="185" type="10" />
  <link id="100371" from="231" to="232" length="437.0" freespeed="33.33333333333333" capacity="52500.0" permlanes="2" oneway="1" origid="186" type="10" />

```

Figura 6 – Exemplo de um ficheiro *network.xml* referente a arcos rodoviários

3.2.4.2. *Input* da população

Neste ficheiro é feita uma descrição pormenorizada de toda a população interveniente na simulação efetuada, correspondendo a cada indivíduo um par de coordenadas, a situação laboral e uma descrição pormenorizada da deslocação (com que modos e com que finalidades). Todas

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

estas atividades serão “interpostas” nos arcos e nos nós de ligação da rede, ou seja, serão afetadas ao arco mais próximo.

```
<person id="0" age="59" employed="yes">
  <plan selected="yes">
    <act type="h9" facility="1521" x="640577.3428467353" y="225985.38934860702" end_time="09:10:15" />
    <leg mode="car" dep_time="09:10:15">
    </leg>
    <act type="l1" facility="30" x="644467.1792797182" y="225602.43888185138" end_time="09:34:55" />
    <leg mode="car" dep_time="09:34:55">
    </leg>
    <act type="w5" facility="16" x="641950.7971429207" y="219033.26969951618" end_time="16:00:58" />
    <leg mode="car" dep_time="16:00:58">
    </leg>
    <act type="h9" facility="1521" x="640577.3428467353" y="225985.38934860702" />
  </plan>
</person>
```

Figura 7 - Exemplo de um ficheiro plans.xml

3.2.4.3. Ficheiro de configuração

O controlador necessita de um ou vários métodos que façam a ligação entre os dados inseridos e a forma de executar a simulação. Esta ligação é feita através do ficheiro de configuração.

```
<config>

  <!-- ===== -->

  <module name="global">
    <param name="randomSeed" value="5399998864266990000" />
    <param name="coordinateSystem" value="CH1903_LV03" />
    <param name="numberOfThreads" value="4" />
  </module>

  <!-- ===== -->

  <module name="network">
    <param name="inputNetworkFile" value="&INBASE;/network.xml" />
  </module>

  <!-- ===== -->

  <module name="facilities">
    <param name="inputFacilitiesFile" value="&INBASE;/facilities.xml.gz" />
  </module>

  <!-- ===== -->

  <module name="plans">
    <param name="inputPlansFile" value="&INBASE;/plans.xml.gz" />
  </module>
```

Figura 8 - Exemplo de um ficheiro config.xml

Neste ficheiro é configurada a forma e tipo de simulação dos planos dos agentes intervenientes no modelo, bem como da utilização de extensões desenvolvidas por utilizadores e da especificação dos caminhos relativos de todos os ficheiros relativos à rede, planos dos agentes e de todas as localizações de cada uma das atividades.

Capítulo III. – Análise da ferramenta *MATSim*

Este processo de simulação, presente no terceiro ponto do método de funcionamento da ferramenta *MATSim* (processo iterativo de otimização da procura), apresentado no ponto 3.2.5 é feito através de um *MobSim* (simulação de mobilidade). Ao longo do processo de evolução desta ferramenta vários tipos de simulações de mobilidade foram utilizados, sendo ainda possível de utilizar alguns deles. Seguidamente, apresentam-se na Tabela 7 todos os tipos de simulação existentes, bem como uma breve descrição de cada um deles.

Depois da escolha do tipo de simulação a utilizar, é necessário a especificação das constantes referentes à quantidade de agentes que têm espaço de permanecer num arco durante um período de congestionamento e ao número de agentes que consegue passar num determinado arco, sendo estes armazenados, respetivamente, nos parâmetros *storageCapacityFactor* e *flowCapacityFactor* desse mesmo tipo de simulação. Estes fatores são ajustados quando existe uma redução ou geração da população. Por exemplo, se a população modelada for de 10% da população total, estes valores, serão estipulados em 0,1

Tabela 7 - Tipos de simulação de mobilidade utilizados no *MATSim*

Tipo de simulação de mobilidade	Descrição
<i>QueueSimulation</i>	O <i>QueueSimulation</i> é uma simulação de mobilidade determinística (baseada em <i>java</i>), que utiliza uma abordagem do tipo <i>time-step</i> . Em cada intervalo de tempo, o estado das filas de espera é considerado. Como principal vantagem pode-se considerar a grande quantidade de informação e da possibilidade de tipos de simulação adicionais interagirem com esta, enquanto a mesma esta decorre. Neste momento, é usada como um tipo de simulação de referência, de modo a possibilitar aos utilizadores o desenvolvimento dos seus próprios tipos de simulação, não sendo recomendável a sua utilização em simulações que requeiram uma grande produtividade.
<i>QSim</i>	De uma forma geral, pode-se admitir que o <i>QSim</i> é uma extensão do <i>QueueSimulation</i> . Este tipo de simulação apresenta capacidades recentemente desenvolvidas como é o caso da execução em paralelo de uma parte do código e do tipo de solução multimodal experimental. Pode-se referir que é o tipo de simulação de mobilidade mais utilizado
<i>DEQSim</i>	Apresenta-se como uma extensão do modelo de fila de espera, simulando não só o comportamento “primeiro a entrar primeiro a sair” mas também o intervalo decorrente do avanço dos veículos numa fila de trânsito, que se move no sentido inverso ao tráfego, resultando numa representação mais realista. Apesar destas características, este tipo de simulação já não é utilizado, pois foi desenvolvida em <i>C++</i> e atualmente gera uma má comunicação com o <i>MATSim</i> e um grande número de cálculos necessários.
<i>JDEQSim</i>	Apresenta-se como o segundo tipo de simulação mais utilizado no <i>MATSim</i> , correspondendo a uma nova versão do tipo anterior (<i>DEQSim</i>), mas desta vez com codificação <i>Java</i> .

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

Para além da escolha do tipo de simulação de mobilidade, é também possível a escolha do algoritmo do caminho por parte dos agentes. Por predefinição o algoritmo utilizado é o clássico algoritmo de *Dijkstra*. Este algoritmo consegue resolver o problema do caminho mínimo a partir de uma única origem, sendo aplicado sucessivamente quando existe a necessidade de encontrar caminhos mínimos de várias origens ou centróides até todos os outros vértices da rede, como se apresenta na Figura 9. Esta problemática é resolvida através da compatibilização do custo de percurso de cada arco para a viagem final, conseguindo-se obter o caminho ótimo, possuindo este o menor custo. Para tal, é necessário que todos os arcos possuam um peso não negativo. (Cormen, Leiserson, Rivest, & Stein, 2009)

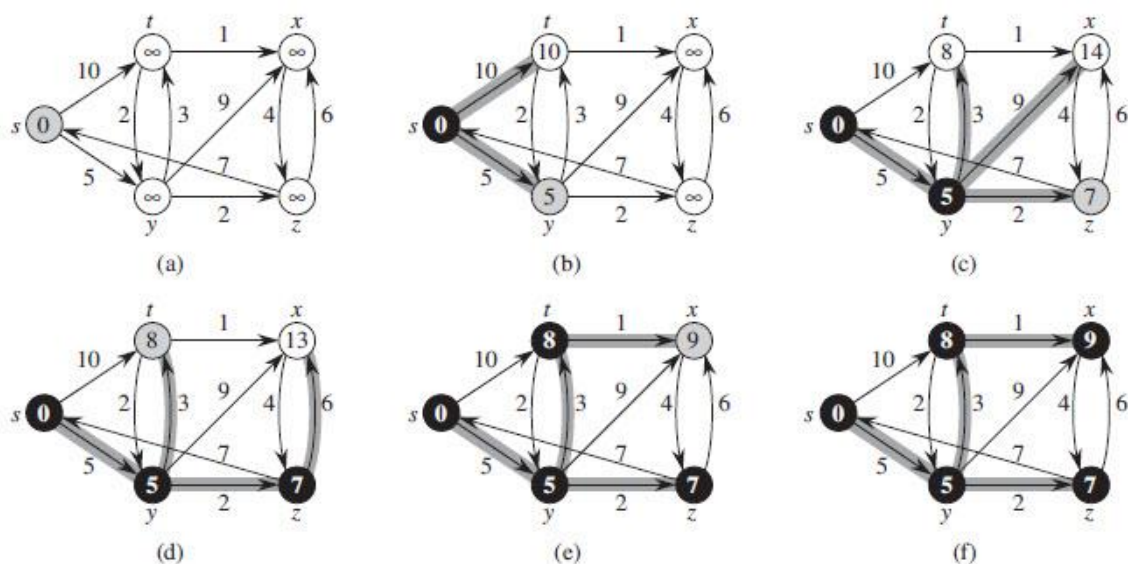


Figura 9 - Exemplo de aplicação do algoritmo de *Dijkstra*

Fonte: Cormen et al., (2009)

Para além do algoritmo de *Dijkstra*, o *MATSim* possibilita a utilização de mais dois tipos de algoritmos, sendo eles *AStarEuclidean* e *AStarLandmarks*.

No primeiro caso é implementado o algoritmo de escolha de caminho *A** (*Astar*) para um determinado conjunto de arcos e nós, utilizando para tal a distância euclidiana dividida pela velocidade de fluxo livre, por unidade de comprimento. A velocidade neste algoritmo corresponde ao triplo da velocidade no algoritmo de *Dijkstra*, e tem como condições de aplicabilidade não só o valor do comprimento de cada um dos arcos ser igual ou superior à distância euclidiana entre os nós de início e fim desse mesmo arco, mas também o custo da viagem ser não negativo, (MATSim, 2007a).

Capítulo III. – Análise da ferramenta *MATSim*

No segundo caso é também implementado o algoritmo de escolha de caminho A^* (*Astar*), mas desta vez com o uso de *landmarks* de modo a possibilitar a obtenção de melhores estimativas do custo de viagem remanescente (*MATSim*, 2007b). Estas *landmarks* ou pontos de referência são elementos constituintes da rede cujos pares de coordenadas são previamente conhecidos e permitem a medição de tempos de percurso entre os mesmos e outros pontos de referência do destino. É caracterizado pelo dobro da ‘rapidez’ do algoritmo *AstarEuclidean*, (Lopes, 2009).

Ainda neste ficheiro de configuração é possível estipular quais os módulos e a estratégia a adotar em cada simulação. Alguns destes módulos adaptam a estrutura dos planos dos agentes (sendo exemplo disto a mudança da hora de início ou fim de uma atividade), enquanto outros módulos escolhem um determinado plano para cada agente.

O primeiro parâmetro a definir corresponde ao número de planos que um agente consegue armazenar, ou seja, no momento da adaptação do plano de cada agente, o plano inicial é clonado e seguidamente adaptado, sendo este armazenado à memória de cada agente. Se o número de planos a memorizar exceder o número possível que este consegue armazenar, o pior plano será rejeitado.

Cada módulo é caracterizado por três parâmetros:

- Especificação do próprio módulo;
- Definição da probabilidade de escolha desse mesmo módulo (cada agente escolhe apenas um módulo por iteração);
- Definição do número de iterações em que é possível intervir. (ao definir que um módulo será apenas considerado, por exemplo, nas primeiras 10 iterações, afetará as probabilidades dos restantes módulos, visto que a probabilidade da execução de cada módulo é definida pelo quociente entre a probabilidade de cada módulo e o somatório de todas as probabilidades de todos os módulos existentes).

Visto isto, é na Tabela 8 feita uma descrição de todos os módulos possíveis de utilizar no ficheiro de configuração, divididos pelos dois tipos já acima descritos.

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

Tabela 8 - Módulos possíveis de utilizar no ficheiro de configuração

Tipo de módulo	Nome	Especificação do módulo	Descrição
Adaptação do plano do agente	<i>ChangeLegMode</i>	<i>ChangeLegMode</i>	Altera o modo de transporte utilizado em todas as viagens através da seleção aleatória numa lista de modos de transporte previamente definida
	<i>ChangeSingleLegMode</i>	<i>ChangeSingleLegMode</i>	Altera o modo de transporte utilizado numa viagem através da seleção aleatória numa lista de modos de transporte previamente definida
	<i>Planomat</i>	<i>Planomat</i>	Otimiza as horas de partida e o tempo de duração das atividades de um determinado plano.
	<i>ReRoute</i>	<i>ReRoute</i>	Calcula um novo caminho de menor custo utilizando os dados do tempo de viagem das iterações anteriores.
	<i>SubTourModeChoice</i>	<i>SubtourModeChoice</i>	Altera o modo de transporte utilizado em todas as viagens das <i>subtours</i> (conjunto consecutivo de um plano que começa e termina no mesmo nó ou arco) através da seleção aleatória numa lista de modos de transporte previamente definida
	<i>TimeAllocationMutator</i>	<i>TimeAllocationMutator</i>	Altera aleatoriamente a duração das atividades, dentro de um intervalo estabelecido.
Escolha do plano do agente	<i>BestPlanSelector</i>	<i>BestScore</i>	Escolhe a melhor pontuação dos planos existentes para cada agente
	<i>ExpBetaPlanChanger</i>	<i>ChangeExpBeta</i>	Efetua a troca do plano do agente por outro com melhor pontuação. A probabilidade de escolha depende da diferença de pontuação entre os planos

Capítulo III. – Análise da ferramenta *MATSim*

Tipo de módulo	Nome	Especificação do módulo	Descrição
	<i>ExpBetaPlanSelector</i>	<i>SelectExpBeta</i>	Escolhe um dos planos do agente tendo por base o seu peso (resulta do produto entre o fator beta e a pontuação)
	<i>KeepSelected</i>	<i>KeepLastSelected</i>	Mantém o plano anterior do agente
	<i>PathSizeLogitSelector</i>	<i>SelectPathSizeLogit</i>	Escolhe um plano existente para cada agente tendo em conta o modelo <i>Path Size Logit</i>
	<i>RandomPlanSelector</i>	<i>SelectRandom</i>	Escolhe um dos planos existentes para cada agente de forma aleatória

Por fim, e como última configuração possível, são apresentadas as constantes para o cálculo da pontuação de cada plano, já referido no quadro acima. Cada plano é dotado de uma pontuação, que é calculada no final da execução desse mesmo plano, sendo a escolha entre planos feita de acordo com a comparação desta mesma pontuação, (Raney & Nagel, 2004). Resumidamente, os parâmetros de pontuação descritos neste ficheiro de configuração representam a quantidade de ganho ou perda de certas ações levadas a cabo pelos agentes intervenientes.

3.2.4.4. Informação adicional

Existem também ficheiros de entrada que, mesmo não sendo obrigatórios, dão origem a uma melhor análise e perceção do cenário a modelar. O primeiro (*facilities.xml*) é um ficheiro que contém informação que se pode assemelhar a edificações, sendo este opcional (ver o exemplo da cidade na Suíça). O segundo refere-se a um ficheiro de contagens de tráfego reais, para posterior análise com os resultados decorrentes da simulação executada.

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

```
<!-- ===== -->
<facility id="0" x="640379.2977084899" y="239119.4602330504">
  <activity type="work">
    <opentime day="wkday" start_time="08:00:00" end_time="19:00:00" />
  </activity>
</facility>

<!-- ===== -->

<facility id="1" x="639933.1761034644" y="246900.5367185299">
  <activity type="work">
    <opentime day="wkday" start_time="08:00:00" end_time="19:00:00" />
  </activity>
</facility>

<!-- ===== -->
```

Figura 10 – Exemplo de um ficheiro *facilities.xml*

3.2.5. Funcionamento do *MATSim*

Para a criação dos ficheiros de saída (*output*) de um determinado modelo, é necessária a execução de 5 rotinas em ambiente *java*, que assentam em quatro etapas ou fases principais, como se apresenta da Figura 11, sendo estes:

- Criação do cenário, em que são utilizadas as rotinas *CreateNetwork* e *CreateFacilities*;
- Processo de modelação inicial da procura da rede, em que são utilizadas as rotinas *CreateDemand* e *CreatePopulation* (podendo estas ser agrupadas na rotina *CreatePopulationandDemand*);
- Processo iterativo de otimização da procura, em que é utilizada a rotina *MyFirstController*.
- Análise estatística e visualização dos dados.

Capítulo III. – Análise da ferramenta *MATSim*

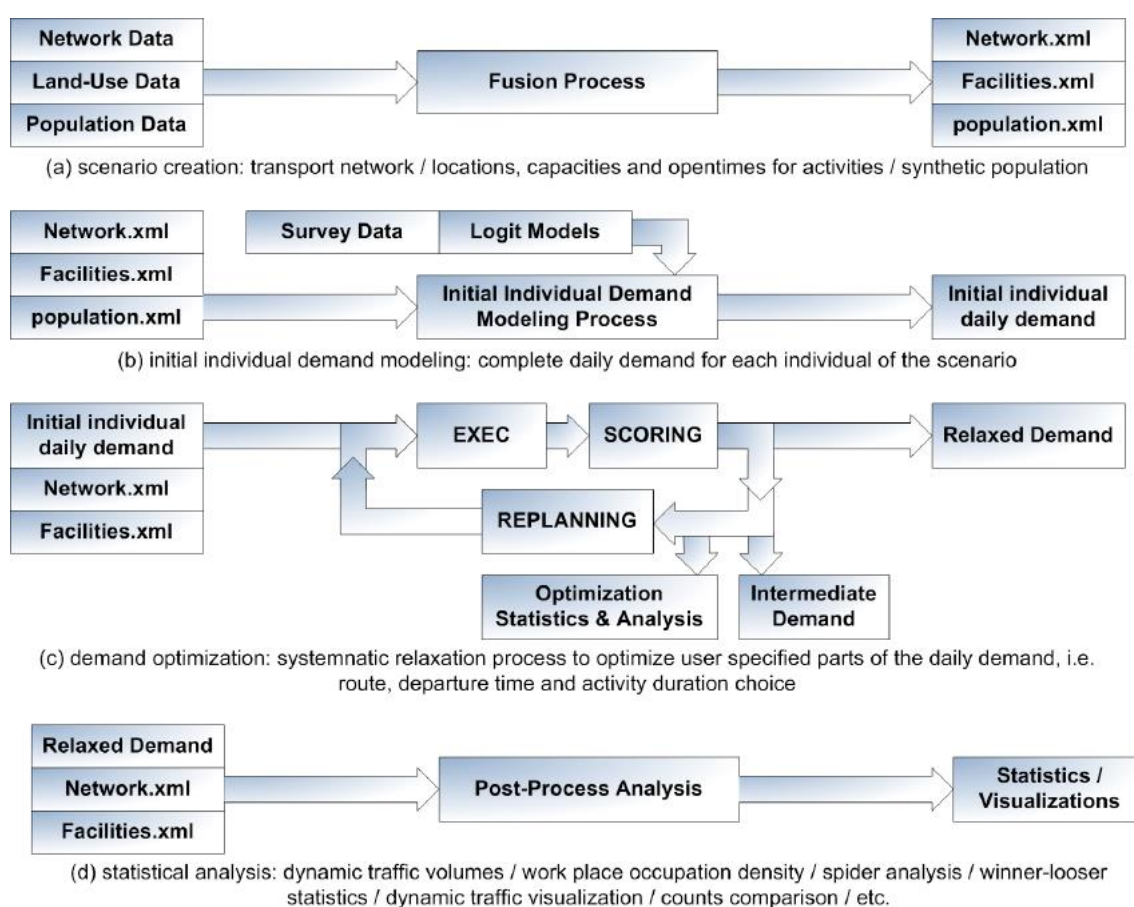


Figura 11 – Estrutura do *MATSim*

Fonte: Balmer et al., (2008)

As duas primeiras fases assentam principalmente nos dados fornecidos ao nível da zona a analisar, sendo a quantidade, qualidade e nível de detalhe dos vários dados de entrada variável de modelo para modelo. O processo de criação da procura e do cenário pode também ser alterado, consoante o tipo de dados. Visto isto, e como já referido anteriormente, o *MatSim* apresenta este tipo de informação (todos os dados de entrada) em ficheiros *xml*.

O processo executado nestas duas primeiras fases pode ter como ponto de partida os dados dos usos do solo para cada zona a analisar, juntamente com o número de empregos respetivo de cada zona. Com base nestes dois elementos é possível criar uma estimativa do número de postos de trabalho, podendo assim ter-se uma perceção aproximada do número de locais de trabalho e do número efetivo de postos de trabalho. Este procedimento é aproximado e via contornar as situações em que existe informação imperfeita. Se, posteriormente, for possível a obtenção de dados desagregados mais fidedignos, a ferramenta tem a capacidade de substituir as *'facilities'* e os postos de trabalho já criados anteriormente pelos novos dados.

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

A terceira fase pode ser considerada como o ‘núcleo’ do *MATSim*. Enquanto os dois pontos anteriores são apenas executados uma vez, de forma sequencial, na fase de preparação do modelo, este ponto otimiza repetidamente a procura de cada utilizador da rede, respeitando todas as regras e interações entre os outros utilizadores da rede (agentes). Isto acontece até se atingir um estado de equilíbrio que deve obedecer ao primeiro princípio de *Wardrop*, em que as médias de tempo de viagens praticadas serão mínimas e iguais entre si, para os vários caminhos de viagem entre uma origem e um destino, (Wardrop, 1952). Neste caso, em simulação, deverão ser aproximadamente semelhantes. Ou seja, não só o tempo de viagem é otimizado, mas também todo o plano do agente em causa, ou seja, rotas, tempos, locais, sequência de atividades, tipos de atividades, etc.

Esta otimização é executada tendo por base um algoritmo evolucionário, tendo por base a seguinte estrutura:

1. Geração de um plano diário para cada agente;
2. Cálculo da *utilidade* da execução desse plano;
3. Rejeição dos planos com reduzida *utilidade*;
4. Modificação dos planos diários;
5. Fazer destes os planos relevantes para a próxima iteração e adicionar ao número da iteração uma unidade;
6. Ir para o ponto 2.

A quarta e última fase de estruturação dos modelos do *MatSim*, funciona de forma idêntica à apresentada para o ponto anterior, com a diferença que os ficheiros de entrada já têm o formato e estrutura necessária para a sua utilização nos cenários (ficheiros em formatos *xml*). Através desta quarta fase é possível a obtenção de, como ilustrado na Figura 11, ficheiros de saída com dados referentes a volumes de tráfego, ocupação e densidade de agentes na rede viária, visualização dinâmica dos comportamentos dos agentes intervenientes e outros, como será descrito na próxima secção.

3.2.6. Dados de saída

Os resultados da simulação do modelo são apresentados em ficheiros com a extensão *xml*, contendo várias informações decorrentes da simulação, sendo estes obtidos após a execução do processo de preparação do modelo já descrito no ponto anterior. No entanto, pode-se operar uma simplificação na estrutura como mostra a Figura 12.



Figura 12 – Estrutura simplificada do *MATSim*
Fonte: *MATSim*, (2013)

3.2.6.1. Ficheiro de *Eventos*

Este ficheiro regista todas as mudanças do estado de um objeto. É criado a cada 10 iterações, e contém todas as informações que podem ser visualizadas, podendo ser feita a sua utilização para uma análise posterior. Cada *evento* suporta um ou vários atributos.

A figura seguinte mostra um esquema que ilustra a estrutura de dados do ficheiro *Events.xml* aquando do fim de uma atividade, seguida de uma viagem até à próxima atividade e o respetivo início da mesma. A ordem deste esquema é determinística, sendo representada pelos sentidos das setas.

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

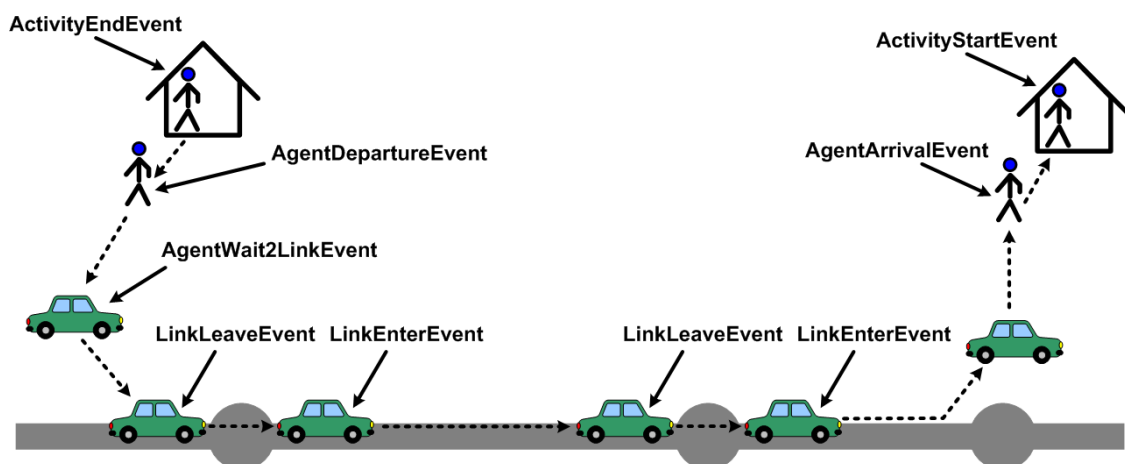


Figura 13 – Configuração do Ficheiro “Events”

Fonte: MATSim, (2013)

Os atributos básicos e os tipos de eventos são descritos da seguinte forma, conforme se pode observar na Figura 13:

- *ActivityEndEvent*: criado quando um agente termina uma atividade;
- *ActivityStartEvent*: criado quando um agente inicia uma atividade;
- *AgentArrivalEvent*: criado no momento em que um agente chega a uma atividade, imediatamente antes de esta ter início;
- *AgentDepartureEvent*: criado no momento em que um agente termina uma atividade e sai da zona da infraestrutura utilizada à ocorrência da atividade;
- *AgentMoneyEvent*: pode ter várias atribuições, sendo um exemplo o custo de viagem;
- *AgentWait2LinkEvent*: criado imediatamente após a saída de um agente da *facility* utilizada para a execução da atividade. Como tal, é necessário haver um tempo de espera até haver espaço suficiente para o seu carro no arco que irá utilizar;
- *LinkEnterEvent*: criado imediatamente após a entrada de um agente num arco;
- *LinkLeaveEvent*: criado imediatamente após a saída de um agente de um arco.

Funções adicionais, tais como a simulação de transportes públicos, podem gerar tipos adicionais de eventos.

3.2.6.2. Ficheiros *Log*

Estes tipos de ficheiros são criados a cada simulação executada no *MATSim* contendo várias informações acerca da forma como se processa a simulação, que poderão ser necessárias numa análise posterior.

Capítulo III. – Análise da ferramenta *MATSim*

Uma das principais funcionalidades destes ficheiros é a de permitir analisar os motivos pelos quais uma simulação não foi executada corretamente ou pelos quais houve bloqueio devido a um erro, dando a hipótese de identificar a causa e o tipo do erro. Permite também uma melhor localização e correção desse mesmo erro através da análise dos avisos que são escritos no ficheiro.

São criados, em cada simulação, um ficheiro distinto para erros e outro para avisos, visto que este segundo ficheiro contém uma elevada densidade de informação, o que poderia levar o utilizador a ter dificuldade de identificar os erros e os avisos decorrentes de cada simulação.

3.2.6.3. Visualizador

Este visualizador, como referido anteriormente, é disponibilizado pela empresa *Senozon*.

É possível, através desta aplicação, visualizar todas as atividades e todos os eventos decorrentes da simulação efetuada, bem como da rede utilizada no processo de simulação.

Duas das principais funcionalidades deste visualizador são a possibilidade de observar as atividades de um único agente, através da sua seleção no visualizador ou então da inserção da sua identificação e a possibilidade de modificar a espessura, tamanho e cor da rede e dos agentes intervenientes, mediante a alteração de alguns parâmetros, como é o caso da capacidade dos arcos, das velocidades praticadas, número de vias, etc.

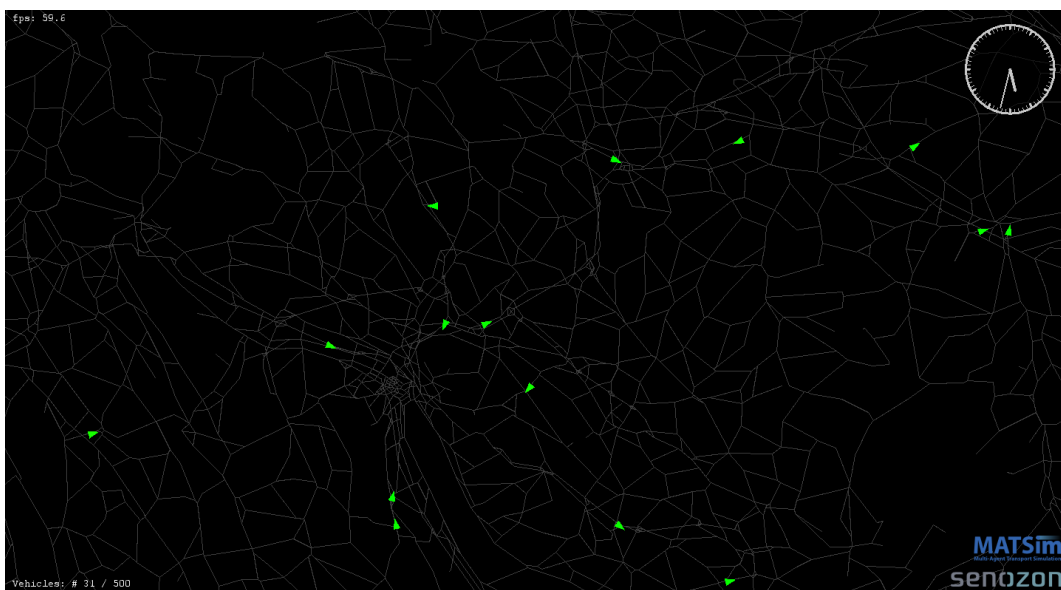


Figura 14 - Exemplo de visualização de alguns agentes

Fonte: MATSim, (2013)

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

3.2.6.4. Gráficos e estatísticas

O *MATSim* cria, no decorrer de cada simulação, alguns ficheiros de texto e imagens que podem ser utilizados posteriormente para uma criteriosa análise de resultados, contendo diversos gráficos e estatísticas. Alguns destes ficheiros são criados em cada iteração e outros apenas na última encontrando-se alojados na pasta de resultados, *output*.

De seguida descrevem-se sumariamente todos os ficheiros de output e as principais informações que contêm:

- *Score Statistics*: criado para cada simulação, é disponibilizado sob a forma de um ficheiro de imagem e outro de texto, contendo estes a mesma informação. Disponibiliza o máximo, o mínimo e a média de todas as atividades realizada por um agente em cada iteração;

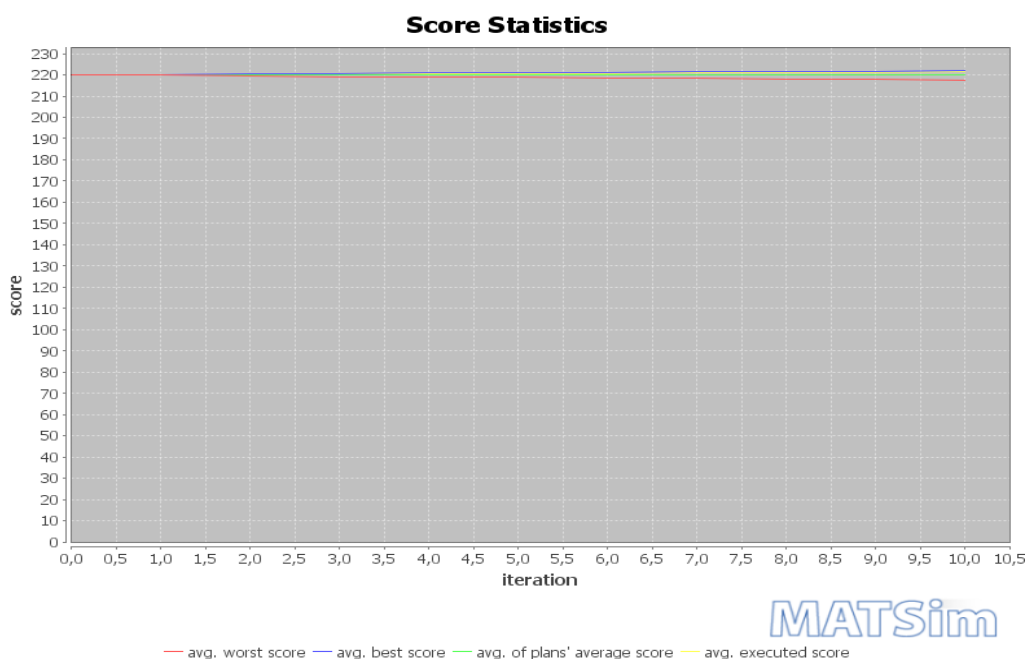


Figura 15 - Gráfico *Score Statistics*

- *Leg Travel Distance Statistics*: criado para cada simulação é disponibilizado sob a forma de um ficheiro de imagem e outro de texto, contendo estes a mesma informação. Pode ser comparável ao ficheiro anterior, mas desta vez é analisada a distância de trajeto;
- *StopWatch*: criado para cada simulação, é disponibilizado sobre a forma de texto e contém as durações das ações de replaneamento ou da execução de cada iteração.

Capítulo III. – Análise da ferramenta *MATSim*

Através deste ficheiro é possível, por exemplo, avaliar o tempo de duração do replaneamento em relação à simulação da mobilidade, ou seja, análises de performance;

Iteration	BEGIN iteration	BEGIN replanning	END replanning	BEGIN dump all plans
0	17:29:17	17:29:17	17:29:19	17:29:19
1	17:33:57	17:33:57	17:33:59	17:33:59
2	17:34:05	17:34:05	17:34:06	17:34:06
3	17:34:21	17:34:21	17:34:23	17:34:23
4	17:34:39	17:34:39	17:34:41	17:34:41
5	17:34:54	17:34:54	17:34:56	17:34:56
6	17:35:09	17:35:09	17:35:11	17:35:11
7	17:35:26	17:35:26	17:35:28	17:35:28
8	17:35:43	17:35:43	17:35:45	17:35:45
9	17:35:59	17:35:59	17:36:01	17:36:01
10	17:36:16	17:36:16	17:36:18	17:36:18

Figura 16 - Exemplo de um ficheiro *StopWatch*

- *Trip Durations*: criado para cada iteração, é disponibilizado sobre a forma de texto. Apresenta uma lista do número de viagens e a sua respetiva duração, para cada diferente par de atividade de início e de fim;
- *Leg Histogram*: descreve o número de agentes que chegam, partem ou estão em viagem nas diferentes horas. É criado para cada modo de transporte e para o somatório de todos os modos de transporte.

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

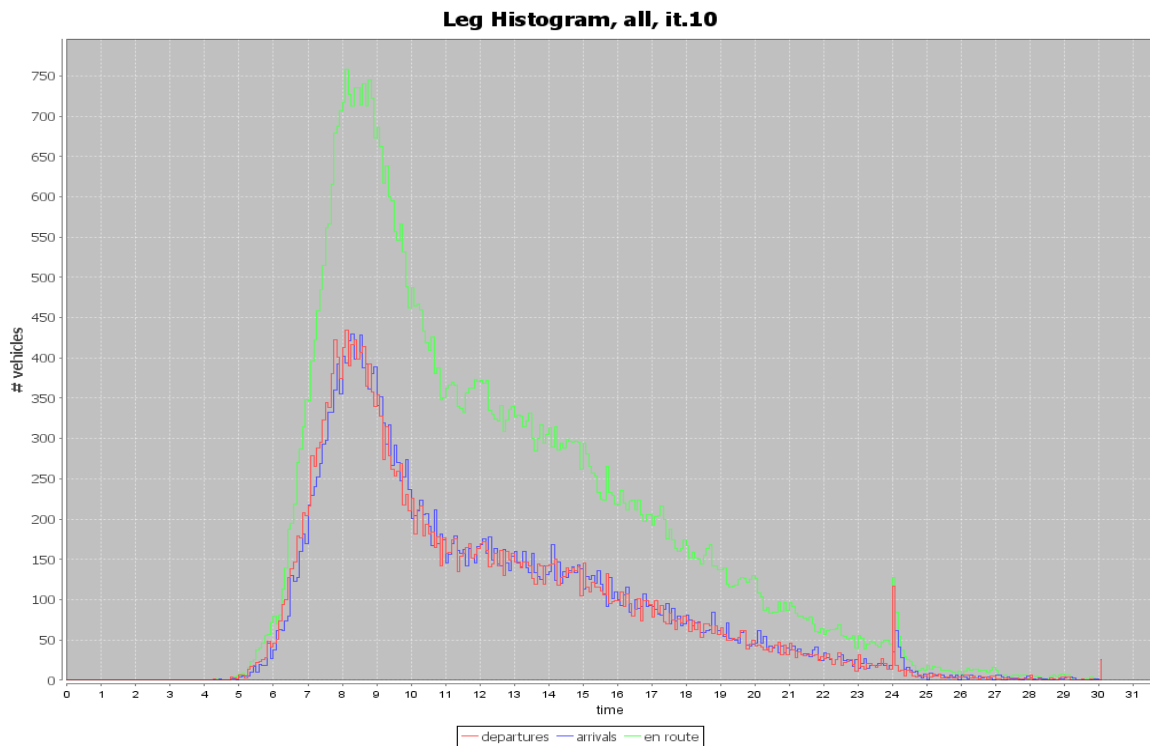


Figura 17 - Gráfico *Leg Histogram*, referente à iteração nº 10

3.2.6.5. Counts

É possível, no *MATSim*, identificar e quantificar vários postos de contagem de tráfego, em diversos pontos da rede. Esta funcionalidade tem especial importância para comparar os valores de contagens de tráfego reais com os resultantes das simulações efetuadas, com a finalidade de calibrar o modelo.

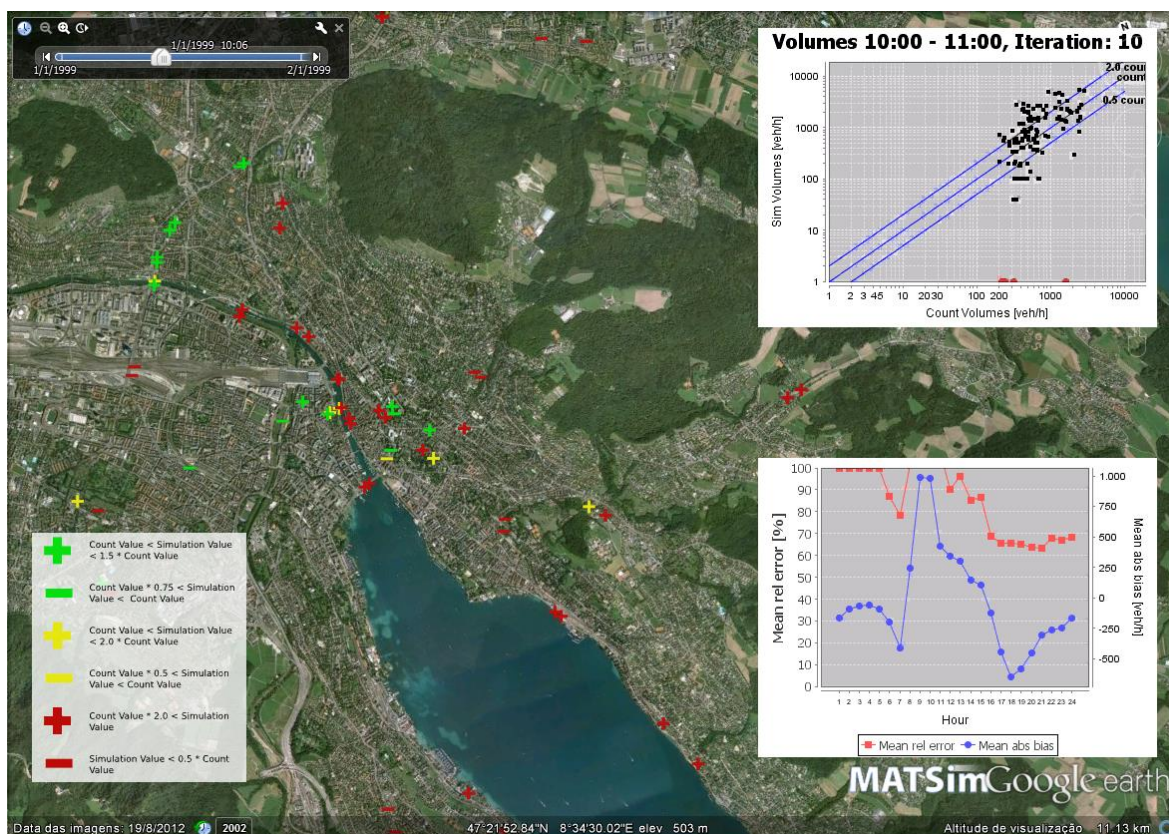


Figura 18 - Exemplo de uma comparação entre dados resultantes da simulação e dados reais resultantes de contagens de tráfego
 Fonte: MATSim, (2013)

3.2.7. Extensões

Estas ferramentas são desenvolvidas em linguagem *java*, tendo como principal característica a possibilidade de simulação não só de transporte individual mas também de transporte público. Permitem efetuar análises perceptíveis pelos utilizadores, simulação de áreas de intervenção de grande dimensão (redes viárias de grande densidade) e a “personalização” das próprias ferramentas pelos utilizadores, representando esta última característica uma enorme potencialidade para o desenvolvimento e aplicação em cenários com condições e características distintas. Algumas das atuais funcionalidades do *MATSim* foram já desenvolvidas por membros investigadores e são apresentadas Tabela 9.

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

Tabela 9 - Extensões do *MATSim*
Fonte: *MATSim*, (2013)

Extensão	Mantido por:	Descrição
<i>Transportation Energy Simulation (transEnergySim)</i>	Rashid A. Waraich	Usado para simular uma grande variedade de veículos de transportes no âmbito da eficiência energética, incluindo veículos elétricos.
<i>OTFVis</i>	Michael Zilske	<i>OTFVis</i> é um ficheiro <i>open-source</i> de visualização dos dados provenientes do <i>MATSim</i> .
<i>networkEditor</i>	Marcel Rieser, Daniel Ampuero	O <i>networkEditor</i> permite a edição de redes, criar novas a partir do <i>OpenStreetMap</i> , e exportar redes como <i>Shape file</i> . O editor permite também a edição dos ficheiros de contagens de tráfego.
<i>Freight</i>	Michael Zilske	Programa veículos de distribuição de mercadorias e otimiza as rotas
<i>MATSim4UrbanSim</i>	Thomas Nicolai	Permite a ligação dos dados do <i>MATSim</i> com o <i>UrbanSim</i> .
<i>GTFS2TransitSchedule</i>	Sergio Ordonez	Um simples interface gráfico que ajuda na transformação e correspondência dos mapas de dados em GTFS (<i>General Transit Feed Specification</i>).
<i>Evacuation</i>	Gregor Lämmel	Permite a simulação de casos de evacuação.
<i>Matrix based pt router</i>	-	Permite a leitura de várias paragens referentes a transportes públicos, podendo originar rotas (consoante a paragem mais próxima tanto da origem como do destino da viagem).
<i>Acessibility</i>	-	Executa o cálculo de índices de acessibilidade.
<i>Roadpricing</i>	-	Esta extensão permite a simulação de vários tipos de cenários a quando da possibilidade de portajar um certo arco ou nó da rede.
<i>Parking</i>	-	Permite modelar as possíveis alterações nas políticas de estacionamento.
<i>Locationchoice</i>	Andreas Horni	Permite a escolha do local para uma atividade sem restrições impostas.

Capítulo III. – Análise da ferramenta *MATSim*

Extensão	Mantido por:	Descrição
<i>GRIPS</i>	Gregor Lämmel	(<i>GIS-Based-Risk-analysis-Information and Planning System</i>) Permite a análise e modelação de cenários de risco com base em Sistemas de Informação Geográfica.

3.3. Súmula do capítulo

Neste capítulo foi abordada e explorada a ferramenta *MATSim* de uma forma mais aprofundada. Foram apresentadas as capacidades e potencialidades desta ferramenta, fazendo-se também referência à evolução que o código sofreu ao longo do seu desenvolvimento.

Foi também explanado neste capítulo o procedimento de utilização e funcionamento do *MATSim*. Foi feita uma descrição detalhada de todos os dados de entrada (*input*) e de saída (*output*) utilizados em cada simulação, especificando a estrutura e a utilidade de cada um destes. Por fim, foi construída uma tabela que enuncia resumidamente todas as extensões da ferramenta *MATSim*, indicando o seu campo de aplicabilidade.

Para além das possíveis áreas de aplicação desta, foi também construída uma tabela que resume todos os modelos já desenvolvidos bem como as conclusões e objetivos alcançados em cada um deles.

No próximo capítulo é executado um modelo para uma zona da cidade de Lisboa, explicitando todos os procedimentos efetuados. No capítulo V será feita uma análise dos resultados obtidos.

Capítulo IV. - Construção de um modelo inicial e análise de resultados

4.1. Introdução

Após o estudo extensivo efetuado às ferramentas de micro-simulação e ao *MATSim* nos dois capítulos anteriores foram criadas as condições para ensaiar a possibilidade da construção de um modelo em *MATSim* para uma zona com as características da cidade de Lisboa.

No entanto, devido ao facto de se tratar de um trabalho académico existiram algumas limitações e dificuldades, nomeadamente as sentidas na recolha de dados com um nível de desagregação adequado. Por esse motivo, apenas será modelada uma zona da cidade de Lisboa unicamente com deslocações casa-trabalho-casa com origem e destino das freguesias de Alvalade, Nossa Senhora de Fátima, São João de Deus, São Sebastião da Pedreira e São Jorge de Arroios. O motivo da limitação das deslocações prendeu-se unicamente com a dificuldade na obtenção de informação fidedigna acerca dos fluxos O/D durante o dia todo.

4.2. Objetivos do estudo de caso

Como já foi referido, o principal objetivo desta dissertação é o de estudar as vantagens, potencialidades e desvantagens da aplicação de modelos de simulação baseados em agentes com abordagens indutivas do tipo *bottom-up* à modelação e análise de sistemas de transportes em meio urbano, recorrendo para isso à construção de um modelo de uma zona da cidade de Lisboa.

Para alcançar esse objetivo, foram analisadas, todas as deslocação entre a residência e o local de trabalho, realizadas pelos residentes de algumas freguesias da cidade de Lisboa, bem como todas as deslocações de outros municípios da região de Lisboa e Portugal (sendo estas últimas diminutas) tendo como destino as freguesias em estudo.

Esta análise foi feita recorrendo à afetação dos agentes intervenientes à rede rodoviária criada para o efeito, sendo feita seguidamente uma calibração desta, ajustando os parâmetros intervenientes na simulação e, por fim, uma validação e análise dos resultados obtidos.

Visto que se trata de um projeto académico, a distribuição das viagens a modelar apenas foram aquelas que envolvessem a origem ou destino das 5 freguesias de estudo, ou seja:

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

- As viagens originadas no centróide de cada uma das 5 freguesias para as respetivas subsecções, para as subsecções das outras 4 freguesias da zona em estudo, para as outras freguesias do município e para outras freguesias do NUTII Lisboa;
- As viagens originadas nas freguesias do município e do NUTII Lisboa com destino às subsecções das freguesias de estudo;
- As viagens originadas ou com destino na zona em estudo, que ligam a cada um dos centróides das restantes 4 regiões delimitadas pelo NUT II (Nomenclaturas de Unidades Territoriais), sendo estas a região Norte, Centro, Alentejo e Algarve.

4.3. Identificação da zona da cidade de Lisboa a analisar

A zona utilizada para a construção do modelo e respetiva análise foi uma parte do concelho de Lisboa. Este concelho é dotado de uma área de 84.97 km², com uma população residente de 547733 habitantes (Censos 2011, Instituto Nacional de Estatística, 2012a) e está situado na parte norte do rio Tejo, fazendo fronteira com os concelhos de Cascais, Amadora, Odivelas e Loures, (CML, 2013). Apresenta-se na Figura 19 a localização da zona a analisar.

O estudo foi iniciado tendo em conta a divisão do concelho de Lisboa tendo em conta a divisão deste em 53 freguesias, sendo este número reduzido para 24, conforme a Tabela 10 e na Figura 20, em que se representa a linhas vermelhas a delimitação das novas freguesias e a azul as antigas, devido às novas delimitações administrativas que entretanto entraram em vigor.

Capítulo IV. – Construção de um Modelo Inicial e Análise de resultados



Figura 19 – Planta de localização da zona a analisar

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes



Figura 20 – Distribuição espacial das novas freguesias do concelho de Lisboa
 Fonte: SOL & Lusa, (2011)

Tabela 10 - Novas freguesias de Lisboa
 Fonte: Digital, (2011)

Novas Freguesias do Concelho de Lisboa
Santa Maria dos Olivais
Benfica
Marvila
Lumiar
Campo Grande + S. João de Brito + Alvalade
S. Domingos de Benfca
Anos + S. Jorge de Arroios + Pena
S. João + Penha de França
Santo Condestável + Santa Isabel
Lapa + Santos + Prazeres

Capítulo IV. – Construção de um Modelo Inicial e Análise de resultados

Novas Freguesias do Concelho de Lisboa
S. Sebastião da Pedreira + N. S. Fátima
Alto do Pina + S. João de Deus
Charneca + Ameixoeira
Carnide
Ajudá
S. Francisco Xavier + S. Maria de Belém
S. Vicente de Fora + Graça + S. Engrácia
Campolide
Mercês + Sta. Catarina + Encarnação + S. Paulo
Alcântara
Beato
Mártires + Sacramento + S. Nicolau + Madalena + Sta. Justa + Sé + Santiago + S. Cristóvão / S. Lourenço + Castelo + Socorro + S. Miguel + Sto. Estevão
S. Mamede + S. José + Coração de Jesus
Oriente

A zona a analisar é constituída pelas freguesias de Alvalade, Nossa Senhora de Fátima, São João de Deus, São Sebastião da Pedreira e São Jorge de Arroios conforme é apresentado na Figura 21.

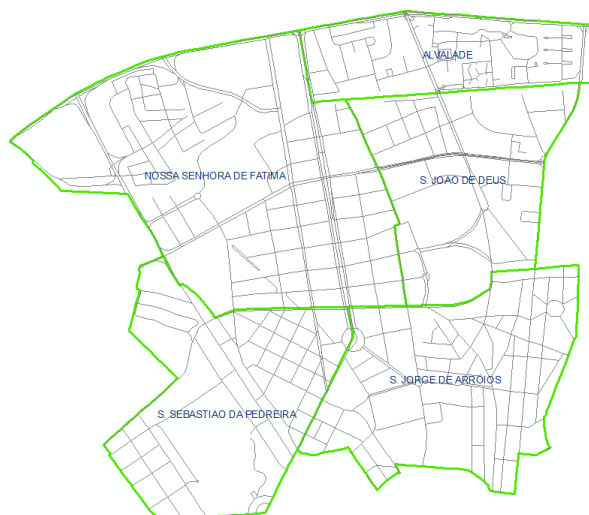


Figura 21 – Distribuição espacial das freguesias a analisar

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

4.4. Desenvolvimento do modelo

A metodologia proposta para a construção do modelo a desenvolver na presente dissertação teve por base a apresentada no fluxograma da Figura 22, tendo sido esta metodologia inicialmente desenvolvida por *Federal Highway Administration Traffic Analysis Tools* e mais tarde adaptada no *Advanced CORSIM Training Manual* (Department of Transportation, 2004). Esta metodologia explicita as principais linhas orientadoras a adotar para o desenvolvimento de um modelo desta natureza.

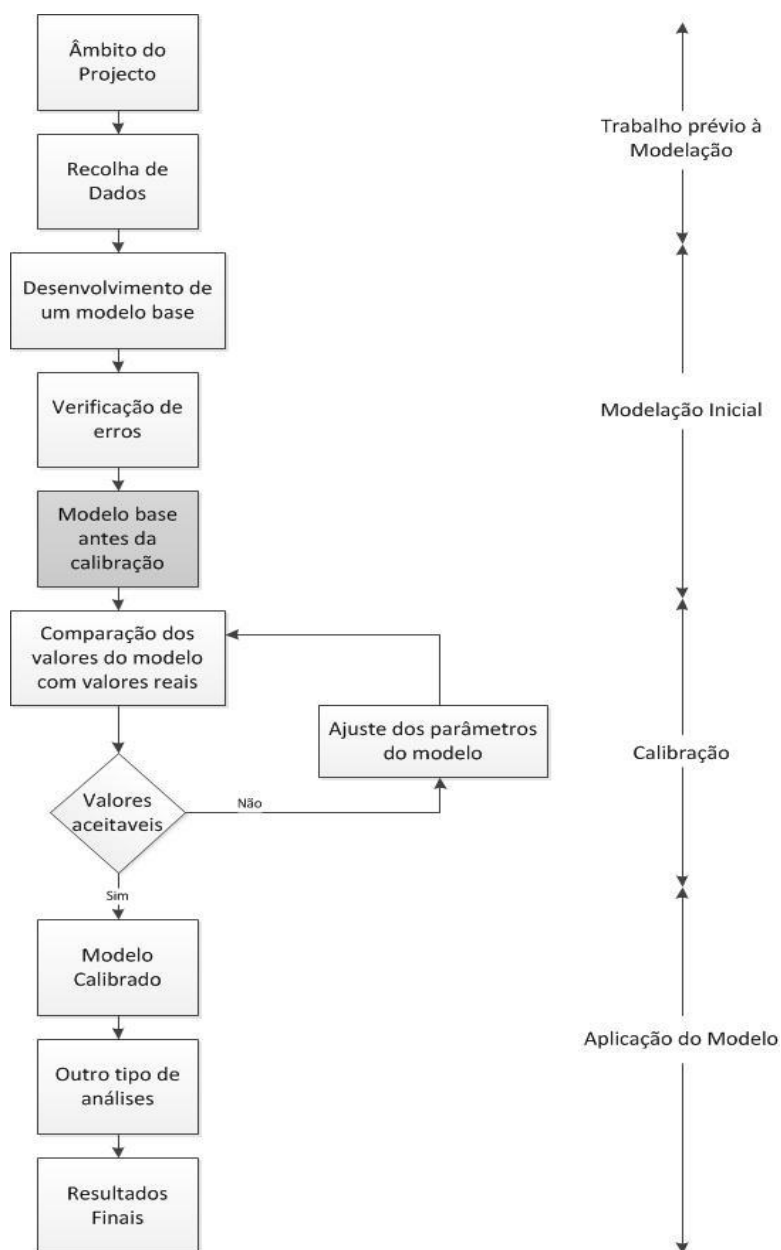


Figura 22 - Fluxograma de criação do modelo
(Adaptado de: Department of Transportation, 2004)

Capítulo IV. – Construção de um Modelo Inicial e Análise de resultados

Depois da recolha dos dados necessários à construção dos ficheiros de entrada, estes foram organizados e estruturados de modo a possuírem a estrutura já mencionada no ponto 3.2.4. Para tal, e como já mencionado, são indispensáveis 6 ficheiros de entrada de dados indispensáveis. O tratamento e estruturação destes mesmos ficheiros são abordados neste capítulo, tendo sido seguido o *workflow* esquematizado no fluxograma da Figura 23.

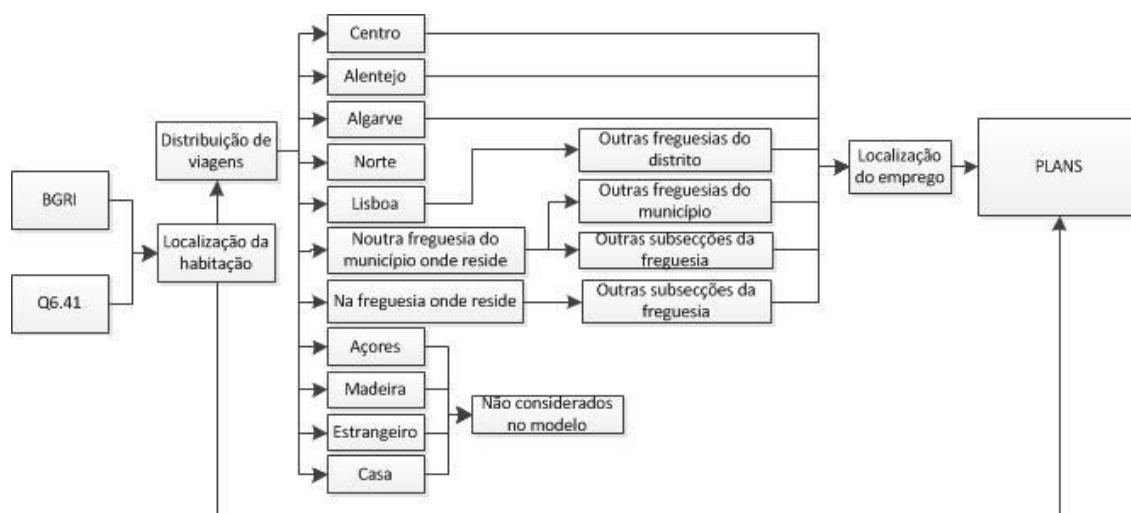


Figura 23 - Fluxograma de estruturação e organização dos dados de entrada

Em virtude de se tratar de um trabalho académico a realizar num curto prazo de tempo, foram feitas as seguintes simplificações:

- Devido ao facto de não se dispor de dados de uma matriz Origem-Destino, para as freguesias em estudo, com um nível de desagregação ao edifício (como é possível na modelação desagregada por agentes), foi considerado o centróide da zona com maior pormenor, sendo neste caso a subsecção estatística;
- A distribuição das viagens com origem e destino em cada subsecção foi feita consoante a utilização de ‘geradores’ sintetizados (formulados) em *MatLab*, sendo utilizados os dados da população obtidos e também um fator de atração que se denominou como Índice de “Serviços”, obtido através das propriedades de geoprocessamento da ferramenta *ArcGis*;
- Foi considerado que todos os agentes intervenientes no modelo têm como meio de locomoção o transporte individual, não sendo modelado o transporte público, apesar de ser possível como explanado no ponto 3.2;
- Embora exista uma parcela nos dados recolhidos referente ao número de estudantes, este tipo de deslocações não foi considerada no modelo, porque requeria uma recolha

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

de dados adicional de todos os estabelecimentos de ensino, bem como das características de todos os alunos desses mesmos estabelecimentos;

- Foi também admitido que os dados sobre a rede rodoviária obtidos através do *OpenStreetMap* estão corretos, tendo sido somente efetuadas pequenas correções pontuais dos mesmos;
- Não foi considerado para o modelo o tráfego de atravessamento nas freguesias de estudo;
- Não foram incluídas deslocações com destino para os “Açores”, “Madeira” e o “Estrangeiro”, por terem sido consideradas residuais para os objetivos do estudo.

Os modelos clássicos de transportes têm por base uma representação do espaço em que estes são operacionalizados. Nas tarefas de modelação a área de estudo é dividida em zonas de análise de tráfego (ZAT) e as infraestruturas de transporte (nomeadamente a rodoviária) são representadas por um conjunto de arcos e nós. Essas zonas são delimitadas em função dos objetivos do estudo e por limitações de ordem prática podendo ser representadas por um único ponto chamado centróide, um ponto que é dotado de um par de coordenadas geográficas, (Paiva, 2003).

Na execução do modelo, os dados da rede obtidos através do *OpenStreetMap* foram modelados com base num sistema de coordenadas geográficas, em que as coordenadas representam-se por latitude e longitude num elipsoide relativos a um *Datum*. Neste caso, os dados obtidos são relativos ao elipsoide *World Geodetic System (WGS84)* sendo o ponto de origem o *Hartbeeshoek Radio Astronomy Telescope*.

Contudo o *MATSim* requer coordenadas cartesianas para todos os dados de entrada, não só da rede, como também das informações relativas aos agentes, implicando uma transformação de coordenadas que teve que ser efetuada.

As coordenadas foram o *WGS84_UTM29N*, que corresponde a um sistema de coordenadas projetadas, em que o seu uso é aplicável entre 12°W e 6°W, no hemisfério norte e entre o equador e 84°N, zona em que se insere Portugal. O sistema WGS 84 / UTM zona 29N utiliza o sistema de coordenadas geográficas a duas dimensões WGS 84 como sistema de base e o UTM zona 29N (*Universal Transverse Mercator*) como sua projeção, e os seus campos de aplicação são sobretudo levantamentos topográficos de grandes e médias dimensões e também a aplicação em trabalhos de investigação em engenharia, (Solutions, 1995). O principal motivo da escolha deste sistema de coordenadas foi ser o único existente para o desenvolvimento de um modelo para a zona geográfica de Portugal (impossibilitando assim a utilização do sistema de coordenadas mais habitual para Portugal que é o *TM06-ETRS89*).

Capítulo IV. – Construção de um Modelo Inicial e Análise de resultados

Os centróides definidos no modelo são ligados à rede por meio de conectores representando os pontos de acesso à mesma, tanto no caso de estes centróides serem pontos de origem ou de destino das viagens, (Paiva, 2003). Quando as localizações das residências não são coincidentes com os nós da rede utilizada (o que acontece a maior parte das vezes), o *MATSim* tem a capacidade de atribuir o par de coordenadas do nó mais próximo por meio de *QuadTrees*.

O *Quadtree*, nome dado por *Raphael Finkel* e *J.L.Bentley*, apresenta-se com uma estrutura de dados encadeados na forma de árvore, em que cada nó interno apresenta exatamente quatro “filhos”,(Eppstein, Goodrich, & Sun, 2005). Este tipo de estrutura é frequentemente utilizada para a divisão de um espaço bidimensional, dividindo-o sucessivamente em quatro quadrantes ou regiões, apresentando características como:

- São capazes da decomposição do espaço em células adaptáveis;
- Cada célula tem uma capacidade máxima. Quando atingido o máximo, essa mesma célula subdivide-se;
- Os diretórios seguem uma decomposição do tipo “árvore”.

Na Figura 24 apresenta-se uma construção de uma estrutura *Quadtree* para a localização de vários pontos no espaço

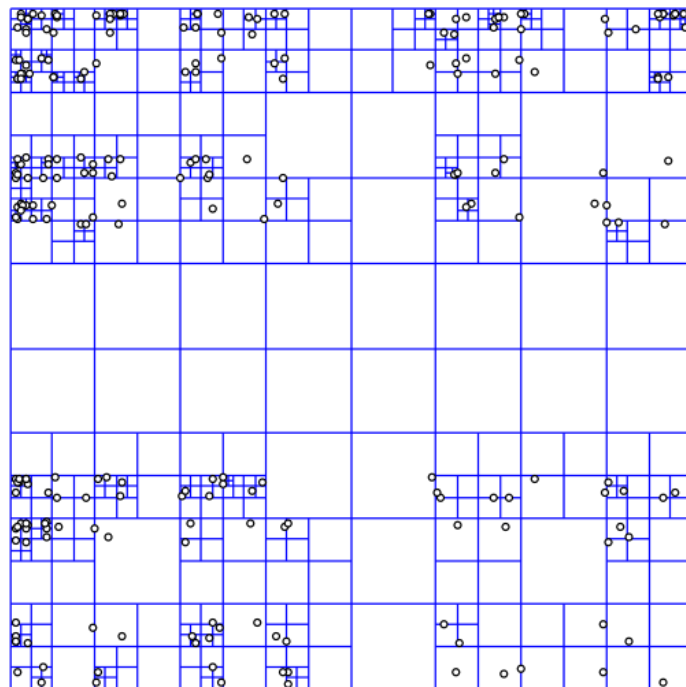


Figura 24 – Estrutura *Quadtree*

Fonte: Eppstein, Goodrich, & Sun, (2005)

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

4.4.1. Criação da rede

Para a criação da rede, composta por arcos e nós, foi feita uma exportação dos dados necessários a partir do *OpenStreetMap*.

O *OpenStreetMap* é um projeto colaborativo que permitiu criar um mapa à escala mundial gratuito em formato editável. Inicialmente foi criado por voluntários que fizeram o levantamento das características recorrendo ao uso de um GPS portátil com o auxílio do registo das propriedades em formato papel, em foto ou por gravador de voz. Mais recentemente, e devido à possibilidade da captura de fotografias aéreas ou pela disponibilização de dados obtidos por empresas ou organizações governamentais, foi incrementado significativamente o tamanho das bases de dados e das disponibilizações desses dados publicamente, (Community, 2004).

A estrutura dos ficheiros com extensão *xml* que representam a rede de arcos e nós a utilizar no modelo, foi descrito no ponto 3.2.4.1. Visto que os dados foram retirados do *site* do *OpenStreetMap*, verificaram-se as seguintes condições fundamentais:

- Os dados relativos à capacidade do arco, ao comprimento, à velocidade praticada e ao número de vias;
- A topologia da rede garante a circulação generalizada e acesso entre todas as partes da rede.

Inicialmente a rede da área em estudo era constituída por 5717 arcos e 3085 nós. Como se tratava de um ficheiro com extensão *osm*, foi executada a primeira rotina em *java* (*CreateNetwork*) para se obter uma rede rodoviária legível pelo *MATSim*.

Depois desta rotina executada, a rede passou a ser constituída por 2.841 nós e de 5.421 arcos, visto que a mesma consegue identificar arcos sem saída e inacessíveis, eliminando-os do modelo.

O aspeto final da rede a utilizar no modelo inicial apresenta-se na Figura 25.

Capítulo IV. – Construção de um Modelo Inicial e Análise de resultados



Figura 25 – Rede a utilizar no modelo inicial

4.4.2. Criação da população

A recolha dos dados a utilizar no modelo foi feita primeiramente recorrendo ao Instituto Nacional de Estatística (INE), através da utilização da BGRI (Base Geográfica de Referenciação de Informação). Esta base de dados foi construída pelo INE em parceria com várias entidades, como é o caso das câmaras municipais, do Centro Nacional de Informação Geográfica, do Instituto Geográfico do Exército e do Instituto Português de Cartografia e Cadastro. Esta base geográfica apresenta-se segundo uma estrutura poligonal hierárquica, a qual é estipulada pela delimitação existente em 1991, em papel, sendo a unidade de desagregação elementar de representação a subsecção estatística, (Geirinhas, 2001).

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

Devido aos diferentes níveis de desagregação dos dados obtidos, as zonas a analisar foram representadas pelos respetivos centróides. No caso da subsecção, os valores das coordenadas foram fornecidos pelo INE) Nas regiões delimitadas pelas NUTII, os pares de coordenadas foram obtidos manualmente. No primeiro caso, foi tido em consideração os aglomerados populacionais com um maior número teórico de origens e destinos de viagens. No caso das NUTII, foram considerados os pontos da rede utilizada no modelo que mais se aproximam do centróide real. Não foram escolhidos estes últimos (centróides reais) devido à necessidade do aumento substancial do tamanho da rede, o que se considerou não ser relevante para a qualidade dos resultados obtidos na área em análise.

Os dados relativos à população foram obtidos através do quadro de apuramento “Q6.41 - População residente a estudar, e empregada segundo o ramo de atividade económica, por local de trabalho ou estudo – LISBOA” (Instituto Nacional de Estatística, 2012b), sendo apenas tratados os dados relativos à população residente empregada, em conjunto com os dados recolhidos da BGRI relativos ao número de indivíduos residentes empregados desagregados ao nível da subsecção.

Visto que no quadro de apuramento do INE a desagregação da zona de origem é feita ao nível da freguesia e a desagregação da zona de destino ao concelho ou município, foi necessário uma distribuição da população originária de cada freguesia pelas suas subsecções, de modo a obter resultados de simulação mais aproximados à realidade.

Esta distribuição foi feita segundo a repartição da população originária pelas respetivas subsecções dessa mesma freguesia, consoante o número de indivíduos empregados, retirados da BGRI, para cada subsecção, através de uma função densidade probabilidade (tendo sido a rotina de cálculo executada em *MatLab*, como se apresenta na Figura 26) que tem em conta a probabilidade da deslocação para cada uma das classes consideradas na simulação, que numa primeira fase são “Na freguesia onde reside”, “Noutra freguesia do município onde reside”, “Alentejo”, “Algarve”, “Centro”, “Lisboa”, “Norte”, “Açores”, “Madeira”, “Estrangeiro” e “Em casa”. As quatro últimas classes apresentadas não foram consideradas para a construção do modelo da zona a analisar. Através desta rotina foi criada uma matriz, em que as várias colunas são referentes às zonas de destino e as diferentes linhas referem-se aos centróides de origem.

Capítulo IV. – Construção de um Modelo Inicial e Análise de resultados

```
clc; clear all; close all
%inicialização de variáveis
A = xlsread('ssp.xlsx', 1);

%numero de casos - FALTA LER NUMERO
nc = A(1,6);

%numero de classes - FALTA LER NUMERO
cl = A(1,2);

%matriz dos limites - FALTA LER NUMEROS

ML=A(4:3+cl,1:2);

%geração da matriz final a zero
X = zeros(nc,cl);

%leitura do numero de agentes para cada subsecção - FALTA LER NUMEROS
Z = A(4:3+nc,6);

for p=1:nc
    %geração aleatoria do numero de agentes para cada subsecção
    r=rand(Z(p),1);

    for i=1:cl;
        for u=1:Z(p);
            if ML(i,1)<r(u,1) && r(u,1)<ML(i,2);
                X(p,i) = X(p,i)+1;
            end
        end
    end
end
xlswrite('ssp.xlsx', X, 'Resultados_producao')
```

Figura 26 – Rotina de cálculo em *MatLab* para a função densidade probabilidade

Seguidamente apresenta-se o exemplo para distribuição das viagens com origem em cada uma das subsecções da freguesia de Alvalade. Primeiramente foram obtidos e tratados os resultados do número de residentes empregados por subsecção (retirados da BGRI) conforme apresentado na Tabela 11 e a população residente, a exercer uma profissão por local de residência e local de trabalho, referentes à freguesia de Alvalade. Uma das considerações que foram feitas foi a agregação dos vários concelhos do país em regiões delimitadas pelas NUTII, conforme apresentado na Tabela 12.

Tabela 11 - Indivíduos residentes empregados por subsecção da freguesia de Alvalade

ID Subsecção	Residentes Empregados
11060400101	281
11060400201	325
11060400301	35
11060400302	124
11060400401	120
11060400402	87
11060400501	57
11060400502	99
11060400503	16
11060400601	11

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

ID Subsecção	Residentes Empregados
11060400602	72
11060400603	9
11060400604	108
11060400701	257
11060400801	247
11060400901	69
11060401001	256
11060401101	102
11060401102	120
11060401201	79
11060401202	105
11060401203	0
11060401301	100
11060401302	136
11060401401	17
11060401402	148
11060401501	166
11060401502	85
11060401601	44
11060401602	43
11060401603	41
11060401604	46
11060401701	159
11060401702	26

Depois destes dados obtidos, foi construída a função de distribuição acumulada para a repartição das viagens originárias de cada subsecção por cada uma das 11 classes consideradas, como se apresenta na Tabela 12.

Tabela 12 - População residente, a exercer uma profissão por local de residência e local de trabalho para a freguesia de Alvalade

		Trabalhadores
Alvalade	Total	3590
	Na freguesia onde reside	455
	Noutra freguesia do município onde reside	2278
	Alentejo	30
	Algarve	6
	Centro	33
	Lisboa	477
	Norte	13
	Açores	1
	Madeira	1
	Estrangeiro	51
	Em casa	245

Capítulo IV. – Construção de um Modelo Inicial e Análise de resultados

No caso das viagens originárias em Alvalade e com destino a “Alentejo”, “Centro” e “Norte” não foi necessário fazer nenhuma repartição pelos centróides de destino, visto que é apenas considerado um para cada uma das zonas.

No caso das viagens com destino “Na freguesia onde reside” foi feita uma distribuição muito semelhante àquela já anteriormente descrita, utilizando para tal uma rotina de cálculo também formulada recorrendo à ferramenta *MatLab*, conforme apresentado na Figura 27.

```
clc; clear all; close all
%inicialização de variáveis
A = xlsread('alv_atracao.xlsx', 1);

%numero de casos
nc = A(1,6);

%numero de classes
cl = A(1,2);

%matriz dos limites
ML=A(4:3+cl,1:2);

%geração da matriz final a zero
X = zeros(nc,cl);

%leitura do numero de agentes para cada subsecção
Z = A(4:3+nc,6);

for p=1:nc
    %geração aleatoria do numero de agentes para cada subsecção
    x=rand(Z(p),1);

    for i=1:cl;
        for u=1:Z(p);
            if p~=i;
                if ML(i,1)<r(u,1) && r(u,1)<ML(i,2);
                    X(p,i) = X(p,i)+1;
                end
            else
                X(p,i) = 0;
            end
        end
    end
end
xlswrite('alv_atracao.xlsx', X, 'Resultados_atracao')
```

Figura 27 – Rotina de cálculo em *MatLab* para a distribuição dos agentes dentro da freguesia de estudo

Neste caso, foi utilizado como fator de atração um índice que se denominou como “Serviços”, que é o resultado da soma de 80% do número de edifícios principalmente não residenciais e de 20% do número de edifícios principalmente residenciais, tendo estes dados sido obtidos na BGRI, para cada subsecção e zona de análise. Dando continuidade ao exemplo apresentado para a freguesia de Alvalade, os resultados do fator de atração, tendo em conta o “índice de serviços”, apresentam-se na Tabela 13 para todas as subsecções de estudo, apresentam-se estes valores na Figura 28.

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

Tabela 13 - Resultados do cálculo do índice de serviços para as subsecções da freguesia de Alvalade

ID Subsecção	Índice Serviços	P(x)
'11060400101	12,80	0,0872
'11060400201	7,20	0,049
'11060400301	5,80	0,0395
'11060400302	2,40	0,0163
'11060400401	10,40	0,0708
'11060400402	0,80	0,0054
'11060400501	0,00	0
'11060400502	0,00	0
'11060400503	0,80	0,0054
'11060400601	9,60	0,0654
'11060400602	0,80	0,0054
'11060400603	3,20	0,0218
'11060400604	17,60	0,1199
'11060400701	0,00	0
'11060400801	1,60	0,0109
'11060400901	11,40	0,0777
'11060401001	1,00	0,0068
'11060401101	1,20	0,0082
'11060401102	3,20	0,0218
'11060401201	6,40	0,0436
'11060401202	2,40	0,0163
'11060401203	5,60	0,0381
'11060401301	5,80	0,0395
'11060401302	0,00	0
'11060401401	0,00	0
'11060401402	5,60	0,0381
'11060401501	0,80	0,0054
'11060401502	4,20	0,0286
'11060401601	1,00	0,0068
'11060401602	3,40	0,0232
'11060401603	16,80	0,1144
'11060401604	0,00	0
'11060401701	4,80	0,0327
'11060401702	0,20	0,0014
Total	146,80	1

Capítulo IV. – Construção de um Modelo Inicial e Análise de resultados

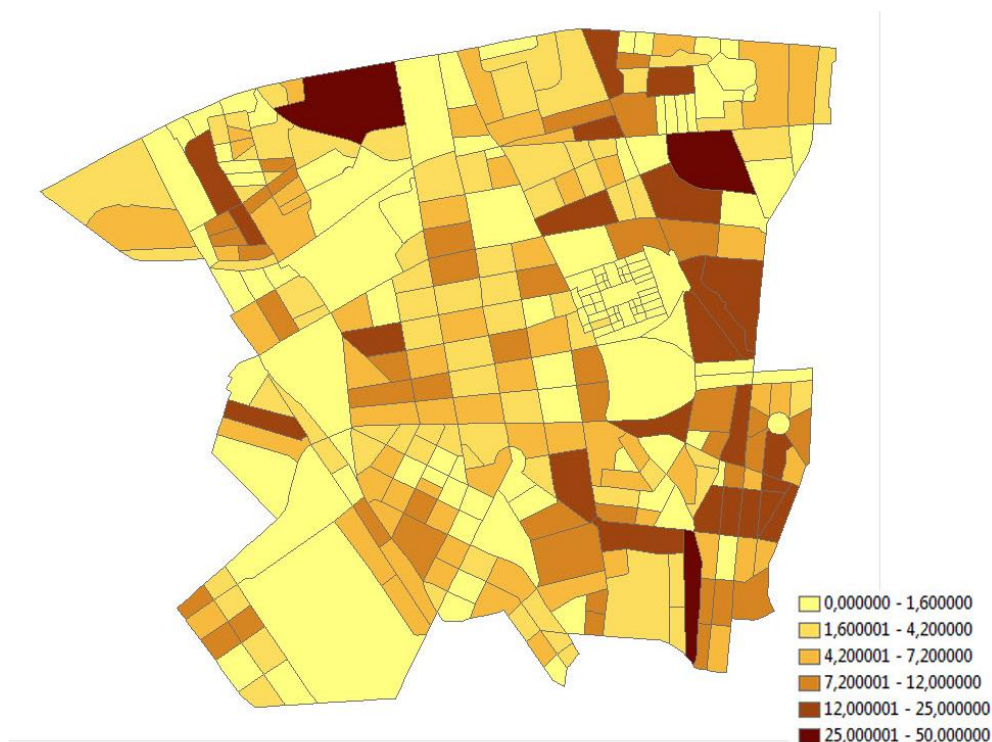


Figura 28 – Índice de “Serviços” para as subsecções consideradas no modelo

Os dados, depois de tratados e organizados foram apresentados na Tabela 14, em que as várias colunas são referentes aos centróides de destino e as linhas referentes aos centróides de origem. Há que referir que, embora possam existir movimentos de agentes dentro da mesma subsecção, estes não foram considerados (valor igual a 0), visto que, como já referido, toda a subsecção é representada apenas por um centróide, não sendo possível na ferramenta *MATSim* a simulação de agentes com o mesmo ponto de origem e destino, sem nenhuma tipo de atividade entre estes pontos.

No caso das viagens com destino “Noutra freguesia do município onde reside”, “Lisboa” e as provenientes do NUTII Lisboa, com destino nas freguesias de estudo e as viagens provenientes das restantes NUTII foi efetuada uma distribuição muito semelhante àquela acima referida, apenas tendo sido dividido o município de Lisboa em 4 zonas (Figura 30) e o NUTII Lisboa em 4 zonas (Figura 29), respetivamente. No primeiro caso, também como na distribuição entre freguesias acima descrita, foi considerado como fator de atração o “índice de serviços”, neste caso considerado as respetivas quatro zonas (“A”, “B”, “C” e “D”) e as subsecções das outras quatro freguesias, que para o caso da freguesia de Alvalade, correspondem os centróides relativos às subsecções de Nossa Senhora de Fátima, São João de Deus, São Sebastião da Pedreira e São Jorge de Arroios.

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

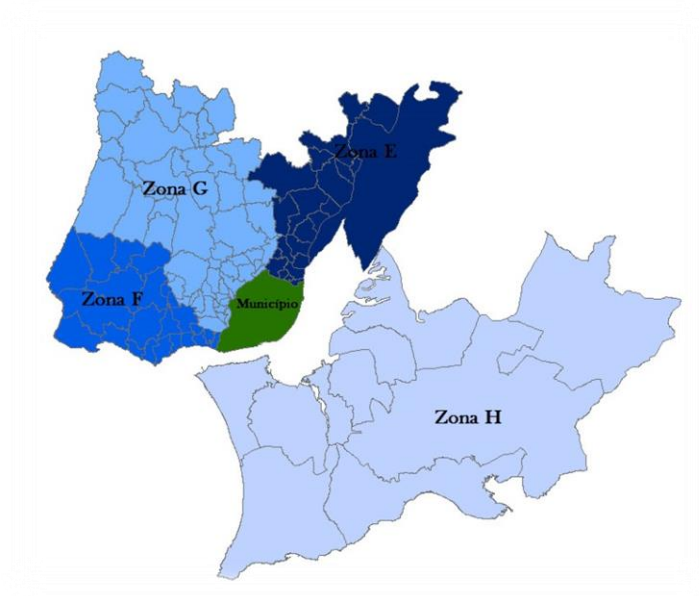


Figura 29 – Divisão do NUTTII Lisboa nas zonas “E”, “F”, “G” e “H”

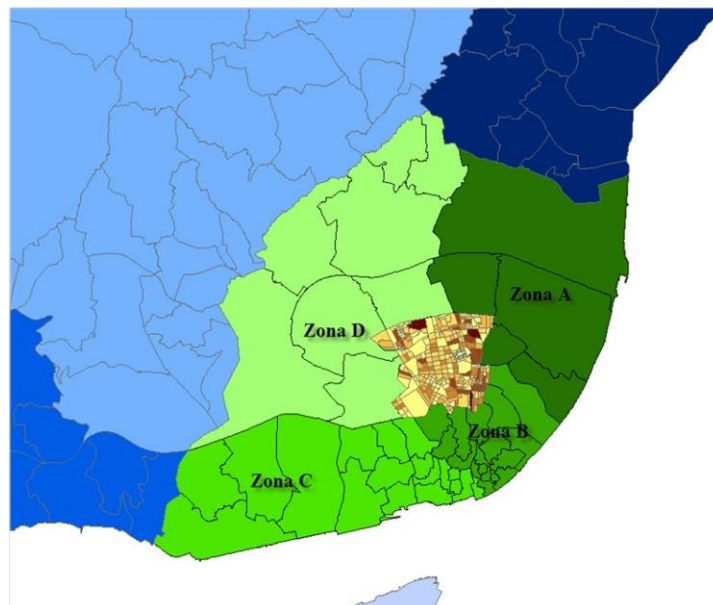


Figura 30 – Divisão do Município de Lisboa nas zonas “A”, “B”, “C” e “D”

Capítulo IV. – Construção de um Modelo Inicial e Análise de resultados

Tabela 14 - Matriz OD referente às subsecções da freguesia de Alvalade

		Destino																																					
		'11060400101	'11060400201	'11060400301	'11060400302	'11060400401	'11060400402	'11060400501	'11060400502	'11060400503	'11060400601	'11060400602	'11060400603	'11060400604	'11060400701	'11060400801	'11060400901	'11060401001	'11060401101	'11060401102	'11060401201	'11060401202	'11060401203	'11060401301	'11060401302	'11060401401	'11060401402	'11060401501	'11060401502		'11060401601	'11060401602	'11060401603	'11060401604	'11060401701	'11060401702			
ORIGEM	'11060400101	0	1	1	0	2	0	0	0	0	2	0	0	7	0	1	3	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	6	0	3	0	30	
	'11060400201	3	0	1	0	4	0	0	0	0	4	0	2	3	0	0	1	1	1	1	3	0	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	7	0	0	0	35		
	'11060400301	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3		
	'11060400302	3	2	1	0	3	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	1	0	0	0	2	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	3	0	2	0	25			
	'11060400401	2	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0	1	4	0	0	2	0	1	0	0	0	2	2	0	0	1	0	0	0	1	4	0	0	0	24			
	'11060400402	1	2	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	9		
	'11060400501	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	5			
	'11060400502	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0	1	2	0	1	0	0	0	1	0	2	0	1	0	0	0	0	15			
	'11060400503	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2			
	'11060400601	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		
	'11060400602	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	6	
	'11060400603	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3		
	'11060400604	0	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	7		
	'11060400701	1	1	4	1	1	0	0	0	0	3	0	1	1	0	1	7	0	0	1	2	1	2	1	0	0	0	1	0	1	4	0	1	0	1	0	35		
	'11060400801	3	2	0	1	3	1	0	0	0	1	0	1	6	0	0	1	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4	0	2	1	31		
	'11060400901	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	6		
	'11060401001	1	0	0	0	4	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	4	0	0	2	2	0	2	1	0	0	1	0	0	0	3	0	1	0	0	25			
	'11060401101	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	5	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13		
	'11060401102	3	0	1	2	2	0	0	0	0	1	0	0	3	0	0	2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	4	0	0	0	22			
	'11060401201	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	7		
	'11060401202	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	3	0	1	1	0	0	2	0	1	0	0	1	0	0	1	0	14		
	'11060401203	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	'11060401301	1	0	2	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	14	
	'11060401302	2	1	2	2	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	2	0	19
	'11060401401	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
	'11060401402	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	4	0	1	0	16		
	'11060401501	2	1	2	0	2	0	0	0	1	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	4	0	0	0	24			
	'11060401502	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	2	0	0	0	0	9			
'11060401601	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	4		
'11060401602	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3			
'11060401603	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4			
'11060401604	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4			
'11060401701	3	2	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	3	0	0	0	0	16				
'11060401702	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4			
	32	17	23	9	35	1	0	0	1	20	1	12	50	0	7	36	2	3	8	23	8	16	15	0	0	15	1	11	2	11	63	0	15	1	438				

Capítulo IV – Construção de um Modelo e Análise de resultados

Para os centróides relativos às zonas quatro zonas do município de Lisboa e às quatro do NUTTII Lisboa, foram considerados os pontos da rede utilizada no modelo que mais se aproximam do centróide real, sendo obtidos manualmente, de igual forma aos centróides das outras regiões NUT II, conforme se ilustra na Figura 31.

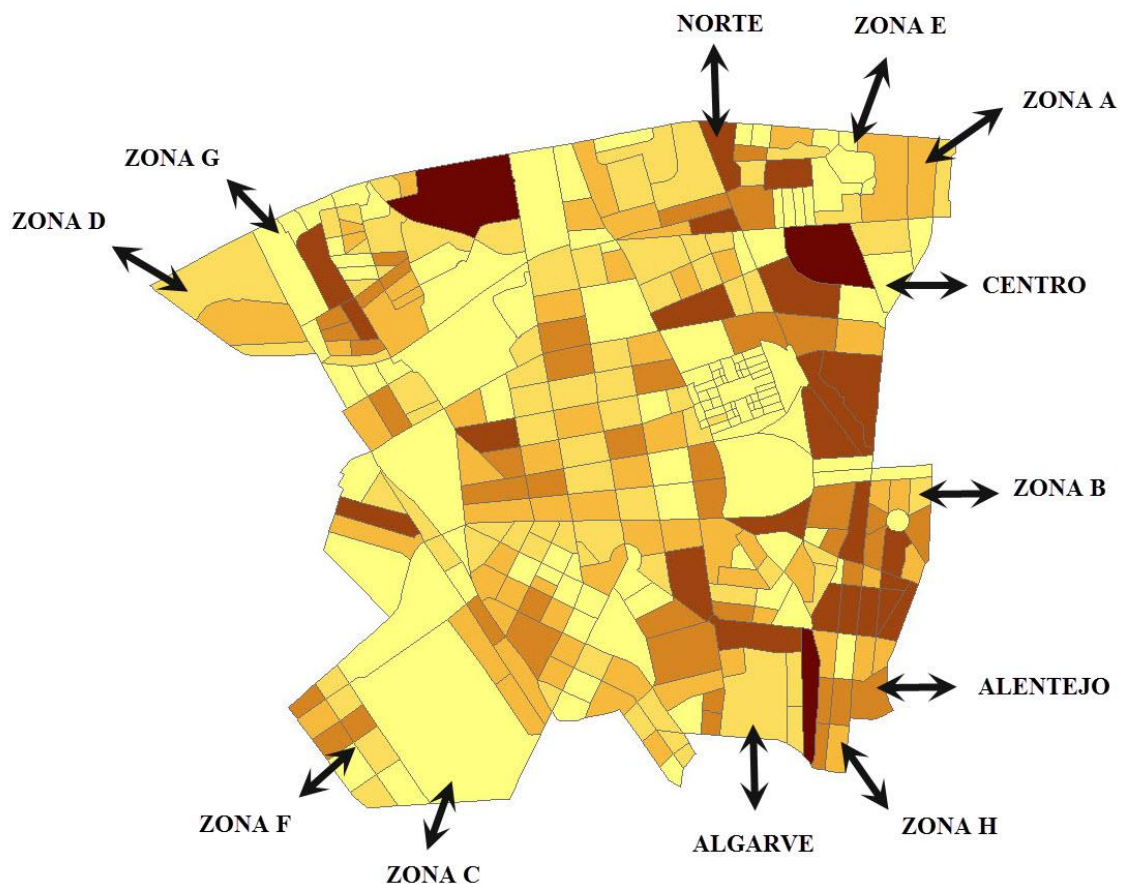


Figura 31 – Simplificação da localização dos centróides relativos às quatro zonas do município de Lisboa e às quatro do NUTTII Lisboa

Admitiu-se que, nesta fase da formulação do modelo, todas as localizações referentes às habitações e local de emprego estavam estabelecidas, bem como o número de agentes que viajava entre cada ponto de origem e de destino, tornando-se possível a construção da matriz OD a utilizar no modelo. Esta matriz, apesar de ser apresentada de uma forma simplificada na Tabela 15, é constituída por 343 pontos de origem e destino (como já referido, as viagens entre as NUTII e dentro do município, excluindo as freguesias de estudo, não foram consideradas), com um total de 110047 viagens.

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

Tabela 15 - Matriz OD final simplificada

		Alvalade	Nossa Senhora de Fátima	São Jorge de Arroios	São João de Deus	São Sebastião da Pedreira	NUTII				Município				NUTII Lisboa					
		Subsecções	Subsecções	Subsecções	Subsecções	Subsecções	Norte	Centro	Alentejo	Algarve	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E	Zona F	Zona G	Zona H		
Alvalade	Subsecções	438	106	156	65	51	10	29	27	4	249	437	715	517	65	100	156	169		
Nossa Senhora de Fátima	Subsecções	53	1310	244	100	98	15	55	50	25	409	725	1216	892	135	153	292	337		
São Jorge de Arroios	Subsecções	115	296	1393	148	127	16	45	42	6	597	1031	1630	1258	142	191	330	361		
São João de Deus	Subsecções	46	125	176	508	49	9	31	38	4	276	520	834	616	76	84	183	199		
São Sebastião da Pedreira	Subsecções	35	107	111	41	515	8	22	34	3	182	316	526	362	41	63	103	112		
NUTII		Norte	155	428	546	195	215													
		Centro	328	1060	1320	492	498													
		Alentejo	148	538	631	238	220													
		Algarve	15	57	60	30	29													

Capítulo IV – Construção de um Modelo e Análise de resultados

		Alvalade	Nossa Senhora de Fátima	São Jorge de Arroios	São João de Deus	São Sebastião da Pedreira	NUTII				Município				NUTII Lisboa			
		Subsecções	Subsecções	Subsecções	Subsecções	Subsecções	Norte	Centro	Alentejo	Algarve	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E	Zona F	Zona G	Zona H
Município	Zona A	521	1593	2062	737	744												
	Zona B	364	1067	1366	534	531												
	Zona C	441	1462	1812	670	685												
	Zona D	891	2596	3222	1254	1233												
NUTII Lisboa	Zona E	816	2348	2969	1129	1081												
	Zona F	1167	3439	4299	1641	1692												
	Zona G	1875	5783	7129	2693	2711												
	Zona H	1414	4161	5243	2023	1960												

Contudo, nestas 110047 viagens, estavam contempladas todas as viagens casa-trabalho e vice-versa, qualquer que fosse o modo de transporte. Como é necessário analisar a matriz OD de transporte individual, esse fator teve que ser tido em conta, bem como o facto de muitos veículos transportarem passageiros também (ver a taxa de ocupação dos veículos). Assim, para a estimação da matriz OD dos veículos afetos ao transporte individual foram considerados os dados apresentados na Tabela 16, fornecidos pelo INE relativos ao meio de transporte mais utilizado nos movimentos pendulares (N.º) por local de residência (à data dos Censos 2011) e principal meio de transporte, (Instituto Nacional de Estatística, 2013).

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

Tabela 16 - Meio de transporte mais utilizado nos movimentos pendulares (N.º) por local de residência (à data dos Censos 2011) e principal meio de transporte

Fonte: Instituto Nacional de Estatística, (2013)

	Número total de viagens por dia		Automóvel ligeiro - como condutor	Automóvel ligeiro - como passageiro	Percentagem Total de carro		Taxa de Ocupação com Passageiros
	N.º	N.º	N.º	N.º	N.º	N.º	N.º
Norte	NUTII	2051031	893183	383417	0,62	62,24	1,43
Centro	NUTII	1246318	629256	235824	0,69	69,41	1,37
Lisboa	NUTII	1673592	644969	259448	0,54	54,04	1,40
Lisboa	Município	304835	103974	41404	0,48	47,69	1,40
Alvalade	Freguesia	4692	1670	670	0,50	49,87	1,40
Nossa Senhora de Fátima	Freguesia	8604	3023	1333	0,51	50,63	1,44
São João de Deus	Freguesia	5384	1934	777	0,50	50,35	1,40
São Jorge de Arroios	Freguesia	10149	2439	1111	0,35	34,98	1,46
São Sebastião da Pedreira	Freguesia	3722	1290	597	0,51	50,70	1,46
Alentejo	NUTII	394235	179428	70906	0,63	63,50	1,40
Algarve	NUTII	249912	117921	45205	0,65	65,27	1,38

O número total de agentes intervenientes no modelo foi então o número de veículos utilizados nas viagens consideradas na construção do modelo. Depois de obtidos os dados da Tabela 16, foi efetuado o produto, entre cada par de origem e destino, do número inicial de viagens, pela percentagem dos agentes que utilizam o automóvel ligeiro (condutor e passageiro) e de seguida foi efetuado o quociente entre este valor e a taxa de ocupação.

Desta forma foi possível obter uma boa aproximação do número de veículos que foram utilizados pela população considerada nas deslocações de casa-trabalho e trabalho-casa, tendo o valor calculado sido arredondado por excesso com significância de uma unidade, sendo este valor de 46586 veículos em circulação na rede, representando 42,3% do número inicial de viagens.

4.4.3. Ficheiro de Configuração

Apesar de alguns dos ficheiros iniciais possuírem um grande número de variáveis, apenas algumas destas intervieram na construção do modelo. Na Tabela 17 apresentam-se todas as variáveis intervenientes no modelo, pertencentes aos vários ficheiros de entrada, bem como da descrição de cada uma delas.

Tabela 17 - Variáveis dos ficheiros de entrada intervenientes no modelo

Census	
<i>PERSON_ID</i>	ID do agente
<i>ALTJ</i>	Idade do agente
<i>AGDE</i>	Município de Trabalho
<i>XH</i>	Coordenada X de casa
<i>YH</i>	Coordenada Y de casa
Municipalities	
<i>ZONE_ID</i>	ID da zona
<i>XCENTER</i>	Coordenada X do centróide
<i>YCENTER</i>	Coordenada Y do centróide
Travelsurvey_trips	
<i>PERSON_ID</i>	ID do agente
<i>TRIP_ID</i>	ID da viagem
<i>XCOORDORIGIN</i>	Coordenada X de origem
<i>YCOORDORIGIN</i>	Coordenada Y de origem
<i>XCOORDDESTINATION</i>	Coordenada X de destino
<i>YCOORDDESTINATION</i>	Coordenada Y de destino
<i>ACTIVITYDURATION</i>	Duração da atividade
<i>MODE</i>	Meio de transporte
<i>ACTIVITYTYPE</i>	Tipo de atividade
Facilities	
<i>FACILITY_ID</i>	ID da facility
<i>X</i>	Coordenada X do centróide
<i>Y</i>	Coordenada Y do centróide
<i>ACTIVITY_TYPE</i>	Tipo de atividade
<i>OPENTIME_DAY</i>	Definição do dia de semana ou fim-de-semana
<i>START_TIME</i>	Hora de abertura da facility
<i>END_TIME</i>	Hora de encerramento da facility
Travelsurvey_persons	
<i>PERSON_ID</i>	ID do agente
<i>SURVEY_DAY</i>	Somatório dos dias do ano em que o agente efetua o plano de viagens

Para a estruturação e organização dos dados de entrada na ferramenta *MATSim* foram também construídos ciclos de cálculo em *MatLab* em que, organizando e estruturando os dados acima descritos, foi possível a sua possível utilização no *MATSim*, conforme apresentados no ponto 3.2.4.

Neste ficheiro de configuração, é necessário fazer a definição de alguns dos parâmetros intervenientes na simulação do modelo. Para tal, foram consideradas as seguintes opções:

- Sistema de coordenadas: o sistema de coordenadas utilizado foi o *WGS 84 / UTM* zona 29N, devido ao apresentado no ponto
- Número de iterações: inicialmente, e como sugerido no tutorial, o número inicial de iterações foi estipulado como 10.

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

- Ficheiro de contagens: numa abordagem inicial, não foi considerada nenhuma comparação com dados de contagens de tráfego reais.
- Extensões: não foi considerada a utilização de nenhuma das extensões apresentadas no ponto, apenas por uma questão de simplificação.
- Percentagem de representação: neste valor foi considerado que a amostragem a utilizar no modelo foi de 100%, visto que não foi efetuada nenhuma sintetização da população, excetuando a identificação da população que utiliza o carro como meio de transporte nas deslocações pendulares e da taxa de ocupação dessas mesmas viaturas.

4.4.4. Resultados iniciais obtidos do modelo não calibrado

Tendo sido executados todos os procedimentos de acordo com a metodologia acima descrita, apresenta-se de seguida a síntese os resultados obtidos do modelo inicial:

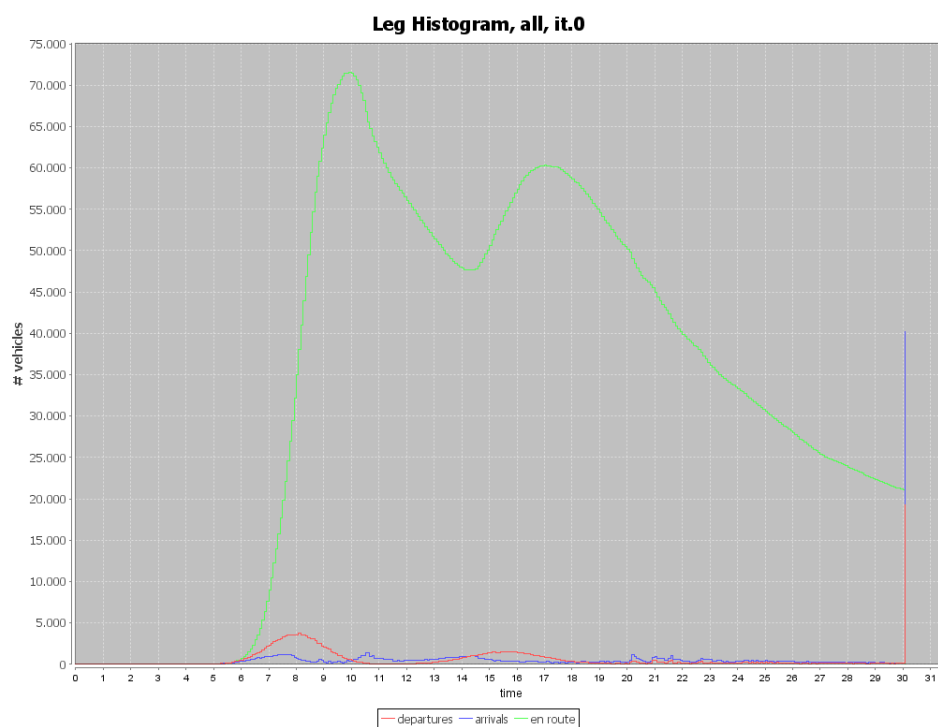


Figura 32 – Gráfico *Leg Histogram*, referente à iteração nº 0, do modelo inicial

Os dois primeiros gráficos representam o número de veículos que parte ao longo do dia (origens – linha vermelha), o número de veículos que chega à área de estudo ao longo do dia (destinos – linha azul) e número de veículos que se mantêm em circulação durante o dia. Chama-se a atenção que as escalas das saídas e chegadas são diferentes da escala dos veículos em circulação. Neste caso, por exemplo, na hora de ponta da manhã, cerca das 8h, partem cerca de

Capítulo IV – Construção de um Modelo e Análise de resultados

4.000 veículos por hora e chegam cerca de 2.000 veículos por hora. O número acumulado de veículos em circulação às 9h é cerca de 70.000.

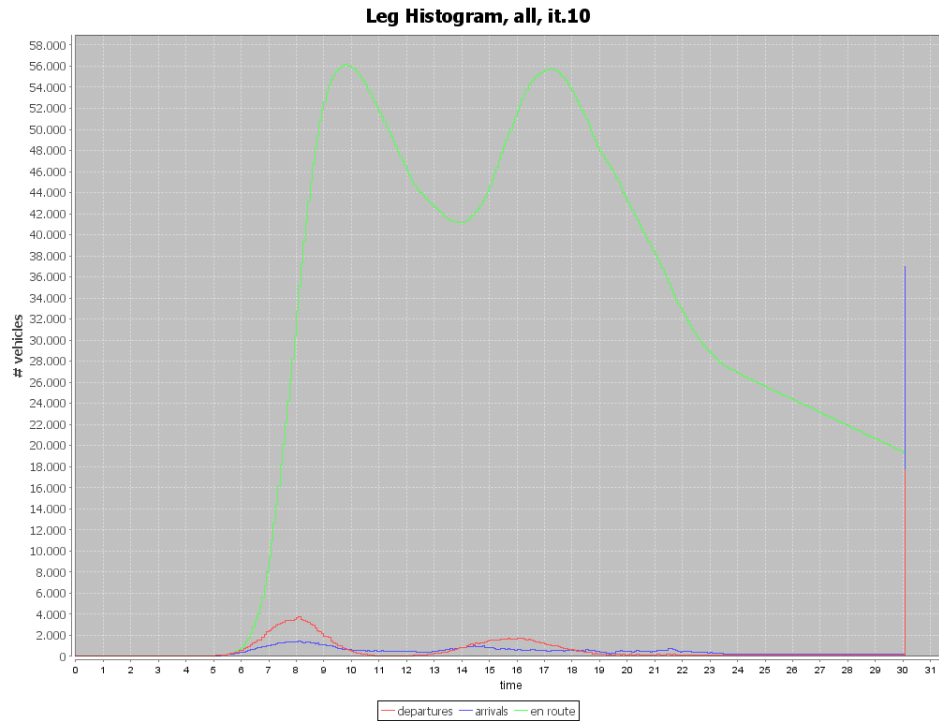


Figura 33 – Gráfico *Leg Histogram*, referente à iteração nº 10, do modelo inicial

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

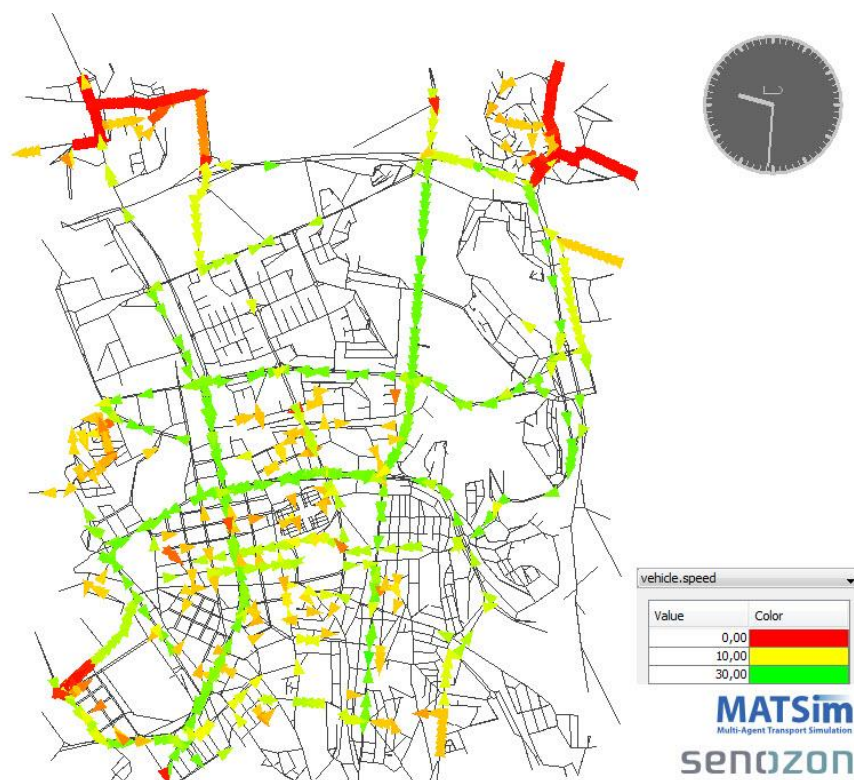


Figura 34 – Visualização dos agentes presentes na hora de ponta da manhã

Pode-se observar que existe um grande número de veículos com cor vermelha, ou seja, representativos de veículos com velocidade nula ou muito próxima de zero, o que dificulta quer a entrada na zona de análise no período de ponta da manhã, quer a sua saída no período de ponta da tarde. Pode-se também verificar que este acontecimento é mais notório nos acessos aos centróides fora da zona de análise, visto que são os centróides com maior geração e maior atracção no modelo.

Devido aos factos apresentados acima, este modelo apresenta-se muito pouco realista, visto que este ainda não sofreu qualquer tipo de calibração.

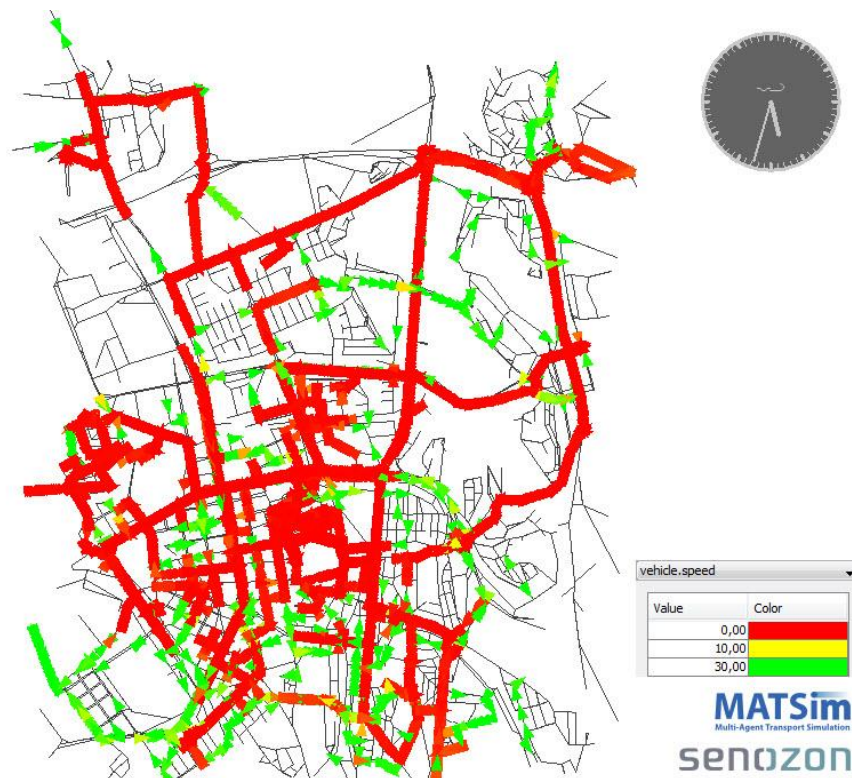


Figura 35 – Visualização dos agentes presentes na hora de ponta da tarde

Foram também obtidos dados relativos à distância percorrida e ao tempo de percurso, sendo possível assim obter a velocidade média de percurso. Para a iteração 0, estes dados têm os valores de 4001 metros, 6h53m e 0,58 km/h, respetivamente. Para a iteração 10, estes valores foram, 4414 metros, 5h41m e 0,77 km/h, respetivamente.

Analisando os resultados inicialmente obtidos, é possível concluir que o modelo não calibrado não corresponde a uma representação muito fiável da realidade, principalmente devido à incapacidade do escoamento de todos os agentes intervenientes no modelo durante as 24 horas da simulação e da presença de veículos em movimento durante todo o tempo de simulação. Pode-se observar também que nas zonas próximas dos centróides dos NUTII e dos municípios (extremos da rede utilizada no modelo) existe um grande número de agentes em conflito, muito devido ao facto dos arcos e nós da rede possuírem uma capacidade muito inferior à requerida, visto que são os centróides em que se verificam uma maior quantidade de origens e destinos de viagem.

Outros resultados obtidos que refutam a boa representação da realidade têm a ver com as velocidades médias praticadas e dos tempos de viagem médios.

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

Mesmo não sendo uma boa representação da realidade, pode-se observar a existência de dois picos correspondentes às horas de ponta (por volta das 8h e das 16h) em termos das partidas e chegadas de veículos e cerca de meia hora mais tarde para os veículos em movimento, sendo esta curva mais acentuada na hora de ponta da manhã.

4.5. Símula do capítulo

Neste capítulo foram abordadas todas as matérias relacionadas com a criação do modelo em *MATSim* para as freguesias de Alvalade, Nossa Senhora de Fátima, São Jorge de Arroios, São João de Deus e São sebastião da Pedreira.

Foi primeiramente analisada toda a metodologia inerente à criação do modelo, neste cenário específico, descrevendo todos os passos seguidos e todas as hipóteses e simplificações efetuadas de modo à obtenção da matriz OD, que é um dos principais elementos de entrada (*input*) no *MATSim*.

Foi também abordado o processo de escolha do correto sistema de coordenadas, do processo de obtenção dos dados relativos à rede (arcos e nós) e os fatores presentes no ficheiro de configuração que estipulam as características da simulação do modelo.

Por fim, foram apresentados os resultados do modelo inicial não calibrado, concluindo que este, apesar de não constituir uma representação viável da realidade, foi construído com sucesso, após um extenso processo de preparação e análise de dados.

A calibração e a obtenção de dados fiáveis serão abordadas no capítulo seguinte.

Capítulo V. - Calibração e Validação

5.1. Introdução

Neste capítulo apresentam-se os procedimentos para a calibração e validação do modelo implementado. Para o seu desenvolvimento teve-se em conta, não só o congestionamento e as filas de trânsito esperas inerentes ao processo de simulação a que os agentes são sujeitos, mas também os fatores associados ao facto de estarem somente a ser modeladas as viagens casa-trabalho-casa de uma zona da cidade de Lisboa. Ou seja, como já foi referido antes, não se procedeu à contabilização do tráfego de atravessamento dessa zona, que por ser uma zona central da cidade apresenta valores significativos para esse tráfego. Adicionalmente, também não foi considerada qualquer cadeia de viagens não obrigatórias. Por esse motivo, o processo de calibração assentou em pressupostos quantitativos, mas também qualitativos, uma vez que as contagens de tráfego reais incluem todos estes efeitos que não estão presentes no modelo, pelo que não pôde haver uma comparação direta de ‘contagens’ do modelo com os valores reais.

5.2. Calibração do modelo

Numa abordagem inicial, e de modo a colmatar as falhas da falta de capacidade de alguns arcos adutores da rede, irão ser ajustado os fatores do modelo de fila de espera, no qual o *MATSim* é baseado. Esta modificação terá como principais objetivos a obtenção de:

- Uma curva de tráfego em que exista o menor número possível de veículos em circulação entre as horas de ponta da manhã e da tarde, visto que se tratam apenas de viagens casa-trabalho e trabalho-casa, não se contabilizando outro tipo de viagens efetuadas;
- Um fator de hora de ponta equiparável aos registados pelos contadores de tráfego da Câmara Municipal de Lisboa (CML);
- Comparação com dados reais de contagens de tráfego.

O aspeto geral da curva de tráfego e as velocidades médias praticadas foram obtidos mediante a consulta de um estudo no concelho realizado pela CML. É de salientar que, apesar destes dados terem sido obtidos em parceria com outras entidades, dizem respeito ao ano de 2004 (CML, 2004).

No que diz respeito às curvas de tráfego relativas à hora de início e de fim das viagens realizadas pela população residente em Lisboa (Figura 36) e pela população não residente (Figura 37) pode-se observar que ambas têm a hora de ponta da manhã (viagens iniciadas e

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

terminadas) no período horário entre as 8 e 9 horas. Na hora de ponta da tarde, as ‘viagens terminadas’ têm um pico horário entre as 18 e 19 e as ‘viagens iniciadas’ junto às horas, tanto no caso da população residente como na não residente.

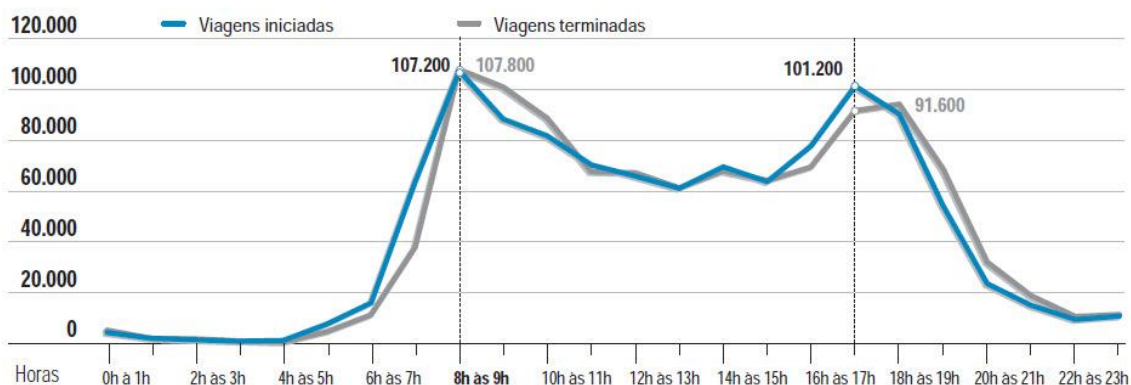


Figura 36 – Hora de início e de fim das viagens realizadas pela população residente em Lisboa

Fonte: CML, (2004)

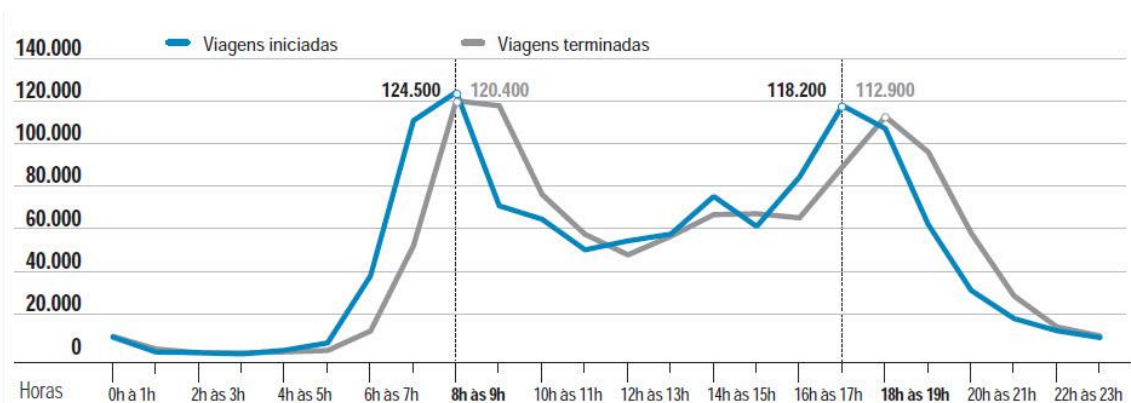


Figura 37 – Hora de início e de fim das viagens realizadas pela população não residente em Lisboa

Fonte: CML, (2004)

Quanto à curva de tráfego dos veículos em circulação na cidade de Lisboa, tanto para o caso dos residentes como dos não residentes (Figura 38), é dotada de um período de ponta da manhã entre as 8 e as 9 horas, e um período da tarde entre as 18 e as 19 horas, sendo este período menos acentuado e com um número de veículos inferior que o período de ponta da manhã. É de referir que as horas de início e fim das viagens da população não residente em Lisboa são diferentes das registadas na Figura 36, visto que analisando a Figura 37, é necessário diminuir

Capítulo V. – Calibração e Validação

(no caso do período de ponta da manhã) o tempo de viagem e aumentar esse mesmo valor para o caso do período de ponta da tarde.

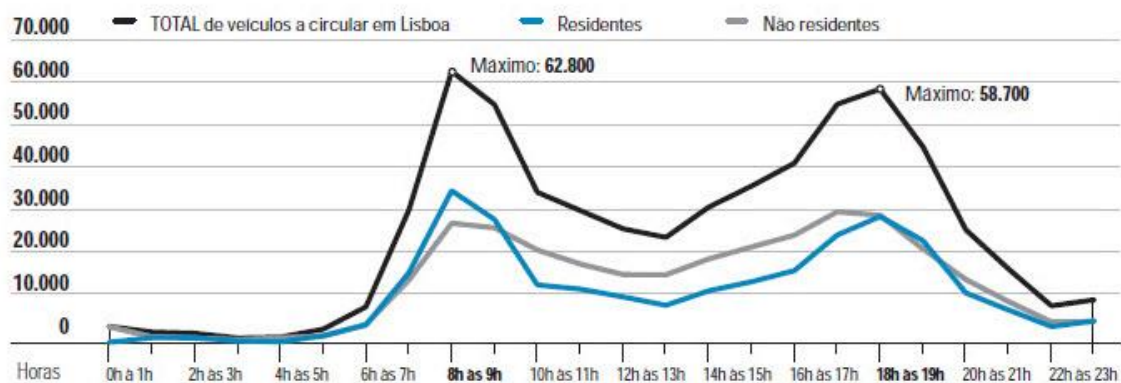


Figura 38 – Veículos em circulação na cidade de Lisboa

Fonte: CML, (2004)

No caso das velocidades de viagem na zona modelada, estes valores apresentam-se maioritariamente entre os 17 e os 27 quilómetros horários, dependendo do período de ponta considerado. Para o período de ponta da tarde este valor é superior devido ao facto de existir uma maior quantidade de viagens com destino às zonas suburbanas (exteriores à zona modelada) em relação às viagens realizadas internamente, como se apresenta na Figura 39 e na Figura 40. Pode-se também observar nestas figuras que durante o período de ponta da manhã são predominantes as zonas em que a velocidade média é inferior a 20 km/h e no período de ponta da tarde inferior a 27 km/h (CML, 2004).

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

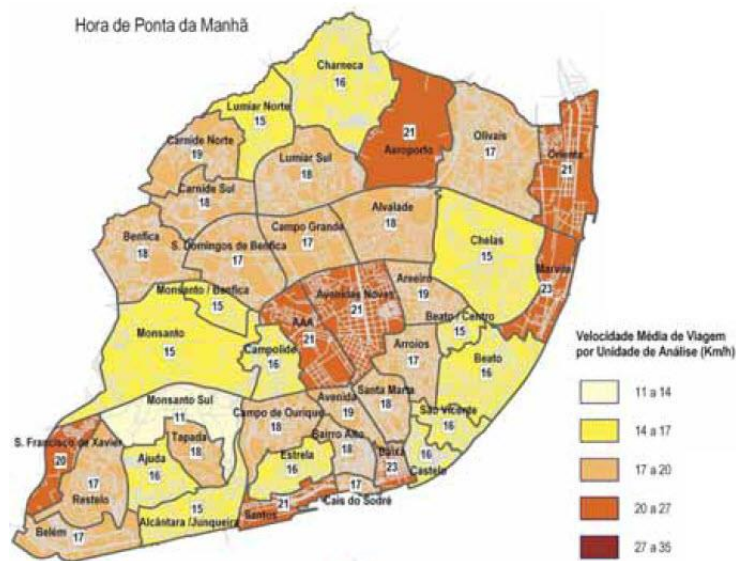


Figura 39 – Velocidade média de circulação para as viagens originadas em cada zona no período de ponta da manhã

Fonte: CML, (2004)

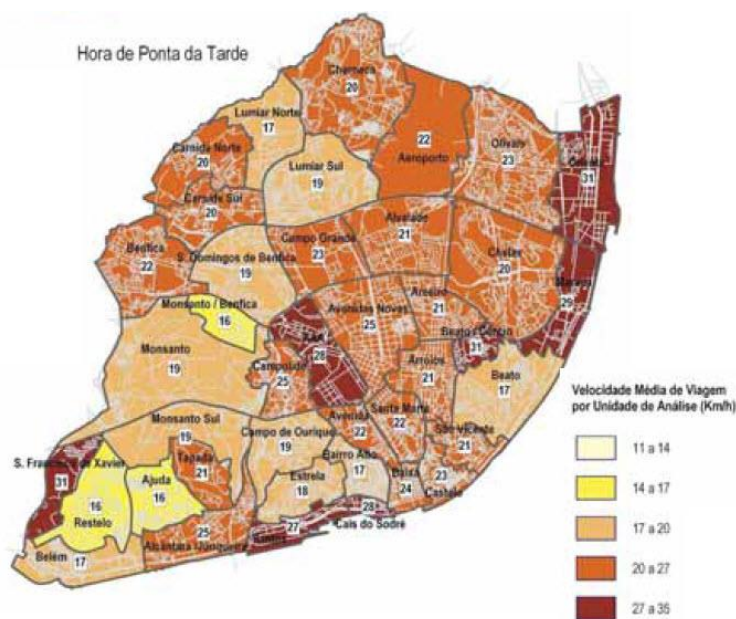


Figura 40 – Velocidade média de circulação para as viagens originadas em cada zona no período de ponta da tarde

Fonte: CML, (2004)

Para a quantificação do fator de hora de ponta, foi tido em consideração um relatório também da CML, (Dias & Ferreira, 2012) , mas desta vez, apenas para a zona das Avenidas Novas, onde se insere a zona modelada nesta dissertação. Para além deste relatório foram tidos em conta os dados relativos ao mês de Março do ano de 2012 de alguns contadores de tráfego da cidade. A

Capítulo V. – Calibração e Validação

comparação dos dados destes contadores de tráfego será alvo de análise mais detalhada no ponto 5.3.6 desta dissertação. Depois de uma quantificação do tráfego de cada contador, não só para o período de ponta da manhã e para o período de ponta da tarde, mas também do tráfego total diário, obteve-se uma percentagem de 7.3% e volume de tráfego médio diário (TMD) para o período de ponta da manhã e de 7.1% do TMD para o período de ponta da tarde.

Numa primeira abordagem, e seguindo a estrutura do ficheiro de configuração, foram calibradas as constantes relativas a *storageCapacityFactor* e *flowCapacityFactor*.

Embora, teoricamente, estas constantes deveriam possuir iguais valores, a segunda constante apresentada (*storageCapacityFactor*) deve possuir, na prática, um valor um pouco mais elevado sendo esta situação analisada no *site* do *MATSim* (Waraich, 2010). No entanto, neste caso, constatou-se que, os valores obtidos não divergem, ou seja, não existe uma diferença significativa no aumento do valor desta segunda constante.

Assim, depois de uma exaustiva comparação entre os valores estipulados para estas constantes e as respetivas curvas de tráfego, velocidades e fatores de hora de ponta obtidos, foi admitido que os valores a utilizar no modelo final serão de 1.0, devido à não existência de nenhuma sintetização da população.

Outra modificação que foi efetuada foi a da alteração do algoritmo da escolha do caminho mínimo por parte dos agentes, de forma a minimizar o tempo despendido por simulação. O algoritmo escolhido foi o *AStarLandmarks* devido ao fato de ser cerca de seis vezes mais rápido que o algoritmo predefinido, o algoritmo de *Dijkstra*.

A definição da duração de todas as atividades assenta num valor médio definido inicialmente ao qual é acrescentado uma componente aleatória. Apresenta-se de seguida os procedimentos desenvolvidos para a definição e quantificação da duração estocástica das várias atividades consideradas.

Para a definição da curva da duração das atividades, não foi efetuada nenhuma calibração específica, visto que ao valor base deste é somado ainda uma componente aleatória (seguindo uma distribuição de *Gauss*) após este ter sido definido inicialmente no ficheiro *travelsurvey_trips*.

A distribuição de *Gauss*, também conhecida como distribuição normal, é usada muito comumente para descrever uma série de fenómenos físicos e financeiros. Esta distribuição é

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

descrita pelos seus parâmetros de média e desvio padrão. Assim, quando se conhecem estes parâmetros, é possível determinar qualquer probabilidade utilizando a distribuição normal (Aleixo, 2008). A função de densidade de probabilidade da distribuição normal é definida da seguinte forma:

$$f(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)}, \quad \infty < x < \infty, \sigma > 0.$$

Neste caso, e por predefinição, é utilizada uma distribuição normal padronizada, ou seja, com média de valor 0 e variância de 1. Na Figura 41 apresenta-se a representação gráfica da função densidade de probabilidade da distribuição normal

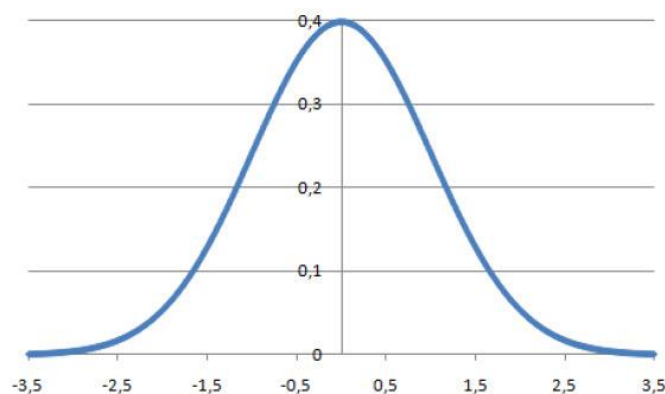


Figura 41 – Representação gráfica da função densidade de probabilidade da distribuição normal padronizada

Fonte: Aleixo, (2008)

A segunda curva, relativa às partidas resultantes do fim da atividade de emprego e chegadas à habitação de cada agente, apresenta-se numa forma mais achatada, visto que é obtida através da soma de duas durações de atividades, sendo estas a duração de permanência na habitação e no local de emprego.

É possível a observação da grande proximidade das curvas relativas às partidas e às chegadas dos agentes. Isto deve-se sobretudo ao facto de uma parte significativa (cerca de um quarto) das deslocações serem efetuadas num curto espaço de tempo, sobretudo aquelas efetuadas entre as subsecções das freguesias de estudo.

Capítulo V. – Calibração e Validação

Para a duração das atividades das viagens originadas fora da zona de estudo foi efetuado um teste, de reduzindo esta em cerca de 30 minutos, o que não reproduziu alterações significativas nos resultados obtidos.

Quanto aos módulos e às estratégias a adotar em cada simulação foram utilizados os *ChangeExpBeta*, *ReRoute* e *TimeAllocationMutator* com probabilidades de, respetivamente, 0,9, 0,1 e 0,1. Foi também estipulado que o tipo de simulação de mobilidade a utilizar será o *JDEQSim*, devido não só, como referido no ponto 3.2.4.3, a ser o tipo de simulação mais utilizado no *MATSim*, mas também como aquele que apresenta melhores características de representação da realidade.

O número de iterações foi também um fator que mereceu alvo de acerto. Por definição, este valor é de 10. Analisando o gráfico resultante do cálculo da pontuação de cada plano em cada iteração, verifica-se que os valores dos resultados atingidos continuam em crescimento, ou seja, ainda não foi atingido um estado de equilíbrio. Por esse motivo, foi também considerado o número de 50 iterações, comprovando-se ser ainda insuficiente. Foi então estabelecido um valor de 400 iterações, verificando-se na Figura 44 que, mesmo apresentando um comportamento ligeiramente crescente, os resultados tendem a seguir um equilíbrio, tanto na pontuação dos planos, como na duração média das viagens e na velocidade média praticada.

Após um contato com o Dr. *Kay Nagel*, especialista em *MATSim*, no qual este sugeriu algumas modificações possíveis de serem efetuadas, foram consideradas as seguintes alterações a efetuar:

- Não remoção de veículos em congestionamento (ajuste do parâmetro *removeStuckVehicles* para o valor de *false*);
- Mudança do parâmetro *stuckTime* (este parâmetro identifica o número de segundos que um veículos não deve ser capaz de se movimentar até ser considerado *stuck*, ou seja, imobilizado no congestionamento) para o valor de 10 segundos;
- Alteração do valor do intervalo de mudança de duração das atividades, do tipo de módulo *TimeAllocationMutator* para 7.200;
- Aumento da extensão da rede.

Como já referido no ponto 4.4.4, no modelo inicial não calibrado existia um grande número de agentes em conflito, nas zonas próximas dos centróides dos NUTII, devido à quantidade excessiva de procura de agentes e escassa oferta de capacidade da rede. Para colmatar este problema, e como apresentado no exemplo para a geração de uma maior rede para a zona de Zurique (*MATSim*, 2012b), foi construída uma rede em que, para a zona de análise, foram

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

exportadas todos os arcos e nós existentes como se mostra na Figura 43 e para a envolvente desta apenas os arcos e nós com maior capacidade (neste caso, todos os que têm classificação atribuída no *OSM* como *motorway*, *motorway_link*, *trunk*, *trunk_link*, *primary* e *primary_link*). Esta nova rede é constituída por 29911 arcos e 15479 nós e tem o aspeto apresentado na Figura 42. Devido a este facto, foram também afastados da zona de análise os centróides representativos da habitação dos agentes nas quatro zonas do município de Lisboa, nas quatro zonas do NUTII Lisboa e nas restantes NUTII e dos centróides relativos à localização do emprego fora das 5 freguesias de análise. Estes centróides são também apresentados na Figura 42.

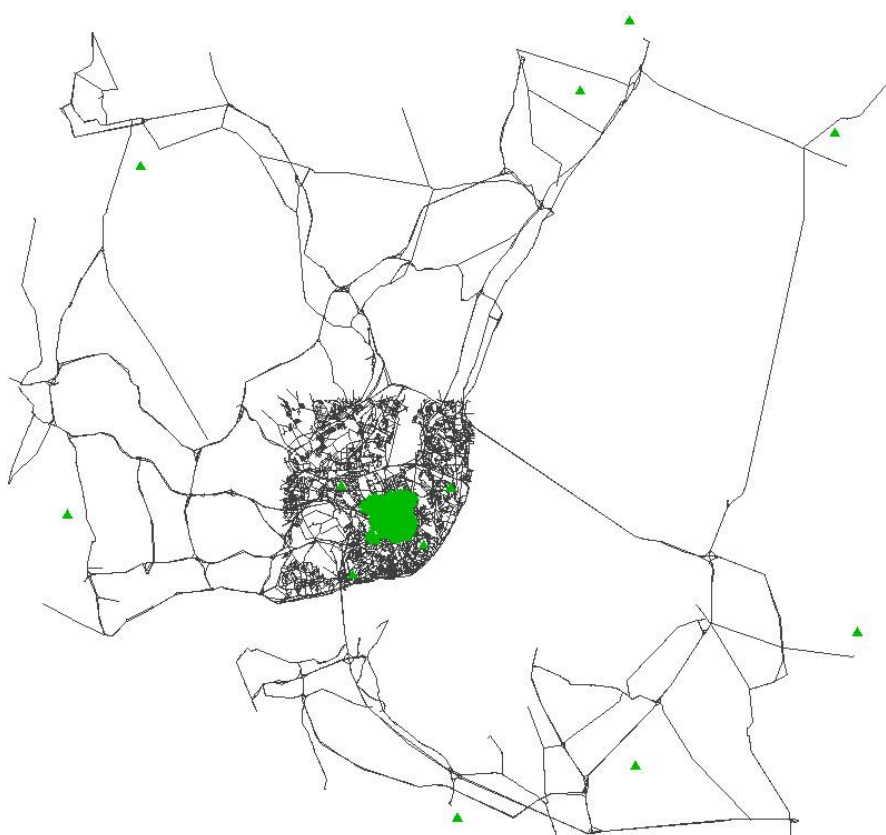


Figura 42 – Aspeto final da rede a utilizar no modelo calibrado e de todos os centróides utilizados no modelo.



Figura 43 – Aspeto da rede composta por todos os arcos e nós na zona de análise.

5.3. Validação dos resultados

Apresentam-se de seguida todos os resultados obtidos depois da calibração do modelo para a zona da cidade modelada.

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

5.3.1. Gráfico *Score Statistics*

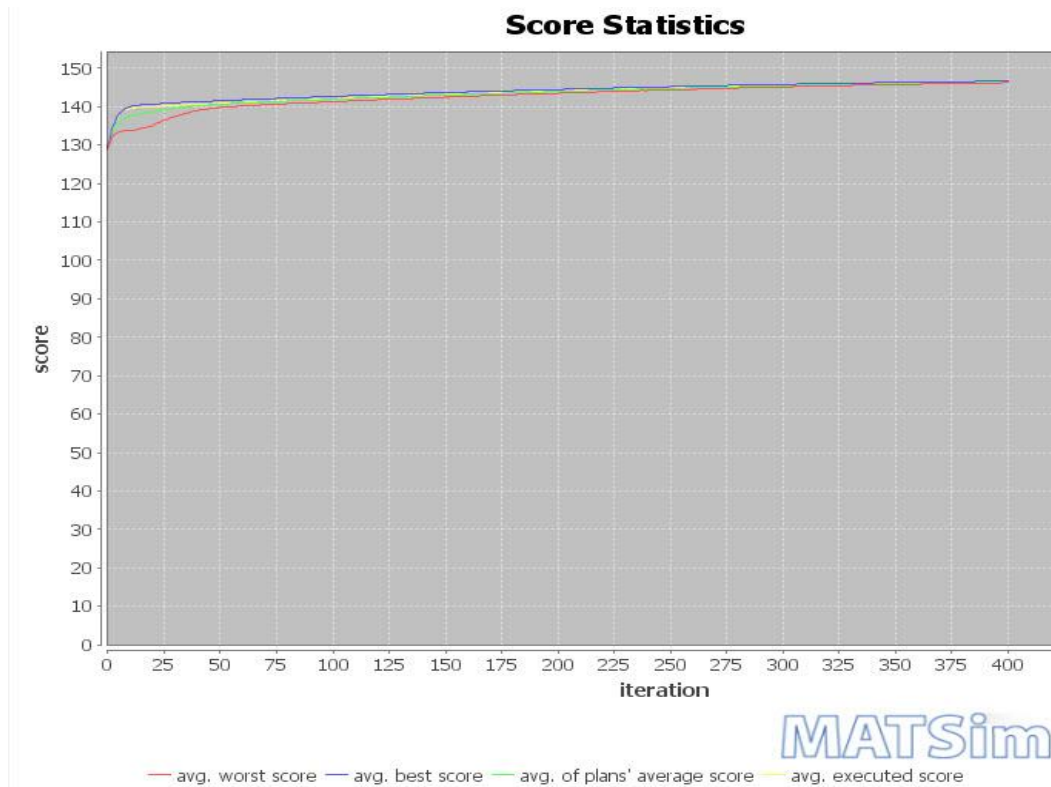


Figura 44 – Gráfico *Score Statistics* referente às 400 iterações efetuadas

5.3.2. Velocidades médias

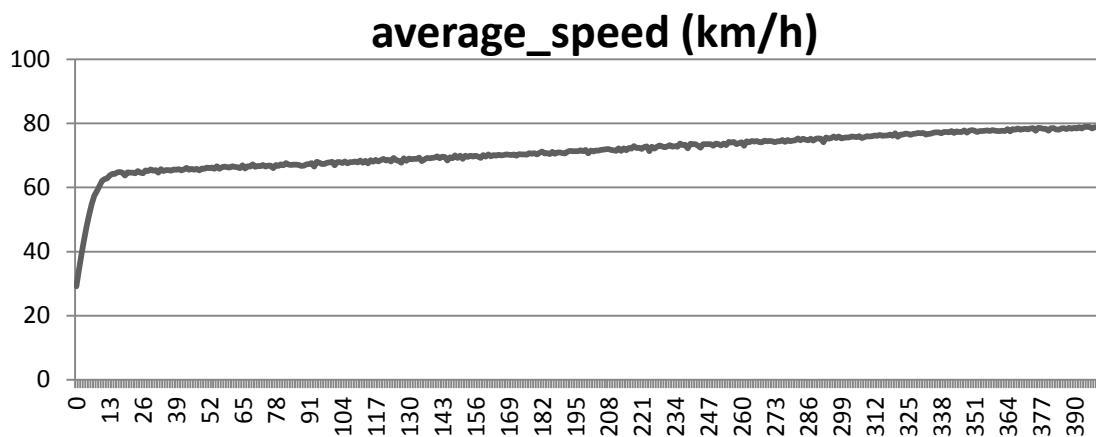


Figura 45 – Velocidades médias obtidas com o modelo calibrado

5.3.3. Duração de viagens

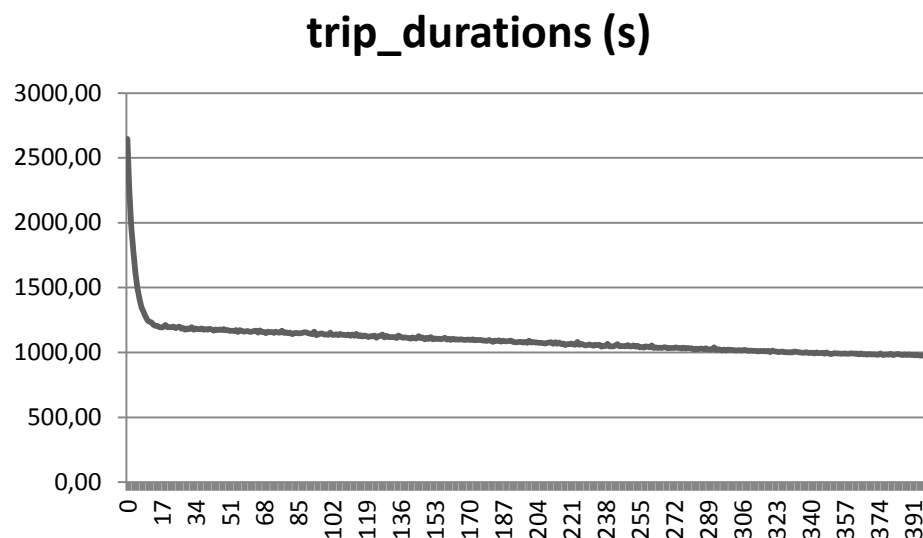


Figura 46 – Duração das viagens realizadas no modelo calibrado

5.3.4. Leg histogram

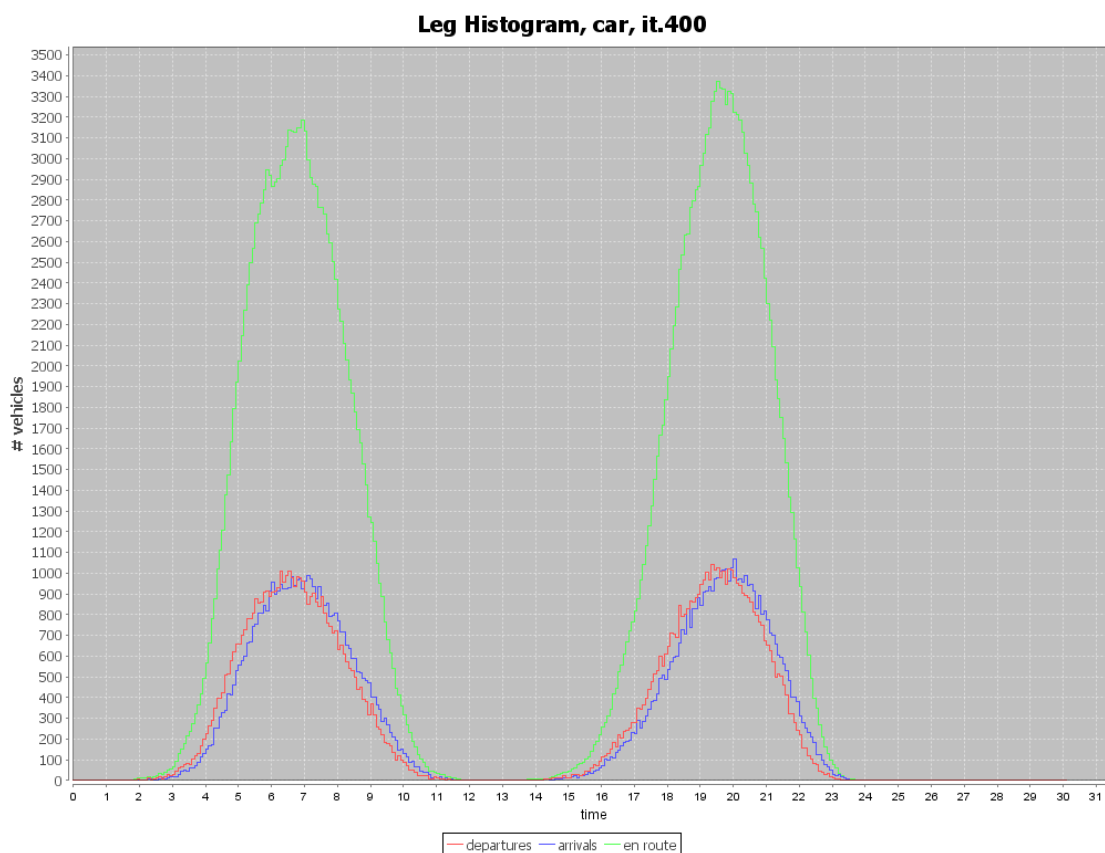


Figura 47 – Gráfico *Leg Histogram*, referente à iteração nº 400, do modelo calibrado

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

5.3.5. Visualização dos resultados



Figura 48 – Visualização dos agentes presentes no modelo calibrado na hora de ponta da manhã



Figura 49 – Visualização dos agentes presentes no modelo calibrado na hora de ponta da tarde

Capítulo V. – Calibração e Validação

5.3.6. Comparação com contagens reais

Por fim, foi feita, por fim, uma comparação dos valores obtidos no modelo com resultados reais, provenientes das contagens de tráfego da CML. Para tal, e com o objetivo de comparar o modelo com um dia típico de semana, foram escolhidos os dados do dia 21 de Março de 2012 (uma quarta-feira, para minorar eventuais efeitos do fim de semana e devido ao facto de apenas ser possível a obtenção de dados relativos a alguns contadores de tráfego para o mês de março de 2012). Os dados relativos a este dia são aqueles que apresentam uma das menores variações do valor do TMD (0.13%) em relação ao TMD mensal, como se pode observar na Figura 50.

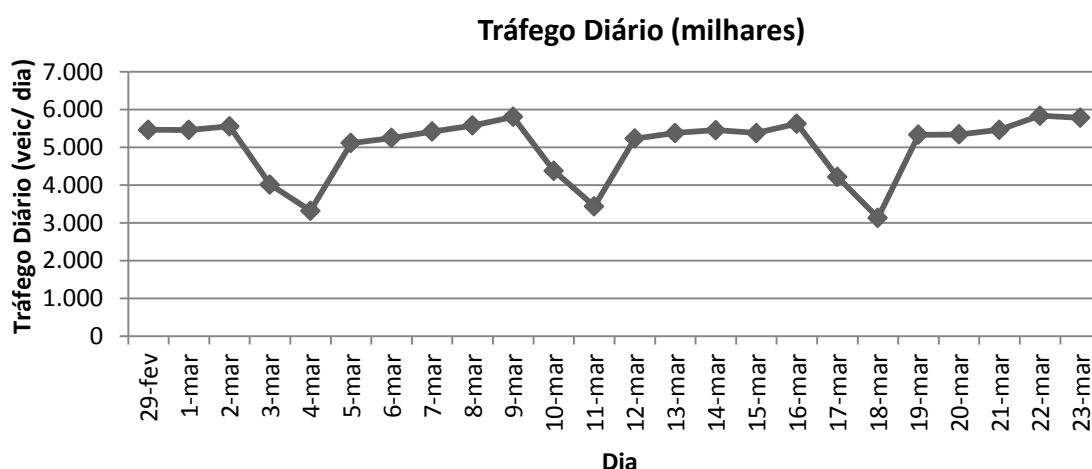


Figura 50 – Tráfego Médio Diário no mês de Março de 2012 nos contadores da CML

Fonte: Dias & Ferreira, (2012)

Os postos de contagem escolhidos para a comparação de resultados estão localizados nos seguintes pontos, como se apresenta na Figura 51:

- Avenida de Berna para Avenida da República, depois da Rua Marquês Sá da Bandeira;
- Avenida Fontes Pereira de Melo para Saldanha, depois da Rua Latino Coelho;
- Faixa central da Avenida da República (N/S) para Campo Pequeno (saída túnel) junto linha férrea;
- Avenida da República para Campo Pequeno, depois da Avenida Miguel Bombarda.

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

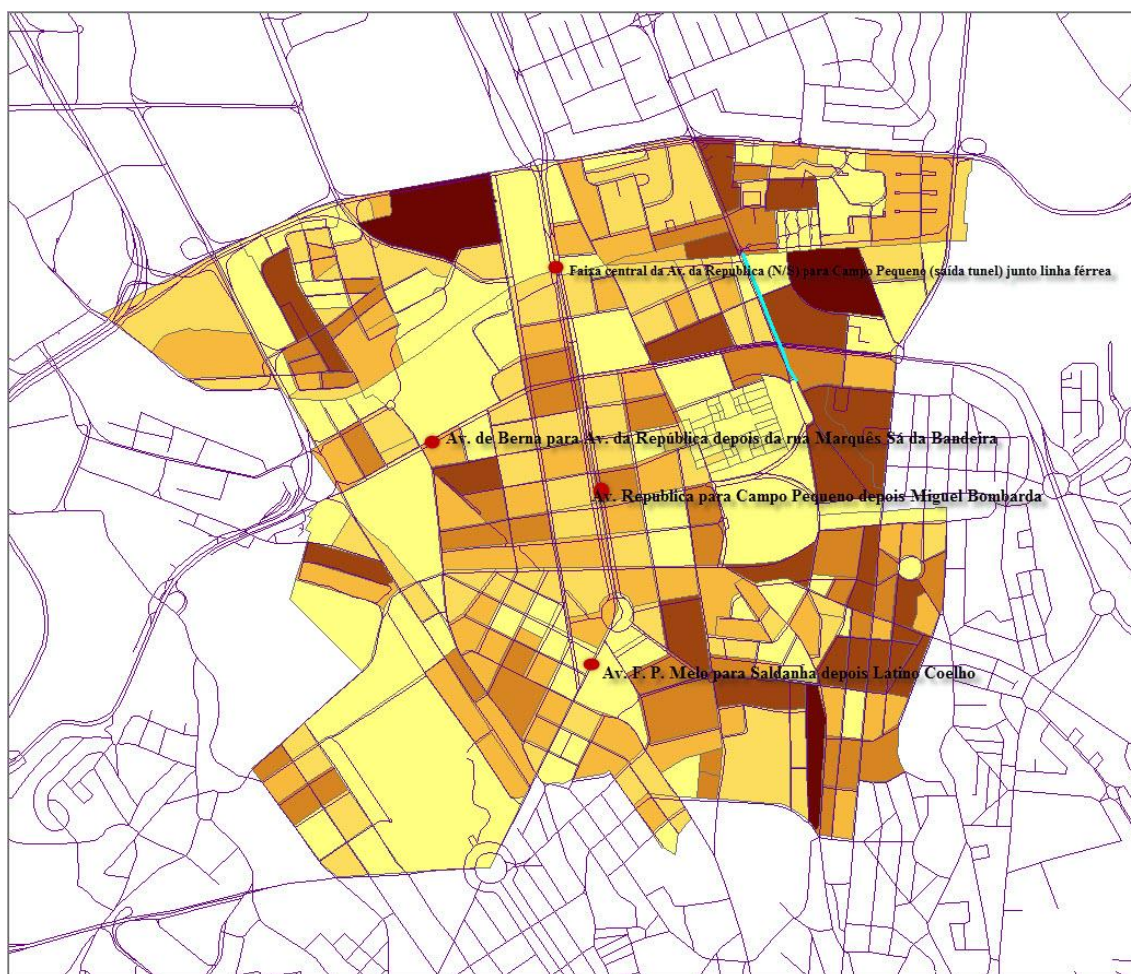


Figura 51 – Localização dos postos de contagem consideradas

Apresentam-se, nas Figuras 50, 51, 52 e 53, os resultados obtidos para a comparação dos dados dos postos de contagem com os resultados obtidos através do modelo. Os dados obtidos dos postos de contagem foram disponibilizados em intervalos de 15 minutos, enquanto que no modelo apenas são disponibilizados em períodos horários, referentes a um determinado arco. Estes dados dos postos de contagem de tráfego foram agrupados em períodos horários, de modo a se poder proceder à comparação. São também apresentados dados do modelo referentes ao tráfego horário médio e máximo registado nos arcos com contagem, durante todas as iterações efetuadas.

Apesar de se dispor destes dados, verifica-se a impossibilidade da calibração do modelo com base nas contagens de tráfego, visto que estas contabilizam todo o tráfego diário que utiliza os arcos monitorizados, como por exemplo o tráfego de atravessamento, viagens efetuadas durante o período laboral, transportes públicos, etc., o que, como já referido, não foi alvo de análise no modelo construído. Apesar destes aspetos, é possível a comparação qualitativa dos dados

Capítulo V. – Calibração e Validação

provenientes das duas fontes quanto à duração do período de hora de ponta da manhã e da tarde, o qual se verificou estar entre as 8 e as 9 horas. No modelo construído, como já referido, a hora de ponta da manhã foi definida como centrada em torno das 8 horas, com uma variância de 60 minutos e a hora de ponta da tarde em torno das 18 horas, também com a mesma variância.

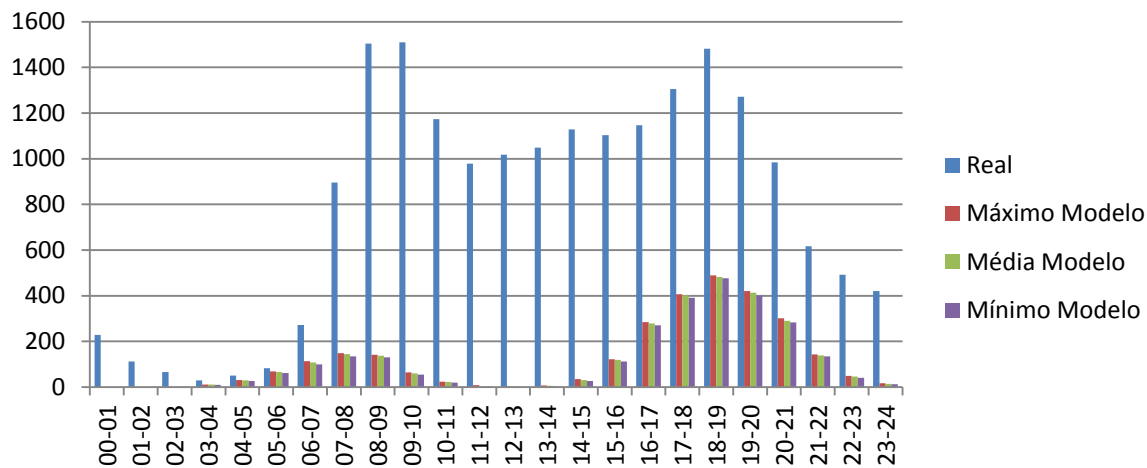


Figura 52 – Comparação de contagens para a Avenida de Berna para Avenida da República depois da rua Marquês Sá da Bandeira

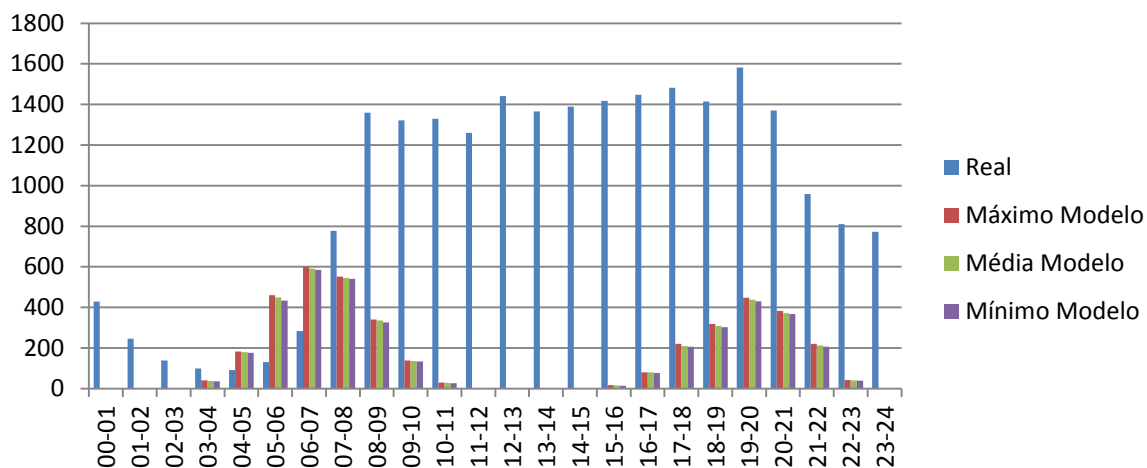


Figura 53 – Comparação de contagens para a Avenida Fontes Pereira de Melo para Saldanha depois Latino Coelho

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

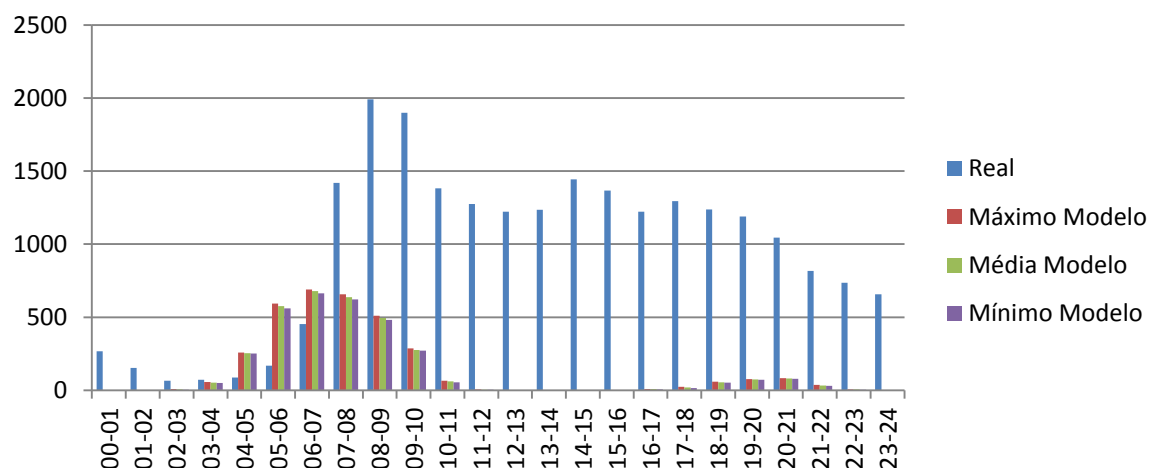


Figura 54 – Comparação de contagens para a Faixa central da Avenida da Republica (N/S) para Campo Pequeno (saída túnel) junto linha férrea

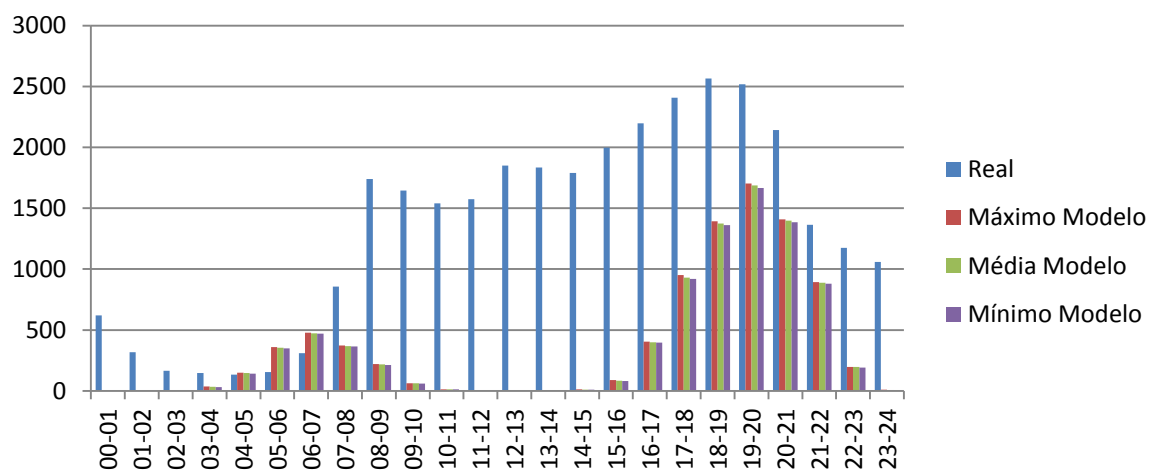


Figura 55 – Comparação de contagens para a Avenida da Republica para Campo Pequeno depois Miguel Bombarda

Como se pode observar pela análise dos vários gráficos, os valores das contagens de tráfego simuladas pelo modelo, na grande maioria das situações não estão em contradição com as contagens reais, existindo no entanto algumas contagens na hora de ponta da manhã superiores aos valores reais verificados. A disparidade dos valores registados entre as horas de ponta deve-se sobretudo à não inclusão de outras deslocações a não ser as viagens casa-trabalho e trabalho-casa.

A inclusão ou sintetização de uma componente populacional mais ampla, nomeadamente através do alargamento da área de estudo, deverá levar estes valores a aproximarem-se.

Capítulo V. – Calibração e Validação

5.4. Súmula do capítulo

Neste capítulo foi efetuada a calibração e validação do modelo descrito i no Capítulo IV. - . Para tal foram ajustados os parâmetros necessários no ficheiro de configuração do *MATSim*, tendo em conta o aspeto a obter na curva de tráfego, uma velocidade de circulação equiparável à praticada na realidade, um fator de hora de ponta semelhante ao verificado pelos dados das contagens de tráfego reais e outros detalhes de parametrização.

O principal fator para a melhoria dos resultados obtidos inicialmente foi a expansão da rede constituinte do modelo à AML, tendo-se verificado uma melhoria substancial dos resultados referentes a congestionamentos, principalmente nos arcos adutores à zona em estudo (principalmente os que suportam o acesso a centróides fora da zona de análise).

Depois de efetuadas todas as verificações e ajustes nos parâmetros, foram apresentados os resultados finais obtidos com o modelo calibrado, nomeadamente para valores de duração de viagens, velocidades médias, distâncias médias e as curvas de tráfego representativas das viagens iniciadas, terminadas e veículos em circulação.

Por fim, foram comparados os dados de tráfego obtidos no modelo com os dados retirados dos postos de contagem de tráfego existentes na zona em estudo, nomeadamente para a Avenida de Berna para Avenida da República depois da rua Marquês Sá da Bandeira, para a Avenida Fontes Pereira de Melo para Saldanha depois Latino Coelho, para a Faixa central da Avenida da Republica (N/S) para Campo Pequeno (saída túnel) junto linha férrea e para a Avenida da República para Campo Pequeno depois Miguel Bombarda.

Capítulo VI. - Conclusões e perspectivas futuras

6.1. Principais conclusões

A principal conclusão a retirar desta dissertação corresponde à avaliação bastante positiva da possibilidade do desenvolvimento, em tempo útil, da modelação *bottom-up*, por agentes, em zonas com as características da Área Metropolitana de Lisboa (AML), e com os dados disponibilizados atualmente pelas instituições e entidades nacionais. Para tal executou-se com sucesso um modelo em *MATSim* para a análise de fluxos de tráfego e de congestionamentos numa zona alargada da cidade de Lisboa. As dificuldades encontradas foram ultrapassadas, nomeadamente ao nível da calibração do modelo e verificou-se que o leque de vantagens e potencialidades da utilização desta ferramenta é grande.

Apesar do modelo construído apenas representar 5 freguesias da cidade (tratando-se de um trabalho ao nível académico), conclui-se pela possibilidade da sua implementação às restantes freguesias da cidade de Lisboa e mesmo da AML, tendo no entanto como principal dificuldade a obtenção de grandes quantidades de dados desagregados, a sua estruturação e organização e a obtenção de dados fidedignos sobre a procura, nomeadamente sobre a estrutura de atividades da população residente. No entanto, este poderá vir a ser um trabalho a efetuar de forma faseada.

Mediante os resultados obtidos, e mesmo tendo conta a principal dificuldade da recolha de dados, conclui-se que este tipo de modelos poderão vir a ser uma mais-valia quer na análise e previsão tanto do congestionamento e dos fluxos de tráfego, quer como ferramenta para modelação e previsão do efeito das emissões de gases poluentes para a atmosfera ou para análise da eficiência energética do sistema de transportes.

Uma mais-valia para a conclusão com sucesso deste modelo foi a construção de rotinas de cálculo em *MatLab* de modo a estruturar e organizar os dados de entrada do *MATSim*, o que se revelou ser extremamente complicado sem estas rotinas.

Finalmente constata-se que, como já foi referido, no processo de calibração foi efetuado o aumento da rede do modelo. Com esta modificação, é de salientar o aumento substancial do tempo do processo iterativo, visto que, inicialmente, o tempo para efetuar 200 iterações era cerca de 3 horas e com o aumento da rede, este valor passou para cerca de 6 horas, para um valor de 100 iterações. É de esperar que em modelos que abranjam toda a cidade de Lisboa e/ou a AML esta questão prática possa vir a constituir um fator crítico no desenvolvimento de modelos mais abrangentes.

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

6.2. Fatores críticos de sucesso

Considerou-se como principal fator (positivo) crítico de sucesso o facto de a ferramenta utilizada, o *MATSim*, ser disponibilizada de forma gratuita, ser desenvolvida segundo uma filosofia *open-source* e ser atualmente partilhada (e continuada) pela comunidade científica. Foi também uma grande vantagem o fornecimento, no *site* da ferramenta, de um tutorial para a utilização desta e de linhas orientadoras para a criação de novos cenários.

O acesso à BGRI representou também um dos principais fatores de sucesso na construção do modelo, visto que é dotada de um maior nível de detalhe (subsecção estatística) do que os dados disponibilizados nas estatísticas gerais dos censos (desagregados à freguesia) do INE.

A possibilidade de obter toda a rede utilizada no *MATSim* através do *OpenStreetMap* foi também uma mais-valia para o sucesso na construção do modelo. Devido a esse facto, o tempo consumido na preparação e estruturação da rede foi reduzido, permitindo um maior enfoque nos processos associados à calibração.

Por fim, e durante o processo de calibração do modelo, a obtenção de dados dos contadores de tráfego das curvas de tráfego para a cidade de Lisboa representou também um fator crítico de sucesso, visto que, embora não seja possível a comparação linear dos resultados (já que os dados de tráfego da CML correspondem ao tráfego total nas vias), estas curvas foram fundamentais no processo de calibração do modelo.

6.3. Verificação dos objetivos alcançados

De um modo geral, considera-se que todos os objetivos inicialmente propostos foram alcançados, principalmente com a verificação da possibilidade da construção de um modelo para a cidade de Lisboa, bem como da calibração e validação dos dados obtidos.

O modelo consegue não só, simular todas as viagens casa-trabalho-casa com origem ou destino nas freguesias de estudo, bem como fazer a previsão de alteração de comportamentos dos agentes intervenientes, face a mudanças na rede, como por exemplo, o encerramento de um arco ou nó ou aumento ou diminuição do tamanho da rede; ou características intrínsecas destes, como por exemplo, mudança na duração inicial das atividades, mudança do local de trabalho ou comportamento face a congestionamento.

A viabilidade dos resultados obtidos no modelo comprova-se através da extensa e exaustiva calibração do mesmo, bem como da comparação com dados reais de contagens de tráfego. Os

Capítulo VI. – Conclusões e perspectivas futuras

resultados obtidos no modelo poderiam ainda ser mais precisos se existissem dados referentes à tipologia de viagens tratadas neste modelo de modo a proceder a uma calibração e representação mais realista da mobilidade.

6.4. Avaliação do potencial de implementação e perspectivas futuras

No seguimento dos resultados obtidos, é necessário realçar que, embora tenha sido validada a possibilidade da criação (em *MATSim*) de um modelo para a análise de viagens baseado em atividades, que simula os efeitos do congestionamento ao nível de uma zona alargada da cidade de Lisboa, é possível (e desejável) estender o modelo à cidade toda e às restantes zonas da AML, tendo apenas como principal dificuldade, como já foi referido, a estruturação e organização da enorme quantidade de dados que seriam necessários.

Mediante a utilização do *MATSim* em projetos e estudos futuros para a zona da cidade de Lisboa, os processos de criação, calibração e validação do modelo desenvolvido na dissertação poderá servir como orientação para a criação de novos modelos ou cenários. Poderão também ser utilizadas as extensões descritas para uma análise e modelação mais detalhada, tendo como objetivo a obtenção de dados mais realistas acerca de aspetos específicos, como a poluição atmosférica ou a eficiência energética. A calibração desses mesmos modelos deverá ser alvo de grande atenção, devido à complexidade de todos os parâmetros intervenientes na simulação.

Por fim, conclui-se que a utilização deste tipo de modelos e ferramentas ao invés dos modelos clássicos de transportes, pode contribuir para uma modelação e previsão de tráfego mais realista. Esta melhoria dependerá de variáveis como a escolha dos diferentes tipos de veículos, da consideração da interação temporal e espacial, da visualização da operacionalidade e das decisões tomadas pelos utilizadores da rede face a uma alteração nesta e da consideração de vários tipos de comportamentos atribuídos a cada utilizador do sistema de transportes.

Referências Bibliográficas

- Abu-taieh, E. M. O., Abdel, A., & El, R. (n.d.). COMMERCIAL SIMULATION PACKAGES : A COMPARATIVE STUDY.
- Aitken, S., & Braidwood, R. (2003). Quadstone Paramics V4.2 Modeller User Guide, (3).
- Akçelik, R., & Besley, M. (2007). Microsimulation and Analytical Models for Traffic Engineering. Presentation at the ARRB - AUSTRROADS Microsimulation Forum Presenter.
- Aleixo, S. (2008). Probabilidades e Estatística - Distribuição Normal. Lisboa: Apontamentos da cadeira de Probabilidade e Estatística.
- Algers, S., Bernauer, E., Boero, M., Breheret, L., Taranto, C. Di, Dougherty, M., ... Gabard, J. (1997). SMARTTEST - Review of Micro-Simulation Models. SMARTTEST Project Deliverable D3.
- Appiah, J., Ph, D., Naik, B., Rilett, L. R., & Kim, S. (2011). *DEVELOPMENT OF A STATE OF THE ART TRAFFIC MICROSIMULATION MODEL FOR NEBRASKA*. (N. T. Center, Ed.) (Vol. 1). Nebraska.
- Axhausen, K. W. (2013). Agent-based modelling of travel behaviour and flow : The MATSim implementation in Singapore and elsewhere. *presentation at a seminar of Hong Kong Society for Transportation Studies and The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong*, (March).
- Balmer, M. (2013). Modeling Carsharing with MATSim. *MATSim User Meeting*.
- Balmer, M., Nagel, K., & Axhausen, K. W. (2005). An Agent Based Demand Modeling Framework for Large Scale Micro-Simulations. *Transportation Research Record*, 4, 1–17.
- Balmer, M., & Rieser, M. (2008). MATSim: Past , Present , Future, 1–12.
- Balmer, M., Rieser, M., Konrad, M., Charypar, D., Lefebvre, N., & Nagel, K. (2008). MATSim-T : Architecture and Simulation Times. *Multi-Agent Systems for Traffic and Transportation Engineerin*, (Information Science Reference), 57–78.
- Barrios, E., Ridgway, M., & Choa, F. (2001). THE BEST SIMULATION TOOL FOR BUS OPERATIONS. *Presented at Institute of Transport Engineers District 6 Annual Meeting*, 1678.
- Bekhor, S., Dobler, C., & Axhausen, K. W. (2010). Integration of Activity-Based with Agent-Based Models : an Example from the Tel Aviv Model and MATSim. *Transportation Research Board*.

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

- Bekhor, S., Dobler, C., & Axhausen, K. W. (2011). Integration of Activity-Based with Agent-Based Models : an Example from the Tel Aviv Model and MATSim. Washington, D.C.: Transportation Research Board.
- Bhat, C. R., Guo, J. Y., Srinivasan, S., & Sivakumar, A. (2003). Guidebook on Activity-Based Travel Demand Modeling for Planners. The University of Texas at Austin, Center for Transportation Research.
- Bischoff, J. (2007). Evacuation Queue Simulation Tutorial.
- Bloomberg, L., & Dale, J. (2000). A Comparison of the VISSIM and CORSIM Traffic Simulation Models. *Institute of Transportation Engineers Annual Meeting*.
- Bloomberg, L., Hill, C. H. M., & Swenson, M. (2003). Comparison of Simulation Models and the HCM. *Transportation Research Board, 82nd Annual Meeting, Washington, DC*.
- Bouman, P., Lovric, M., Li, T., Hurk, E. Van Der, Kroon, L., & Vervest, P. (2012). Recognizing Demand Patterns from Smart Card Data for Agent-Based Microsimulation of Public Transport. *Rotterdam School of Management, Erasmus University*.
- Boxill, S. A., & Yu, L. (2000). An Evaluation of Traffic Simulation Models for Supporting ITS Development. Texas: Center for Transportation Training and Research, Texas Southern University.
- Castle, C. J. E., & Crooks, A. T. (2006). Principles and Concepts of Agent-Based Modelling for Developing Geospatial Simulations. London: University College London, Centre for Advanced Spatial Analysis.
- Chiu, Y.-C., Bottom, J., Mahut, M., Paz, A., Balakrishna, R., Waller, T., & Hicks, J. (2011). Dynamic Traffic Assignment, A Primer. Transportation Research Board.
- Choa, F., Milam, R. T., & Stanek, D. (2002). CORSIM, PARAMICS, and VISSIM: What the Manuals Never Told You. *ITE Conference*.
- Ciari, F., Schuessler, N., & Axhausen, K. W. (2010). Estimation of Car-Sharing Demand Using an Activity-Based Microsimulation Approach: Model Discussion and Preliminary Results. *Transportation Research Board*, 1–21.
- CML, C. M. de L. (2004). *Lisboa : o desafio da mobilidade*. (C. M. de Lisboa, Ed.) (Licenciame., p. 294). Lisboa: Colecção de Estudos Urbanos – Lisboa XXI.
- CML, C. M. de L. (2013). CAMARA MUNICIPAL DE LISBOA. Retrieved February 09, 2013, from <http://www.cm-lisboa.pt/>
- Community, O. (2004). OpenStreetMap. Retrieved February 09, 2013, from <http://www.openstreetmap.org/>

Referências Bibliográficas

- Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., & Stein, C. (2009). *INTRODUCTION TO ALGORITHMS. The journal of primary prevention* (Vol. 8, p. 1313). Cambridge, Massachusetts, London, England: The MIT Press. doi:10.1007/BF01695015
- Department of Transportation, M. (2004). *Advanced CORSIM Training Manual*. Minnesota: Minnesota Department of Transportation.
- Dias, E. P., & Ferreira, E. C. (2012). *Modelação do tráfego na área central de Lisboa - Relatório da zona central*. Lisboa: Câmara Municipal de Lisboa.
- Digital, A. (2011). *Lisboa reduz para 24 freguesias*.
- Eppstein, D., Goodrich, M. T., & Sun, J. Z. (2005). *The Skip Quadtree : A Simple Dynamic Data Structure For Multidimensional Data*. *Donald Bren School of Information and Computer Sciences, Univ. of California, Irvine*.
- EUNOIA. (2013). *Urban models for transportation and spatial planning State-of-the-art and Future Challenges. Intraurban Accessibility Evolutive User-Centric Networks For Intraurban Accessibility*, (October).
- FCL, F. C. L. (2013). *Mobility and Transportation Planning*. Retrieved February 09, 2013, from <http://www.futurecities.ethz.ch/module/mobility-and-transportation-planning/>
- Fourie, P. J. (2010). *AGENT-BASED TRANSPORT SIMULATION VERSUS EQUILIBRIUM ASSIGNMENT FOR PRIVATE VEHICLE TRAFFIC IN GAUTENG. Planning Support Systems, CSIR Built Environment*,.
- Gao, W., Balmer, M., & Miller, E. J. (2010). *Comparisons between MATSim and EMME / 2 on the Greater Toronto and Hamilton Area Network. Transportation Research Board*.
- Geirinhas, J. (2001). *Conceitos e Metodologias BGRI - Base Geográfica de Referenciação de Informação informação. Direcção Regional de Lisboa e Vale do Tejo/INE*.
- Gerike, R., Nagel, K., & Luz, R. (2011). *Towards a multi-agent based modeling approach for air pollutants in urban regions. Proceedings of the Conference on "Luftqualität an Straßen"*, 1–16.
- Gibson, D. H. (2012). *State-of-the-art of micro-simulation models, Published Project Report PPR 631. Transport Research Laboratory*.
- Goetz, M., & Zipf, A. (2012). *Using Crowdsourced Geodata for Agent-Based Indoor Evacuation Simulations. ISPRS International Journal of Geo-Information, 1(3)*, 186–208. doi:10.3390/ijgi1020186

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

- Grether, D., Fürbas, S., & Nagel, K. (2013). Agent-based Modelling and Simulation of Air Transport Technology and Passenger Demand. *Transport Systems Planning and Transport Telematics*.
- Hattori, H., Nakajima, Y., & Yamane, S. (2010). Massive Multiagent-Based Urban Traffic Simulation with Fine-Grained Behavior Models. *Graduate School of Informatics, Kyoto University*, 1–2.
- Hatzopoulou, M., Hao, J. Y., & Miller, E. J. (2011). Simulating the impacts of household travel on greenhouse gas emissions, urban air quality, and population exposure. *Transportation*, 38(6), 871–887. doi:10.1007/s11116-011-9362-9
- Hurtubia, R. (2010). SustainCity : Development of an integrated UrbanSim-MATsim model of Brussels The SustainCity project. *Integrated Modeling and Simulation Workshop (iTEAM), Instituto Superior Técnico - IST, Lisbon, Portugal*.
- Illenbergerl, J., Flotterod, G., & Nagel, K. (2007). Enhancing MATSim with capabilities of within-day re-planning. *Intelligent Transportation Systems Conference, Seattle, WA*, 94–99.
- Industries, I. (2006). CORSIM User's Guide version 6.0. FHWA Office of Operations Research, Development and Technology.
- Instituto Nacional de Estatística, I. (2012a). CENSOS 2011 - Resultados Definitivos. Retrieved February 09, 2013, from http://www.ine.pt/scripts/flex_definitivos/Main.html
- Instituto Nacional de Estatística, I. (2012b). Quadros população - Censos 2011. *Instituto Nacional de Estatística*. Retrieved February 09, 2013, from http://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=censos_quadros_populacao
- Instituto Nacional de Estatística, I. (2013). Meio de transporte mais utilizado nos movimentos pendulares (N.º) por Local de residência (à data dos Censos 2011) e Principal meio de transporte. *Recenseamento da População e Habitação*. Retrieved February 10, 2013, from http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0007093&contexto=bd&selTab=tab2
- Jeannotte, K., Chandra, A., Alexiadis, V., & Skabardonis, A. (2004). Traffic Analysis Toolbox Volume II : Decision Support Methodology for Selecting Traffic Analysis Tools. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.
- Jeihani, M. (2007). A Review of Dynamic Traffic Assignment Computer Packages. *Journal of the Transportation Research Forum*, 46(2), 35–46.
- Joubert, J. W., Fourie, P. J., & Axhausen, K. W. (2009). A large scale combined private car and commercial vehicle agent-based traffic simulation. *Transportation Research Record*, (2168), 24–32.

Referências Bibliográficas

- Kosman, K. P., Hallmark, S. L., & Poska, S. (2003). Evaluation of Simulation Models for Project-Level Emissions Modeling. *Transportation Research Board, Annual Meeting*.
- Lind, G., Schmidt, K., Andersson, H., Algers, S., Canepari, G., Taranto, C. Di, ... Gabard, J. (1999). SMARTTEST - Best Practice Manual. SMARTTEST Project Deliverable D8.
- Ljubović, V. (2009). Traffic Simulation Using Agent-based Models. Sarajevo: Elektrotehnički fakultet Sarajevo.
- Lopes, R. P. da S. (2009). *Sistemas de localização e de medida de distância na Internet, Contribuição para a avaliação da sua integração com algoritmos P2P*. Universidade Nova de Lisboa Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- Macal, C. M., & North, M. J. (2010). Tutorial on agent-based modelling and simulation. *Journal of Simulation*, 4(3), 151–162. doi:10.1057/jos.2010.3
- Marchal, F., & Wisetjindawat, W. (2009). Application of Matsim in Lyon - Initial scenario. *MATSim User Meeting*, (April).
- MATSim. (2007a). AStarEuclidean. Retrieved February 09, 2013, from <http://matsim.org/xref/org/matsim/core/router/AStarEuclidean.html>
- MATSim. (2007b). AStarLandmarks. Retrieved February 09, 2013, from <http://matsim.org/xref/org/matsim/core/router/AStarLandmarks.html>
- MATSim. (2012a). MATSim - Multi-Agent Transport Simulation. Retrieved from <http://www.matsim.org/>
- MATSim. (2012b). Tutorial: Learning MATSim in 8 Lessons.
- McArdle, G., Furey, E., Lawlor, A., & Pozdnoukhov, A. (2012). City-scale Traffic Simulation From Digital Footprints. *Proceedings of the ACM SIGKDD International Workshop on Urban Computing*, 47–54.
- McNally, M. G. (1996). An Activity-Based Microsimulation Model for Travel Demand Forecasting. Irvine: Institute of Transportation Studies, University of California.
- Meister, K., Balmer, M., Ciari, F., Horni, A., Rieser, M., Waraich, R. A., & Axhausen, K. W. (2010). *Large-scale agent-based travel demand optimization applied to Switzerland, including mode choice* (Vol. 1). Lisbon: paper presented at the 12th World Conference on Transportation Research. Retrieved from <http://intranet.imet.gr/Portals/0/UsefulDocuments/documents/02975.pdf>
- Middleton, M. D., & Cooner, S. A. (1999). EVALUATION OF SIMULATION MODELS FOR CONGESTED DALLAS. *Texas Department of Transportation*, 7(2).

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

- Nicolai, T. W., Wang, L., Nagel, K., & Waddell, P. (2011). Coupling an urban simulation model with a travel model – A first sensitivity test. *SUSTAINCITY Working Paper, TU Berlin*, (6.5).
- Nwana, H. S. (1996). Software agents: an overview. *The Knowledge Engineering Review*, 11(03), 205. doi:10.1017/S026988890000789X
- Ortuzar, J. de D., & Willumsen, L. G. (2011). *MODELLING TRANSPORT* (4th ed.). United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd.
- Ou, D., Balmer, M., Liu, H., & Shi, L. (2009). Modeling and signaling intersections for large-scale transportation simulation network. *Proceedings of the 12th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, St. Louis, MO*, 609–614. doi:10.1109/ITSC.2009.5309860
- Paiva, C. (2003). Modelagem em Tráfego e Transporte. *Documento para Discussão*.
- Plessis, W. du, & Joubert, J. W. (2012). EVALUATING THE EFFECT OF ROAD PRICING STRATEGIES IN MATSIM, USING AGENT-SPECIFIC AND INCOME-DEPENDENT VALUES. *CIE42 Proceedings, 16-18 July 2012, Cape Town, South Africa*, (July), 16–18.
- Pretoria, D. of I. and S. E.-U. of. (2013). Multi-Agent Transport Simulation (MATSim) data.
- Prevedouros, P. D., & Wang, Y. (1998). Simulation of a Large Freeway and Arterial Network with CORSIM, INTEGRATION and WATSim. *Transportation Research Record*, (1678), 197–207.
- PTV, A. (2012). VISSIM 5.40-03 - User Manual. Germany: PTV Planung Transport Verkehr AG.
- Rakha, H. A., & Van Aerde, M. W. (1996). Comparison of Simulation Modules of TRANSYT and INTEGRATION Models. *Transportation Research Record*, 1566(1), 1–7. doi:10.3141/1566-01
- Raney, B., & Nagel, K. (2003). An Agent-Based Simulation Model of Swiss Travel : First Results. *Thrid Swiss Transport Research Conference*, 56.
- Raney, B., & Nagel, K. (2004). An improved framework for large-scale multi-agent simulations of travel behaviour. In *Conference paper STRC 2004*. Monte Verità / Ascona: 4th Swiss Transport Research Conference.
- Ratrou, N. T., Rahman, S. M., & Arabia, S. (2009). A COMPARATIVE ANALYSIS OF CURRENTLY USED MICROSCOPIC AND MACROSCOPIC TRAFFIC. Saudi Arabia: *The Arabian Journal for Science and Engineering*, Volume 34, Number 1B.

Referências Bibliográficas

- Ravulaparthi, S., & Goulias, K. G. (2011). Forecasting with Dynamic Microsimulation : Design , Implementation , and. *University of California Transportation Center*, (May).
- Rieser, M. (2010). Adding Transit to an Agent-Based Transportation Simulation Concepts and Implementation. *Fakultät V, Verkehrs- und Maschinensysteme*.
- Rommel, C. (2007). Automatic Feedback Control Applied to Microscopically Simulated Traffic: The potential of route guidance in the Berlin traffic network. *Teknisk- naturvetenskaplig fakultet UTH-enheten*.
- Russell, S. J., Norvig, P., Canny, J. F., Malik, J. M., Edwards, D. D., & Jonathan, S. J. S. (1995). *Artificial Intelligence, A Modern Approach* (1st ed., p. 932). New Jersey: Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Senozon. (2012a). Berlin – activitiy based, dynamic, multimodal.
- Senozon. (2012b). Prototyping in Los Angeles.
- Sheffi, Y. (1985). *Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods*. New Jersey: PRENTICE-HALL, INC.,.
- SOL, S., & Lusa, N. A. (2011). O novo mapa das freguesias de Lisboa. Retrieved February 09, 2013, from http://sol.sapo.pt/inicio/Sociedade/Interior.aspx?content_id=9679
- Solutions, G. (1995). Projected CRS used in World - N hemisphere - 12°W to 6°W - by country. *OGP*. Retrieved February 11, 2013, from http://georepository.com/crs_32629/WGS-84-UTM-zone-29N.html
- Sullivan, A., Malave, D., Cheekoti, N., & Jones, S. L. (2004). Traffic simulation software comparison study. *University Transportation Center for Alabama, The University of Alabama, USA*.
- Tavares, J. P. M. P. (2003). *Aplicabilidade e Robustez de Modelos de Afecção de Tráfego em Redes Urbanas.pdf*. Porto: Universidade do Porto.
- Tian, Z. Z., Li, T. U., Engelbrecht, R., & Balke, K. (2002). Variations in Capacity and Delay Estimates from Microscopic Traffic Simulation Models. *Transportation Research Record*, (1802), 23–31.
- Van Aerde, M. (2010). INTEGRATION RELEASE 2.30 FOR WINDOWS: User's Guide – Volume I: Fundamental Model Features, I.
- Vanderschuren, M. (2006). *INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS FOR SOUTH AFRICA*. Netherlands: TRAIL Research School.
- Velden, J. V. A. N. (2012). A large-scale multi-modal implementation of MATSim for the Nelson Mandela Bay Metropole. *BACHELORS OF INDUSTRIAL*

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

ENGINEERING in the FACULTY OF ENGINEERING, BUILT ENVIRONMENT AND INFORMATION TECHNOLOGY, UNIVERSITY OF PRETORIA, (October).

- Von Zuben, F. J., & Attux, R. R. F. (n.d.). *Introdução à Computação Natural*. DCA/FEEC/Unicamp & DECOM/FEEC/Unicamp.
- Waraich, R. A. (2010). 02 - Using some of the config options for calibration. Retrieved September 01, 2013, from <http://www.matsim.org/node/462>
- Wardrop, J. G. B. . (1952). Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research. Road Engineering Division Meeting.
- Wevell, D. (2011). Implementing MATSim Transit Simulation in a South African context. *BACHELORS OF INDUSTRIAL ENGINEERING in the FACULTY OF ENGINEERING, BUILT ENVIRONMENT AND INFORMATION TECHNOLOGY, UNIVERSITY OF PRETORIA, (October).*
- Zhang, Lei, & Levinson, D. (2004). Agent-Based Approach to Travel Demand Modeling: Exploratory Analysis. *Transportation Research Record, 1898*(1), 28–36. doi:10.3141/1898-04
- Zhang, Lun, Yang, W., Wang, J., & Rao, Q. (2013). A large scale agent-based transport simulation in Shanghai. *Transportation Research Board*.
- Zilske, M. (n.d.). Building a minimal traffic model from mobile phone data.

Anexo A

Ficheiro de Configuração

```
<config>
<!-- ===== -->
<module name="global">
  <param name="randomSeed" value="5399998864266990000" />
  <param name="coordinateSystem" value="WGS84_UTM29N" />
  <param name="numberOfThreads" value="4" />
</module>
<!-- ===== -->
<module name="network">
  <param name="inputNetworkFile" value="c:/users/farinha/desktop/input/network.xml"
  />
</module>
<!-- ===== -->
<module name="facilities">
  <param name="inputFacilitiesFile"
  value="c:/users/farinha/desktop/input/lisbon_facilities.xml" />
</module>
<!-- ===== -->
<module name="plans">
  <param name="inputPlansFile"
  value="c:/users/farinha/desktop/workspace/myproject2/output/plans_lisbon.xml.gz" />
</module>
<!-- ===== -->
<module name="scenario" >
  <!-- Set this parameter to true if households should be used, false if not. -->
  <param name="useHouseholds" value="false" />
  <!-- Set this parameter to true if knowledge should be used, false if not. -->
  <param name="useKnowledge" value="false" />
  <!-- Set this parameter to true if lanes should be used, false if not. -->
  <param name="useLanes" value="false" />
  <!-- Set this parameter to true if roadpricing should be used, false if not. -->
  <param name="useRoadpricing" value="false" />
  <!-- Set this parameter to true if signal systems should be used, false if not. -->
  <param name="useSignalsystems" value="false" />
  <!-- Set this parameter to true if transit should be simulated, false if not. -->
  <param name="useTransit" value="false" />
  <!-- Set this parameter to true if vehicles should be used, false if not. -->
  <param name="useVehicles" value="false" />
</module>
< ===== -->
<module name="controler">
  <param name="outputDirectory" value="&OUTBASE;" />
  <param name="firstIteration" value="0" />
  <param name="lastIteration" value="400" />
  <param name="runId" value="run0" />
  <param name="routingAlgorithmType" value="AStarLandmarks" />
  <param name="mobsim" value="jdeqsim" />
  <param name="writePlansInterval" value="1" />
  <param name="snapshotFormat" value="" />
  <param name="writeEventsInterval" value="100" />
  <!-- iterationNumber % writeSnapshotsInterval == 0 defines in which iterations
  snapshots are written to a file. `0' disables snapshots writing completely -->
  <param name="writeSnapshotsInterval" value="100" />
</module>
<!--===== -->
```

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

```
<module name="counts">
  <param name="countsScaleFactor" value="1" />
  <param name="inputCountsFile" value="null" />
  <param name="outputformat" value="all" />
  <param name="distanceFilter" value="12000.0" />
  <param name="distanceFilterCenterNode" value="2531" />
</module>
<!-- ===== -->
<module name="strategy">
  <param name="maxAgentPlanMemorySize" value="5" />

  <param name="ModuleProbability_1" value="0.9" />
  <param name="Module_1" value="ChangeExpBeta" />

  <param name="ModuleProbability_2" value="0.1" />
  <param name="Module_2" value="ReRoute" />

  <param name="ModuleProbability_3" value="0.1" />
  <param name="Module_3" value="TimeAllocationMutator" />
</module>
<!-- ===== -->
<module name="qsim" >
  <param name="flowCapacityFactor" value="1.0" />
  <param name="storageCapacityFactor" value="1.0" />
  <param name="removeStuckVehicles" value="false" />
  <param name="stuckTime" value="10.0" />
  <!-- "start/endTime" of MobSim (00:00:00 == take earliest activity time/ run as long as
active vehicles exist) -->
  <param name="startTime" value="00:00:00" />
  <param name="endTime" value="00:00:00" />
  <param name="snapshotperiod" value="00:00:10"/> <!-- 00:00:00 means NO snapshot
writing -->
</module>
<!-- ===== -->
<module name="planCalcScore">

  <param name="PathSizeLogitBeta" value="1.0" />
  <param name="learningRate" value="1.0" />
  <param name="BrainExpBeta" value="2.0" />

  <param name="lateArrival" value="-18.0" />
  <param name="traveling" value="-6.0" />
  <param name="travelingPt" value="-6.0" />

  <param name="performing" value="6.0" />
  <param name="earlyDeparture" value="0" />
  <param name="waiting" value="0" />

  <param name="activityEarliestEndTime_0" value="undefined" />
  <param name="activityEarliestEndTime_1" value="undefined" />
  <param name="activityEarliestEndTime_10" value="undefined" />
  <param name="activityEarliestEndTime_100" value="undefined" />
  <...>
  <param name="activityLatestStartTime_0" value="undefined" />
  <param name="activityLatestStartTime_1" value="undefined" />
  <param name="activityLatestStartTime_10" value="undefined" />
  <param name="activityLatestStartTime_100" value="undefined" />
  <...>
  <param name="activityMinimalDuration_0" value="undefined" />
```

Anexo A – Ficheiro de Configuração

```
<param name="activityMinimalDuration_1" value="undefined" />
<param name="activityMinimalDuration_10" value="undefined" />
<param name="activityMinimalDuration_100" value="undefined" />
<...>
<param name="activityPriority_0" value="1.0" />
<param name="activityPriority_1" value="1.0" />
<param name="activityPriority_10" value="1.0" />
<param name="activityPriority_100" value="1.0" />
<...>
<param name="activityType_0" value="h0.5" />
<param name="activityType_1" value="h1" />
<param name="activityType_10" value="h10" />
<param name="activityType_100" value="s12" />
<...>
<param name="activityTypicalDuration_0" value="00:30:00" />
<param name="activityTypicalDuration_1" value="01:00:00" />
<param name="activityTypicalDuration_10" value="10:00:00" />
<...>
</module>
<!--===== -->
</config>
```


Anexo B

Ficheiro *ScoreStats.xml*

IT.	avg. EXECUTED	avg. WORST	avg. AVG	avg. BEST	IT.	avg. EXECUTED	avg. WORST	avg. AVG	avg. BEST
0	129,183	129,183	129,183	129,183	201	144,067	143,522	143,971	144,510
1	132,176	130,866	131,559	132,251	202	144,056	143,532	143,983	144,520
2	134,291	131,968	133,216	134,430	203	144,092	143,559	144,004	144,539
3	135,795	132,651	134,373	135,997	204	144,105	143,582	144,020	144,548
4	136,930	133,087	135,225	137,182	205	144,132	143,584	144,039	144,588
5	137,786	133,395	135,884	138,073	206	144,156	143,613	144,057	144,597
6	138,430	133,606	136,393	138,744	207	144,183	143,636	144,077	144,615
7	138,893	133,728	136,773	139,224	208	144,211	143,661	144,097	144,630
8	139,136	133,773	137,015	139,509	209	144,195	143,675	144,109	144,633
9	139,373	133,810	137,238	139,776	210	144,198	143,694	144,123	144,641
10	139,618	133,882	137,472	140,024	211	144,190	143,695	144,135	144,659
11	139,711	133,931	137,622	140,143	212	144,270	143,739	144,163	144,682
12	139,746	133,984	137,755	140,242	213	144,206	143,718	144,166	144,694
13	139,877	134,080	137,908	140,354	214	144,296	143,766	144,195	144,715
14	139,953	134,198	138,046	140,432	215	144,257	143,771	144,202	144,716
15	139,971	134,342	138,168	140,486	216	144,334	143,801	144,228	144,754
16	140,035	134,483	138,288	140,545	217	144,323	143,817	144,240	144,755
17	140,055	134,652	138,407	140,604	218	144,403	143,850	144,269	144,789
18	140,040	134,814	138,501	140,623	219	144,365	143,860	144,277	144,786
19	139,954	135,004	138,585	140,618	220	144,387	143,873	144,296	144,810
20	140,082	135,259	138,726	140,698	221	144,369	143,883	144,306	144,812
21	140,093	135,490	138,827	140,725	222	144,431	143,919	144,331	144,835
22	140,113	135,737	138,933	140,755	223	144,461	143,943	144,350	144,852
23	140,093	135,957	139,023	140,781	224	144,334	143,890	144,341	144,845
24	140,190	136,209	139,134	140,836	225	144,477	143,962	144,378	144,877
25	140,162	136,422	139,215	140,860	226	144,441	143,968	144,386	144,886
26	140,154	136,643	139,295	140,879	227	144,492	144,001	144,407	144,898
27	140,282	136,867	139,401	140,942	228	144,545	144,028	144,431	144,923
28	140,273	137,092	139,483	140,961	229	144,533	144,042	144,443	144,934
29	140,361	137,305	139,575	141,014	230	144,514	144,037	144,452	144,943
30	140,322	137,486	139,638	141,024	231	144,553	144,065	144,473	144,961
31	140,380	137,699	139,721	141,063	232	144,600	144,101	144,495	144,975
32	140,313	137,878	139,774	141,067	233	144,570	144,099	144,504	144,989
33	140,459	138,062	139,860	141,125	234	144,599	144,123	144,522	145,004
34	140,413	138,211	139,913	141,138	235	144,599	144,135	144,535	145,013
35	140,456	138,385	139,982	141,179	236	144,694	144,176	144,565	145,043
36	140,489	138,534	140,039	141,202	237	144,663	144,186	144,574	145,048
37	140,492	138,653	140,088	141,220	238	144,682	144,206	144,591	145,062

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

IT.	avg. EXECUTED	avg. WORST	avg. AVG	avg. BEST	IT.	avg. EXECUTED	avg. WORST	avg. AVG	avg. BEST
38	140,559	138,774	140,146	141,263	239	144,597	144,169	144,588	145,066
39	140,562	138,882	140,191	141,282	240	144,723	144,232	144,622	145,096
40	140,618	138,996	140,245	141,319	241	144,731	144,253	144,638	145,109
41	140,584	139,091	140,281	141,338	242	144,745	144,271	144,653	145,120
42	140,651	139,206	140,331	141,357	243	144,708	144,260	144,658	145,128
43	140,732	139,309	140,385	141,392	244	144,668	144,254	144,661	145,126
44	140,681	139,379	140,414	141,402	245	144,783	144,314	144,693	145,149
45	140,747	139,459	140,460	141,438	246	144,793	144,333	144,709	145,165
46	140,722	139,524	140,489	141,452	247	144,800	144,344	144,723	145,181
47	140,790	139,590	140,532	141,491	248	144,817	144,360	144,738	145,196
48	140,748	139,628	140,553	141,510	249	144,781	144,357	144,743	145,200
49	140,848	139,718	140,600	141,529	250	144,852	144,393	144,766	145,219
50	140,851	139,771	140,632	141,552	251	144,847	144,399	144,778	145,233
51	140,918	139,835	140,673	141,586	252	144,826	144,399	144,786	145,243
52	140,930	139,886	140,704	141,608	253	144,889	144,433	144,808	145,260
53	140,965	139,934	140,738	141,633	254	144,851	144,429	144,813	145,261
54	140,949	139,963	140,763	141,662	255	144,947	144,472	144,843	145,292
55	141,054	140,019	140,808	141,706	256	144,942	144,491	144,856	145,299
56	140,974	140,040	140,819	141,703	257	144,975	144,511	144,874	145,316
57	141,053	140,097	140,858	141,731	258	144,923	144,496	144,877	145,321
58	141,111	140,133	140,892	141,777	259	144,958	144,523	144,894	145,333
59	141,117	140,174	140,918	141,792	260	144,989	144,545	144,912	145,347
60	141,112	140,200	140,941	141,805	261	144,905	144,500	144,908	145,355
61	141,190	140,256	140,979	141,830	262	145,046	144,578	144,944	145,380
62	141,183	140,288	141,002	141,843	263	145,022	144,592	144,955	145,388
63	141,180	140,299	141,025	141,870	264	145,070	144,618	144,976	145,406
64	141,179	140,317	141,047	141,903	265	145,065	144,627	144,989	145,421
65	141,299	140,387	141,091	141,937	266	145,087	144,648	145,005	145,433
66	141,210	140,374	141,097	141,949	267	145,065	144,648	145,013	145,441
67	141,319	140,433	141,136	141,983	268	145,076	144,658	145,026	145,452
68	141,318	140,468	141,159	141,989	269	145,133	144,693	145,049	145,475
69	141,408	140,510	141,197	142,029	270	145,124	144,707	145,059	145,478
70	141,354	140,523	141,210	142,042	271	145,141	144,725	145,074	145,489
71	141,405	140,555	141,240	142,070	272	145,142	144,735	145,085	145,501
72	141,406	140,575	141,261	142,093	273	145,132	144,747	145,094	145,503
73	141,477	140,619	141,294	142,122	274	145,161	144,761	145,110	145,520
74	141,438	140,627	141,308	142,129	275	145,173	144,778	145,123	145,527
75	141,511	140,671	141,342	142,162	276	145,214	144,804	145,141	145,544
76	141,522	140,691	141,364	142,181	277	145,179	144,797	145,146	145,549
77	141,451	140,687	141,369	142,177	278	145,235	144,829	145,167	145,567
78	141,575	140,748	141,411	142,220	279	145,212	144,830	145,174	145,575
79	141,572	140,769	141,431	142,232	280	145,239	144,852	145,189	145,586
80	141,639	140,812	141,465	142,263	281	145,258	144,867	145,204	145,603
81	141,624	140,827	141,483	142,284	282	145,314	144,896	145,225	145,622

Anexo B – Ficheiro *ScoreStats.xml*

IT.	avg. EXECUTED	avg. WORST	avg. AVG	avg. BEST	IT.	avg. EXECUTED	avg. WORST	avg. AVG	avg. BEST
82	141,715	140,877	141,520	142,309	283	145,279	144,898	145,230	145,626
83	141,679	140,889	141,536	142,323	284	145,323	144,924	145,248	145,640
84	141,689	140,920	141,559	142,338	285	145,312	144,931	145,257	145,648
85	141,738	140,951	141,588	142,366	286	145,306	144,929	145,266	145,658
86	141,749	140,974	141,610	142,383	287	145,353	144,962	145,286	145,673
87	141,760	140,986	141,632	142,414	288	145,322	144,955	145,290	145,680
88	141,747	140,995	141,647	142,421	289	145,376	144,986	145,310	145,696
89	141,773	141,015	141,670	142,456	290	145,395	145,007	145,325	145,706
90	141,832	141,060	141,698	142,470	291	145,391	145,017	145,335	145,714
91	141,863	141,094	141,723	142,490	292	145,313	144,972	145,331	145,720
92	141,923	141,121	141,754	142,528	293	145,442	145,043	145,363	145,744
93	141,811	141,093	141,752	142,536	294	145,421	145,055	145,371	145,747
94	141,995	141,167	141,802	142,583	295	145,448	145,071	145,386	145,762
95	141,980	141,191	141,821	142,595	296	145,491	145,094	145,405	145,782
96	141,967	141,211	141,838	142,602	297	145,460	145,097	145,411	145,784
97	141,981	141,222	141,859	142,630	298	145,510	145,122	145,431	145,804
98	142,042	141,263	141,889	142,656	299	145,470	145,122	145,434	145,803
99	142,069	141,286	141,913	142,683	300	145,492	145,129	145,448	145,821
100	142,099	141,315	141,938	142,706	301	145,515	145,152	145,462	145,829
101	142,008	141,299	141,941	142,706	302	145,531	145,161	145,476	145,844
102	142,138	141,367	141,982	142,731	303	145,552	145,185	145,490	145,852
103	142,151	141,396	142,005	142,750	304	145,555	145,201	145,501	145,857
104	142,141	141,414	142,022	142,763	305	145,560	145,210	145,512	145,871
105	142,204	141,447	142,053	142,796	306	145,587	145,231	145,527	145,880
106	142,160	141,444	142,063	142,813	307	145,556	145,226	145,531	145,884
107	142,227	141,479	142,091	142,843	308	145,586	145,246	145,545	145,895
108	142,243	141,504	142,112	142,858	309	145,615	145,266	145,561	145,910
109	142,277	141,535	142,136	142,878	310	145,621	145,279	145,571	145,917
110	142,267	141,556	142,152	142,878	311	145,635	145,288	145,583	145,933
111	142,347	141,593	142,186	142,914	312	145,656	145,307	145,597	145,944
112	142,299	141,596	142,196	142,929	313	145,655	145,311	145,607	145,954
113	142,374	141,633	142,227	142,955	314	145,690	145,334	145,623	145,969
114	142,308	141,619	142,232	142,963	315	145,677	145,340	145,632	145,974
115	142,441	141,684	142,273	142,995	316	145,696	145,358	145,645	145,985
116	142,410	141,698	142,288	143,005	317	145,700	145,361	145,655	145,996
117	142,484	141,735	142,320	143,034	318	145,731	145,388	145,671	146,008
118	142,462	141,745	142,335	143,056	319	145,708	145,386	145,677	146,012
119	142,508	141,778	142,361	143,074	320	145,779	145,420	145,699	146,034
120	142,564	141,811	142,392	143,112	321	145,700	145,396	145,695	146,030
121	142,533	141,827	142,405	143,114	322	145,765	145,435	145,715	146,046
122	142,564	141,841	142,428	143,141	323	145,775	145,452	145,727	146,054
123	142,543	141,859	142,441	143,144	324	145,801	145,468	145,742	146,069
124	142,672	141,908	142,482	143,194	325	145,800	145,479	145,751	146,076
125	142,615	141,916	142,492	143,199	326	145,785	145,475	145,757	146,084

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

IT.	avg. EXECUTED	avg. WORST	avg. AVG	avg. BEST	IT.	avg. EXECUTED	avg. WORST	avg. AVG	avg. BEST
126	142,609	141,914	142,508	143,218	327	145,822	145,500	145,773	146,096
127	142,557	141,916	142,514	143,210	328	145,835	145,514	145,785	146,105
128	142,724	141,986	142,561	143,265	329	145,854	145,532	145,798	146,116
129	142,658	141,988	142,568	143,260	330	145,855	145,541	145,807	146,125
130	142,740	142,036	142,600	143,287	331	145,873	145,551	145,819	146,137
131	142,747	142,061	142,621	143,302	332	145,840	145,546	145,822	146,138
132	142,777	142,087	142,644	143,324	333	145,862	145,564	145,834	146,146
133	142,795	142,111	142,666	143,346	334	145,884	145,581	145,847	146,158
134	142,857	142,136	142,696	143,385	335	145,909	145,600	145,861	146,170
135	142,759	142,120	142,695	143,380	336	145,925	145,616	145,873	146,180
136	142,824	142,144	142,721	143,412	337	145,927	145,626	145,883	146,188
137	142,888	142,195	142,750	143,428	338	145,915	145,616	145,889	146,199
138	142,897	142,218	142,770	143,443	339	145,960	145,648	145,905	146,210
139	142,921	142,242	142,792	143,465	340	145,960	145,660	145,914	146,216
140	142,949	142,268	142,815	143,488	341	145,970	145,671	145,925	146,225
141	143,005	142,297	142,843	143,517	342	146,005	145,688	145,940	146,241
142	142,961	142,308	142,853	143,514	343	145,968	145,682	145,942	146,243
143	143,023	142,337	142,883	143,555	344	146,009	145,706	145,958	146,256
144	143,036	142,365	142,902	143,565	345	146,004	145,712	145,966	146,262
145	142,939	142,318	142,901	143,568	346	146,005	145,723	145,975	146,268
146	143,064	142,394	142,939	143,601	347	146,052	145,749	145,992	146,281
147	143,047	142,408	142,954	143,619	348	146,004	145,731	145,992	146,285
148	143,158	142,457	142,990	143,652	349	146,054	145,765	146,008	146,295
149	143,092	142,456	142,996	143,657	350	146,079	145,781	146,022	146,309
150	143,169	142,494	143,026	143,684	351	146,072	145,788	146,030	146,314
151	143,092	142,474	143,028	143,684	352	146,054	145,783	146,034	146,320
152	143,203	142,529	143,064	143,723	353	146,077	145,803	146,046	146,327
153	143,178	142,546	143,075	143,722	354	146,082	145,816	146,055	146,333
154	143,234	142,575	143,102	143,745	355	146,101	145,831	146,066	146,342
155	143,226	142,587	143,118	143,765	356	146,120	145,845	146,077	146,352
156	143,267	142,622	143,142	143,776	357	146,109	145,849	146,083	146,356
157	143,255	142,632	143,158	143,798	358	146,132	145,864	146,095	146,365
158	143,234	142,640	143,168	143,802	359	146,130	145,872	146,102	146,372
159	143,336	142,687	143,202	143,834	360	146,123	145,871	146,108	146,379
160	143,306	142,695	143,214	143,848	361	146,136	145,883	146,117	146,387
161	143,386	142,727	143,243	143,879	362	146,151	145,897	146,127	146,394
162	143,344	142,738	143,252	143,875	363	146,144	145,898	146,133	146,401
163	143,393	142,768	143,276	143,895	364	146,202	145,927	146,150	146,415
164	143,392	142,785	143,293	143,910	365	146,162	145,916	146,151	146,417
165	143,434	142,814	143,316	143,929	366	146,213	145,944	146,167	146,430
166	143,433	142,831	143,332	143,943	367	146,209	145,950	146,174	146,437
167	143,456	142,845	143,352	143,960	368	146,243	145,969	146,188	146,449
168	143,496	142,876	143,374	143,979	369	146,215	145,967	146,191	146,451
169	143,500	142,899	143,391	143,994	370	146,239	145,981	146,202	146,461

Anexo B – Ficheiro *ScoreStats.xml*

IT.	avg. EXECUTED	avg. WORST	avg. AVG	avg. BEST	IT.	avg. EXECUTED	avg. WORST	avg. AVG	avg. BEST
170	143,511	142,918	143,409	144,003	371	146,248	145,992	146,212	146,469
171	143,541	142,943	143,431	144,026	372	146,243	145,998	146,218	146,473
172	143,513	142,947	143,441	144,038	373	146,269	146,014	146,229	146,483
173	143,576	142,981	143,465	144,051	374	146,284	146,028	146,240	146,491
174	143,575	142,994	143,481	144,070	375	146,232	146,006	146,237	146,493
175	143,600	143,008	143,499	144,094	376	146,305	146,044	146,257	146,509
176	143,599	143,028	143,514	144,098	377	146,301	146,054	146,264	146,512
177	143,649	143,051	143,538	144,133	378	146,292	146,053	146,270	146,519
178	143,655	143,075	143,554	144,138	379	146,307	146,065	146,279	146,526
179	143,687	143,099	143,575	144,153	380	146,264	146,047	146,278	146,527
180	143,667	143,108	143,587	144,161	381	146,329	146,086	146,296	146,538
181	143,727	143,138	143,613	144,194	382	146,334	146,099	146,304	146,543
182	143,776	143,171	143,639	144,211	383	146,313	146,092	146,307	146,548
183	143,738	143,174	143,649	144,224	384	146,309	146,093	146,312	146,554
184	143,759	143,198	143,667	144,237	385	146,349	146,118	146,325	146,562
185	143,745	143,199	143,679	144,255	386	146,364	146,132	146,335	146,569
186	143,819	143,232	143,707	144,287	387	146,345	146,125	146,337	146,574
187	143,783	143,244	143,715	144,284	388	146,377	146,148	146,350	146,583
188	143,830	143,259	143,737	144,321	389	146,363	146,149	146,353	146,586
189	143,847	143,275	143,753	144,325	390	146,388	146,162	146,364	146,596
190	143,848	143,297	143,767	144,328	391	146,388	146,166	146,370	146,602
191	143,853	143,313	143,783	144,340	392	146,415	146,186	146,382	146,610
192	143,919	143,351	143,809	144,364	393	146,399	146,180	146,385	146,616
193	143,960	143,381	143,832	144,384	394	146,438	146,205	146,398	146,624
194	143,956	143,394	143,848	144,402	395	146,443	146,215	146,407	146,631
195	143,969	143,410	143,866	144,424	396	146,445	146,222	146,414	146,637
196	143,981	143,431	143,883	144,435	397	146,415	146,210	146,415	146,640
197	144,019	143,458	143,905	144,452	398	146,455	146,235	146,427	146,649
198	144,002	143,465	143,916	144,459	399	146,457	146,244	146,434	146,655
199	144,059	143,496	143,941	144,487	400	146,473	146,257	146,443	146,662
200	143,978	143,471	143,942	144,487					

Anexo C

Ficheiro *plans.xml*

```
<population>
<!-- ===== -->
  <person id="1" age="61" employed="yes">
    <plan score="144.45774760573642" selected="no">
      <act type="h9" link="28205" facility="42" x="487773.21" y="4288841.84"
start_time="00:00:00" max_dur="09:11:58" end_time="09:11:58" />
      <leg mode="car" dep_time="09:11:58" trav_time="00:00:49" arr_time="09:12:47">
        <route type="links">28205 28194 28196 28198 28227 28226</route>
      </leg>
      <act type="w10" link="28226" facility="32" x="488168.22" y="4288716.64"
start_time="09:12:48" end_time="19:41:32" />
      <leg mode="car" dep_time="19:41:32" trav_time="00:00:43" arr_time="19:42:15">
        <route type="links">28226 28199 28197 29323 28214 28205</route>
      </leg>
      <act type="h9" link="28205" facility="42" x="487773.21" y="4288841.84"
start_time="19:42:15" />
    </plan>

    <plan score="144.45774760573642" selected="no">
      <act type="h9" link="28205" facility="42" x="487773.21" y="4288841.84"
start_time="00:00:00" max_dur="09:11:58" end_time="09:11:58" />
      <leg mode="car" dep_time="09:11:58" trav_time="00:00:49" arr_time="09:12:47">
        <route type="links">28205 28194 28196 28198 28227 28226</route>
      </leg>
      <act type="w10" link="28226" facility="32" x="488168.22" y="4288716.64"
start_time="09:12:48" end_time="19:41:32" />
      <leg mode="car" dep_time="19:41:32" trav_time="00:00:43" arr_time="19:42:15">
        <route type="links">28226 28199 28197 29323 28214 28205</route>
      </leg>
      <act type="h9" link="28205" facility="42" x="487773.21" y="4288841.84"
start_time="19:42:15" />
    </plan>

    <plan score="145.21297347239067" selected="no">
      <act type="h9" link="28205" facility="42" x="487773.21" y="4288841.84"
start_time="00:00:00" max_dur="08:52:28" end_time="08:52:28" />
      <leg mode="car" dep_time="08:52:28" trav_time="00:00:49" arr_time="08:53:17">
        <route type="links">28205 28194 28196 28198 28227 28226</route>
      </leg>
      <act type="w10" link="28226" facility="32" x="488168.22" y="4288716.64"
start_time="08:53:17" end_time="19:51:53" />
      <leg mode="car" dep_time="19:51:53" trav_time="00:00:43" arr_time="19:52:36">
        <route type="links">28226 28199 28197 29323 28214 28205</route>
      </leg>
      <act type="h9" link="28205" facility="42" x="487773.21" y="4288841.84"
start_time="19:52:36" />
    </plan>

    <plan score="144.45774760573642" selected="no">
      <act type="h9" link="28205" facility="42" x="487773.21" y="4288841.84"
start_time="00:00:00" max_dur="09:11:58" end_time="09:11:58" />
      <leg mode="car" dep_time="09:11:58" trav_time="00:00:48" arr_time="09:12:46">
        <route type="links">28205 28194 28196 28198 28227 28226</route>
      </leg>
```

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

```
<act type="w10" link="28226" facility="32" x="488168.22" y="4288716.64"
start_time="09:12:48" end_time="19:41:32" />
<leg mode="car" dep_time="19:41:32" trav_time="00:00:42" arr_time="19:42:14">
<route type="links">28226 28199 28197 29323 28214 28205</route>
</leg>
<act type="h9" link="28205" facility="42" x="487773.21" y="4288841.84"
start_time="19:42:15" />
</plan>

<plan score="144.45774760573642" selected="no">
<act type="h9" link="28205" facility="42" x="487773.21" y="4288841.84"
start_time="00:00:00" max_dur="09:11:58" end_time="09:11:58" />
<leg mode="car" dep_time="09:11:58" trav_time="00:00:49" arr_time="09:12:47">
<route type="links">28205 28194 28196 28198 28227 28226</route>
</leg>
<act type="w10" link="28226" facility="32" x="488168.22" y="4288716.64"
start_time="09:12:48" end_time="19:41:32" />
<leg mode="car" dep_time="19:41:32" trav_time="00:00:43" arr_time="19:42:15">
<route type="links">28226 28199 28197 29323 28214 28205</route>
</leg>
<act type="h9" link="28205" facility="42" x="487773.21" y="4288841.84"
start_time="19:42:15" />
</plan>

<plan score="145.21297347239067" selected="yes">
<act type="h9" link="28205" facility="42" x="487773.21" y="4288841.84"
start_time="00:00:00" max_dur="08:28:23" end_time="08:28:23" />
<leg mode="car" dep_time="08:28:23" trav_time="00:00:49" arr_time="08:29:12">
<route type="links">28205 28194 28196 28198 28227 28226</route>
</leg>
<act type="w10" link="28226" facility="32" x="488168.22" y="4288716.64"
start_time="08:29:12" end_time="19:36:24" />
<leg mode="car" dep_time="19:36:24" trav_time="00:00:43" arr_time="19:37:07">
<route type="links">28226 28199 28197 29323 28214 28205</route>
</leg>
<act type="h9" link="28205" facility="42" x="487773.21" y="4288841.84"
start_time="19:37:07" />
</plan>

</person>

<!-- ===== -->

<person id="10" age="69" employed="yes">
<plan score="151.07891928076774" selected="no">
<act type="h6" link="28205" facility="42" x="487773.21" y="4288841.84"
end_time="06:57:54" />
<leg mode="car" dep_time="06:57:54" trav_time="00:01:53" arr_time="06:59:47">
<route type="links">28205 28207 28209 28242 27731 27732 27733 27734
27045 27046 27047 27048 27049 27050 29980 24788 12407 12405 24739 24789 7335 7337 24781
24779 24777 18374 18384</route>
</leg>
<act type="w10" link="18384" facility="101" x="487755.49" y="4287970.07"
end_time="17:23:13" />
<leg mode="car" dep_time="17:23:13" trav_time="00:02:43" arr_time="17:25:56">
<route type="links">18384 18489 23229 23230 29149 29150 24778 24780
24785 8871 24752 12406 24787 12391 12392 12393 12386 12387 12388 12389 12304 12305
29984 29985 29986 29987 29988 29989 29990 27040 27041 27042 27043 28210 28208 28206
28205</route>
```

Anexo C – Ficheiro *plans.xml*

```
</leg>
<act type="h6" link="28205" facility="42" x="487773.21" y="4288841.84" />
</plan>

<plan score="151.1073022289966" selected="no">
  <act type="h6" link="28205" facility="42" x="487773.21" y="4288841.84"
end_time="06:57:54" />
  <leg mode="car" dep_time="06:57:54" trav_time="00:01:57" arr_time="06:59:51">
    <route type="links">28205 28207 28209 28242 27731 27732 27733 27734
27045 27046 27047 27048 27049 27050 29980 24788 12407 12405 24739 24789 7335 7337 24781
24779 24777 18374 18384</route>
  </leg>
  <act type="w10" link="18384" facility="101" x="487755.49" y="4287970.07"
end_time="17:23:13" />
  <leg mode="car" dep_time="17:23:13" trav_time="00:02:26" arr_time="17:25:39">
    <route type="links">18384 18489 23229 23230 29149 29150 24778 24780
7338 7336 7334 12591 12592 12593 29952 12305 29984 29985 29986 29987 29988 29989 29990
27040 27041 27042 27043 28210 28208 28206 28205</route>
  </leg>
  <act type="h6" link="28205" facility="42" x="487773.21" y="4288841.84" />
</plan>

<plan score="151.15300643188414" selected="no">
  <act type="h6" link="28205" facility="42" x="487773.21" y="4288841.84"
end_time="06:57:54" />
  <leg mode="car" dep_time="06:57:54" trav_time="00:01:54" arr_time="06:59:48">
    <route type="links">28205 28207 28209 28242 27731 27732 27733 27734
27045 27046 27047 27048 27049 27050 29980 24788 12407 12405 24739 24789 7335 7337 24781
24779 24777 18374 18384</route>
  </leg>
  <act type="w10" link="18384" facility="101" x="487755.49" y="4287970.07"
end_time="17:23:13" />
  <leg mode="car" dep_time="17:23:13" trav_time="00:02:25" arr_time="17:25:38">
    <route type="links">18384 18489 23229 23230 29149 29150 24778 24780
7338 7336 7334 12591 12592 12593 29952 12305 29984 29985 29986 29987 29988 29989 29990
27040 27041 27042 27043 28210 28208 28206 28205</route>
  </leg>
  <act type="h6" link="28205" facility="42" x="487773.21" y="4288841.84" />
</plan>

<plan score="151.07410487758716" selected="no">
  <act type="h6" link="28205" facility="42" x="487773.21" y="4288841.84"
end_time="06:57:54" />
  <leg mode="car" dep_time="06:57:54" trav_time="00:01:54" arr_time="06:59:48">
    <route type="links">28205 28207 28209 28242 27731 27732 27733 27734
27045 27046 27047 27048 27049 27050 29980 24788 12407 12405 24739 24789 7335 7337 24781
24779 24777 18374 18384</route>
  </leg>
  <act type="w10" link="18384" facility="101" x="487755.49" y="4287970.07"
end_time="17:23:13" />
  <leg mode="car" dep_time="17:23:13" trav_time="00:02:12" arr_time="17:25:25">
    <route type="links">18384 18489 23229 23230 29149 29150 24778 24780
7338 7336 7334 12591 12592 12593 29952 12305 29984 29985 29986 29987 29988 29989 29990
27040 27041 27042 27043 28210 28208 28206 28205</route>
  </leg>
  <act type="h6" link="28205" facility="42" x="487773.21" y="4288841.84" />
</plan>

<plan score="151.14213618076596" selected="yes">
```

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

```
<act type="h6" link="28205" facility="42" x="487773.21" y="4288841.84"
end_time="06:57:54" />
<leg mode="car" dep_time="06:57:54" trav_time="00:01:59" arr_time="06:59:53">
  <route type="links">28205 28207 28209 28242 27731 27732 27733 27734
27045 27046 27047 27048 27049 27050 29980 24788 12407 12405 24739 24789 7335 7337 24781
24779 24777 18374 18384</route>
</leg>
<act type="w10" link="18384" facility="101" x="487755.49" y="4287970.07"
end_time="17:23:13" />
<leg mode="car" dep_time="17:23:13" trav_time="00:02:18" arr_time="17:25:31">
  <route type="links">18384 18489 23229 23230 29149 29150 24778 24780
7338 7336 7334 12591 12592 12593 29952 12305 29984 29985 29986 29987 29988 29989 29990
27040 27041 27042 27043 28210 28208 28206 28205</route>
</leg>
<act type="h6" link="28205" facility="42" x="487773.21" y="4288841.84" />
</plan>

</person>

<!-- ===== -->
```

Anexo D

Ficheiro *network.xml*

```
<network>

<!-- ===== -->

<nodes>
  <node id="1019016994" x="480256.72486493323" y="4288200.992613384" />
  <node id="1019019153" x="480342.3498057207" y="4288164.505480521" />
  <node id="1022587651" x="486738.6461903874" y="4286981.931298594" />
  <node id="1022587701" x="486615.259006722" y="4287153.869390058" />
  <node id="1022587718" x="486659.51496667654" y="4287085.273348583" />
  <node id="1022646615" x="491274.11441087106" y="4291281.688586622" />
  <node id="1022646619" x="491206.8572323324" y="4291374.61978913" />
  <node id="1022646624" x="490994.93669162056" y="4291788.1644857" />
  <node id="1025189663" x="474929.23011614295" y="4285056.812428449" />
  <node id="1026368469" x="481570.43435256905" y="4287555.753588262" />
  <node id="1026369632" x="481698.46362404514" y="4287471.866834477" />
  <node id="1026369639" x="481809.9255345358" y="4287553.471487485" />
  <node id="1026369641" x="481786.66979527444" y="4287569.570477173" />
  <node id="1026369659" x="481807.87992040685" y="4287761.183845133" />
  <node id="1026369812" x="481713.38532328873" y="4287384.279742321" />
  <node id="1026370068" x="481857.8035889472" y="4287830.83471682" />
  <node id="1026370347" x="481943.39219430246" y="4287827.022522528" />
  <node id="1026370483" x="481576.67132174777" y="4287794.561970332" />
  <node id="1026370627" x="481560.4162554108" y="4287815.816484642" />
  <node id="1026370634" x="481617.9301356124" y="4287874.70668974" />
  <node id="1026370692" x="481496.9548631866" y="4287793.44861933" />
  <node id="1026370693" x="481467.8995432655" y="4287770.501705835" />
  <...>
</nodes>

<!-- ===== -->

<links capperiod="01:00:00" effectivecellsize="7.5" effectivevlanewidth="3.75">

  <link id="1" from="1382116318" to="2430514279" length="36.54660740147874"
  freespeed="22.22222222222222" capacity="3000.0" permlanes="2.0" oneway="1" modes="car"
  origid="124100839" />
  <link id="10" from="601751726" to="601751740" length="21.928199420993344"
  freespeed="13.888888888888889" capacity="600.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="car"
  origid="47235630" />
  <link id="100" from="25761893" to="25761958" length="243.35139559025464"
  freespeed="8.333333333333334" capacity="600.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="car"
  origid="8017454" />
  <link id="1000" from="33235788" to="33235779" length="271.1265061240597"
  freespeed="22.22222222222222" capacity="3000.0" permlanes="2.0" oneway="1" modes="car"
  origid="5003397" />
  <link id="10000" from="256331611" to="256331628" length="75.87223805475038"
  freespeed="8.333333333333334" capacity="600.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="car"
  origid="23658949" />
  <link id="10001" from="430272880" to="429342712" length="412.80082337864155"
  freespeed="22.22222222222222" capacity="8000.0" permlanes="4.0" oneway="1" modes="car"
  origid="243079106" />
  <link id="10002" from="429342712" to="469814501" length="199.9371730739743"
  freespeed="22.22222222222222" capacity="6000.0" permlanes="3.0" oneway="1" modes="car"
  origid="243079108" />

</links>
```

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

```
<link id="10003" from="233111571" to="233111561" length="96.51685183106507"
freespeed="8.333333333333334" capacity="600.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="car"
origid="21640904" />
<link id="10004" from="25081842" to="233111599" length="10.44713663686288"
freespeed="8.333333333333334" capacity="600.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="car"
origid="21640905" />
<link id="10006" from="1627708412" to="970772933" length="52.965424262957214"
freespeed="8.333333333333334" capacity="600.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="car"
origid="83388921" />
<link id="10007" from="1829558416" to="1556191587" length="71.56599679449599"
freespeed="8.333333333333334" capacity="600.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="car"
origid="9262079" />
<link id="10008" from="1556191587" to="1829558416" length="71.56599679449599"
freespeed="8.333333333333334" capacity="600.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="car"
origid="9262079" />
<link id="10009" from="1556191587" to="1556191588" length="13.277881834290776"
freespeed="8.333333333333334" capacity="600.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="car"
origid="9262079" />
<link id="1001" from="33235779" to="299870371" length="426.6140201795314"
freespeed="22.22222222222222" capacity="3000.0" permlanes="2.0" oneway="1" modes="car"
origid="5003397" />
<link id="10010" from="1556191588" to="1556191587" length="13.277881834290776"
freespeed="8.333333333333334" capacity="600.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="car"
origid="9262079" />
<link id="10011" from="30482109" to="517323292" length="210.57352977676817"
freespeed="33.333333333333336" capacity="4000.0" permlanes="2.0" oneway="1" modes="car"
origid="42066742" />
<link id="10012" from="517323292" to="517323516" length="70.4055439687348"
freespeed="33.333333333333336" capacity="4000.0" permlanes="2.0" oneway="1" modes="car"
origid="42066742" />
<link id="10013" from="517323516" to="517322604" length="265.3906132752152"
freespeed="33.333333333333336" capacity="4000.0" permlanes="2.0" oneway="1" modes="car"
origid="42066742" />
<link id="10014" from="517322604" to="1369470981" length="192.7102379788311"
freespeed="33.333333333333336" capacity="4000.0" permlanes="2.0" oneway="1" modes="car"
origid="42066742" />
<link id="10015" from="1369470981" to="524079320" length="408.3150691881704"
freespeed="33.333333333333336" capacity="4000.0" permlanes="2.0" oneway="1" modes="car"
origid="42066742" />
<link id="10016" from="524079320" to="522463892" length="92.03564121596465"
freespeed="33.333333333333336" capacity="4000.0" permlanes="2.0" oneway="1" modes="car"
origid="42066742" />
<...>
</links>

<!-- ===== -->

</network>
```

Anexo E

Travel Distance Stats

IT.	avg. EXECUTED	avg. WORST	avg. AVG	avg. BEST	IT.	avg. EXECUTED	avg. WORST	avg. AVG	avg. BEST
0	21405,82	21405,82	21405,82	21405,82	201	21418,0	21420,2	21413,9	21411,2
1	21443,24	21403,14	21424,53	21445,96	202	21408,2	21409,8	21412,4	21414,9
2	21468,25	21403,43	21438,09	21471,51	203	21410,4	21409,3	21412,4	21414,1
3	21488,37	21403,62	21449,41	21493,59	204	21412,9	21412,4	21412,9	21413,9
4	21505,64	21403,85	21459,11	21511,87	205	21413,9	21418,8	21413,1	21411,1
5	21518,17	21403,64	21467,13	21527,31	206	21407,8	21415,3	21412,0	21411,6
6	21528,48	21403,79	21473,99	21537,95	207	21407,3	21410,2	21411,5	21412,7
7	21531,33	21404,36	21478,12	21542,36	208	21407,9	21407,9	21411,3	21413,1
8	21526,73	21404,52	21479,46	21541,84	209	21411,3	21413,6	21411,8	21411,1
9	21527,42	21405,94	21481,57	21537,88	210	21409,6	21412,6	21411,6	21412,1
10	21521,34	21406,09	21481,73	21534,29	211	21408,4	21407,9	21411,3	21413,9
11	21513,95	21405,64	21481,61	21529,33	212	21412,6	21411,1	21411,9	21412,8
12	21509,83	21409,52	21482,87	21521,48	213	21412,2	21414,3	21412,0	21411,7
13	21508,76	21411,46	21484,66	21514,23	214	21410,8	21417,5	21411,7	21409,5
14	21501,73	21413,94	21484,45	21508,08	215	21405,9	21405,4	21410,7	21413,8
15	21492,82	21414,38	21483,90	21506,68	216	21410,4	21413,7	21411,2	21410,9
16	21494,96	21419,07	21485,78	21503,28	217	21406,1	21408,6	21410,6	21411,8
17	21494,32	21423,14	21486,80	21491,20	218	21409,1	21409,9	21410,9	21413,3
18	21486,25	21426,80	21486,21	21486,08	219	21408,4	21406,5	21410,8	21413,6
19	21478,84	21429,03	21485,26	21488,62	220	21410,5	21414,6	21411,2	21411,0
20	21479,98	21435,50	21485,99	21483,79	221	21405,4	21410,0	21410,4	21412,6
21	21476,77	21441,53	21485,87	21477,79	222	21408,2	21408,6	21410,6	21413,2
22	21474,13	21444,40	21485,56	21476,59	223	21408,7	21407,7	21410,6	21413,2
23	21477,13	21448,84	21486,25	21477,11	224	21408,6	21408,7	21410,6	21412,6
24	21477,02	21456,27	21486,24	21466,03	225	21410,8	21414,4	21410,9	21410,4
25	21471,08	21460,46	21485,08	21461,51	226	21405,8	21403,3	21410,1	21413,5
26	21463,98	21456,59	21483,77	21477,56	227	21413,8	21417,7	21411,2	21409,2
27	21471,54	21468,66	21484,46	21460,77	228	21404,9	21408,0	21409,9	21412,8
28	21465,85	21470,83	21483,15	21461,42	229	21408,9	21407,1	21410,2	21412,4
29	21462,68	21474,51	21482,04	21460,36	230	21410,2	21415,5	21410,5	21410,4
30	21462,49	21478,15	21481,21	21455,99	231	21404,7	21405,8	21409,5	21412,5
31	21454,52	21474,80	21479,11	21459,62	232	21408,3	21405,8	21409,8	21412,6
32	21456,31	21475,92	21478,22	21458,75	233	21408,5	21401,9	21409,9	21413,5
33	21458,31	21482,18	21477,54	21452,54	234	21414,2	21415,0	21411,0	21409,8
34	21457,27	21475,80	21476,64	21460,87	235	21407,6	21411,1	21410,1	21411,1

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

IT.	avg. EXECUTED	avg. WORST	avg. AVG	avg. BEST	IT.	avg. EXECUTED	avg. WORST	avg. AVG	avg. BEST
35	21463,40	21488,75	21476,82	21448,18	236	21407,8	21408,2	21409,8	21411,3
36	21452,03	21473,82	21474,00	21458,19	237	21408,5	21407,1	21409,8	21411,8
37	21458,87	21481,26	21473,68	21451,25	238	21409,8	21408,4	21410,1	21411,8
38	21455,49	21483,58	21472,41	21449,20	239	21410,3	21412,5	21410,2	21411,9
39	21452,42	21474,42	21470,86	21454,46	240	21406,1	21409,1	21409,5	21411,1
40	21454,04	21482,03	21470,44	21449,64	241	21405,3	21405,0	21409,2	21412,7
41	21455,22	21489,97	21469,99	21445,85	242	21408,9	21407,4	21409,8	21411,9
42	21444,53	21476,53	21467,28	21451,89	243	21408,8	21413,0	21409,9	21410,8
43	21451,45	21479,11	21466,76	21447,35	244	21404,1	21406,8	21409,1	21411,6
44	21449,28	21483,63	21465,72	21444,26	245	21407,6	21408,8	21409,4	21410,5
45	21442,26	21478,53	21463,62	21446,16	246	21405,3	21403,3	21408,9	21413,1
46	21443,43	21481,05	21462,32	21442,51	247	21410,7	21413,2	21409,7	21409,3
47	21441,34	21474,10	21460,88	21445,65	248	21403,6	21404,1	21408,6	21412,0
48	21442,75	21468,47	21459,93	21446,64	249	21409,5	21408,2	21409,3	21411,0
49	21443,64	21476,41	21459,21	21443,15	250	21410,6	21407,4	21409,7	21411,8
50	21441,98	21464,63	21457,75	21449,14	251	21412,6	21415,0	21410,1	21409,7
51	21447,07	21477,79	21458,06	21441,69	252	21406,6	21404,5	21409,1	21412,5
52	21441,15	21464,91	21456,08	21446,77	253	21410,9	21410,6	21409,6	21410,9
53	21444,88	21472,48	21455,65	21440,61	254	21408,1	21411,5	21409,2	21410,2
54	21435,97	21457,09	21453,82	21447,83	255	21409,6	21410,5	21409,4	21409,4
55	21443,20	21466,61	21454,12	21443,49	256	21407,2	21409,9	21409,0	21409,7
56	21443,08	21463,60	21453,50	21442,70	257	21407,2	21408,0	21408,9	21409,9
57	21442,88	21466,06	21452,82	21439,95	258	21406,2	21407,1	21408,8	21411,0
58	21442,46	21466,10	21451,82	21439,05	259	21411,2	21412,9	21409,4	21409,0
59	21436,97	21456,88	21449,97	21442,40	260	21408,0	21414,1	21408,9	21407,4
60	21440,66	21468,84	21449,63	21437,46	261	21404,5	21404,7	21408,1	21409,3
61	21432,26	21457,42	21447,51	21441,21	262	21409,1	21405,8	21408,6	21410,8
62	21436,15	21456,07	21446,96	21439,13	263	21409,1	21403,6	21408,7	21412,2
63	21443,50	21470,32	21447,48	21434,38	264	21413,1	21413,1	21409,6	21408,9
64	21430,58	21441,47	21444,80	21443,06	265	21407,6	21412,7	21409,0	21409,4
65	21441,66	21454,38	21445,53	21437,48	266	21407,2	21408,4	21408,8	21409,7
66	21439,21	21451,76	21444,95	21438,00	267	21407,7	21403,4	21408,7	21411,4
67	21440,23	21458,96	21444,87	21435,38	268	21413,6	21418,4	21409,6	21407,2
68	21439,91	21453,69	21444,40	21437,88	269	21403,4	21406,4	21408,0	21410,0
69	21440,83	21455,00	21443,92	21436,19	270	21406,1	21404,8	21407,9	21410,1
70	21436,57	21452,90	21442,73	21436,20	271	21407,1	21405,2	21408,1	21410,7
71	21436,08	21452,10	21441,90	21434,21	272	21409,7	21409,7	21408,5	21409,4
72	21434,58	21445,46	21441,19	21436,29	273	21406,1	21407,4	21408,1	21410,3
73	21435,82	21452,36	21441,04	21433,98	274	21407,6	21408,5	21408,1	21408,9

Anexo E – Travel Distance Stats

IT.	avg. EXECUTED	avg. WORST	avg. AVG	avg. BEST	IT.	avg. EXECUTED	avg. WORST	avg. AVG	avg. BEST
74	21433,07	21442,01	21440,23	21435,21	275	21406,2	21404,8	21407,9	21410,3
75	21434,74	21443,85	21440,09	21437,17	276	21408,8	21407,9	21408,3	21408,6
76	21440,71	21457,76	21440,73	21431,80	277	21406,1	21405,9	21408,1	21409,9
77	21428,70	21431,83	21438,45	21438,77	278	21409,9	21408,8	21408,7	21409,7
78	21442,68	21452,11	21440,12	21431,60	279	21408,9	21413,5	21408,6	21408,7
79	21431,41	21436,25	21438,65	21438,81	280	21404,6	21407,3	21407,8	21409,2
80	21441,05	21451,12	21439,72	21431,33	281	21406,9	21406,0	21408,0	21409,4
81	21433,77	21438,75	21438,64	21438,60	282	21406,6	21406,6	21407,9	21409,7
82	21439,95	21443,59	21439,15	21436,13	283	21406,9	21405,0	21408,0	21410,1
83	21439,30	21452,09	21439,22	21432,68	284	21411,2	21409,1	21408,7	21408,8
84	21433,01	21446,38	21437,77	21433,26	285	21409,5	21411,0	21408,6	21409,2
85	21432,61	21444,80	21436,98	21432,51	286	21407,7	21410,1	21408,2	21408,5
86	21430,74	21435,15	21436,31	21436,51	287	21405,2	21405,6	21407,7	21410,1
87	21435,40	21450,90	21436,79	21430,94	288	21405,7	21404,4	21407,6	21409,3
88	21428,15	21429,98	21435,43	21437,70	289	21407,8	21407,2	21407,9	21408,4
89	21434,47	21436,62	21435,91	21434,63	290	21407,2	21406,1	21407,9	21410,0
90	21436,58	21447,79	21436,50	21431,31	291	21407,7	21406,2	21408,0	21409,5
91	21427,96	21436,74	21434,96	21434,85	292	21406,9	21408,1	21407,9	21408,6
92	21431,38	21436,94	21434,83	21435,60	293	21407,3	21406,3	21408,1	21409,4
93	21431,71	21434,27	21434,68	21436,46	294	21407,3	21410,8	21408,0	21408,0
94	21435,14	21442,77	21435,14	21431,39	295	21403,4	21405,5	21407,3	21409,1
95	21429,46	21432,33	21434,16	21435,53	296	21406,0	21405,0	21407,6	21409,5
96	21431,96	21440,69	21434,26	21431,77	297	21406,6	21404,6	21407,7	21409,2
97	21428,32	21428,80	21433,56	21437,06	298	21407,5	21404,9	21407,9	21409,6
98	21436,15	21442,89	21434,61	21429,71	299	21407,0	21406,3	21407,9	21408,9
99	21426,31	21429,77	21432,97	21435,30	300	21409,2	21412,2	21408,2	21407,4
100	21435,39	21439,40	21434,06	21431,09	301	21403,8	21407,6	21407,4	21408,0
101	21431,50	21438,08	21433,65	21431,89	302	21403,5	21402,4	21407,0	21408,4
102	21430,92	21437,94	21433,59	21431,92	303	21407,7	21406,4	21407,7	21408,2
103	21430,42	21439,19	21433,13	21430,91	304	21407,7	21408,7	21407,8	21406,9
104	21427,06	21438,87	21432,40	21430,65	305	21404,6	21404,6	21407,4	21408,0
105	21426,67	21437,28	21431,85	21429,73	306	21408,6	21409,3	21408,0	21407,3
106	21424,49	21434,69	21431,27	21430,26	307	21406,7	21406,6	21407,8	21408,0
107	21426,44	21428,60	21430,98	21432,97	308	21408,7	21410,9	21408,1	21406,8
108	21430,55	21436,29	21431,50	21430,28	309	21406,1	21407,1	21407,7	21407,6
109	21428,20	21436,31	21431,18	21429,38	310	21406,2	21405,7	21407,6	21407,7
110	21427,78	21434,61	21430,98	21429,82	311	21406,7	21406,3	21407,7	21408,0
111	21426,32	21434,66	21430,43	21428,95	312	21409,0	21406,7	21408,0	21407,8
112	21423,93	21430,76	21429,90	21430,80	313	21410,3	21412,2	21408,2	21407,0

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

IT.	avg. EXECUTED	avg. WORST	avg. AVG	avg. BEST	IT.	avg. EXECUTED	avg. WORST	avg. AVG	avg. BEST
113	21428,06	21436,79	21430,28	21427,72	314	21405,9	21409,5	21407,6	21406,9
114	21422,97	21428,58	21429,18	21428,85	315	21405,2	21403,7	21407,3	21408,2
115	21423,20	21430,92	21428,93	21428,69	316	21409,2	21411,6	21407,8	21406,6
116	21424,61	21435,69	21428,78	21426,26	317	21405,0	21407,6	21407,2	21407,3
117	21421,05	21432,99	21427,85	21426,01	318	21407,7	21407,1	21407,6	21407,4
118	21418,32	21422,34	21426,95	21430,44	319	21406,5	21405,8	21407,3	21407,5
119	21425,50	21435,39	21427,69	21424,85	320	21407,4	21405,9	21407,5	21408,6
120	21419,28	21426,22	21426,63	21428,59	321	21407,7	21403,6	21407,6	21409,1
121	21422,12	21424,86	21426,53	21428,79	322	21413,2	21411,5	21408,7	21407,9
122	21427,17	21437,77	21427,36	21423,68	323	21408,1	21408,4	21408,2	21408,4
123	21417,62	21420,77	21425,61	21429,32	324	21409,7	21411,4	21408,4	21407,0
124	21423,29	21425,27	21426,13	21427,59	325	21406,2	21405,9	21407,8	21409,0
125	21423,39	21424,24	21426,32	21428,40	326	21409,6	21412,5	21408,1	21406,7
126	21424,90	21432,17	21426,50	21424,62	327	21403,1	21403,9	21407,1	21408,3
127	21419,87	21420,17	21425,60	21427,31	328	21408,2	21405,9	21407,8	21408,1
128	21424,95	21425,78	21426,19	21426,62	329	21409,1	21407,2	21408,0	21408,4
129	21421,46	21419,72	21425,75	21428,24	330	21407,7	21406,2	21408,0	21408,7
130	21425,83	21430,50	21426,50	21423,55	331	21410,1	21409,9	21408,4	21407,7
131	21419,49	21422,63	21425,42	21426,72	332	21406,8	21409,5	21407,9	21407,3
132	21422,70	21427,05	21425,70	21423,94	333	21406,1	21406,8	21407,7	21407,8
133	21420,66	21425,80	21425,33	21424,68	334	21407,6	21406,0	21407,8	21408,1
134	21418,82	21423,75	21424,71	21424,57	335	21408,3	21405,3	21407,9	21409,1
135	21419,42	21420,67	21424,62	21425,71	336	21409,9	21407,4	21408,2	21408,6
136	21424,61	21432,87	21425,29	21421,17	337	21409,5	21408,4	21408,1	21407,9
137	21417,02	21426,26	21424,08	21423,13	338	21408,8	21408,5	21408,0	21408,3
138	21417,14	21420,11	21423,49	21424,86	339	21408,0	21406,2	21408,0	21408,7
139	21423,19	21428,61	21424,25	21421,44	340	21410,3	21409,1	21408,2	21407,4
140	21418,68	21425,99	21423,61	21421,63	341	21408,7	21406,7	21408,1	21408,1
141	21417,30	21420,83	21422,89	21423,61	342	21409,4	21408,5	21408,3	21408,1
142	21421,16	21427,48	21423,26	21420,76	343	21408,4	21406,8	21408,2	21408,2
143	21417,36	21420,89	21422,60	21423,19	344	21410,4	21406,3	21408,5	21409,3
144	21421,81	21427,84	21423,08	21419,57	345	21410,2	21409,2	21408,7	21408,3
145	21413,99	21413,07	21421,79	21424,95	346	21410,6	21413,0	21408,9	21407,6
146	21421,83	21423,98	21422,74	21421,43	347	21406,3	21408,4	21408,3	21408,3
147	21419,67	21427,54	21422,59	21420,20	348	21406,1	21403,8	21408,1	21409,4
148	21416,82	21423,62	21421,87	21421,44	349	21411,8	21410,7	21409,0	21408,1
149	21416,69	21424,26	21421,55	21420,38	350	21408,4	21410,2	21408,7	21407,7
150	21415,69	21423,02	21421,16	21420,23	351	21407,5	21407,6	21408,5	21408,8
151	21413,10	21410,57	21420,41	21424,45	352	21407,2	21405,6	21408,4	21409,6

Anexo E – Travel Distance Stats

IT.	avg. EXECUTED	avg. WORST	avg. AVG	avg. BEST	IT.	avg. EXECUTED	avg. WORST	avg. AVG	avg. BEST
152	21421,56	21422,97	21421,73	21420,48	353	21411,3	21409,5	21409,1	21408,7
153	21418,68	21425,09	21421,41	21420,77	354	21410,0	21410,0	21409,2	21408,5
154	21417,32	21426,54	21421,13	21418,83	355	21409,8	21412,8	21409,2	21407,5
155	21412,58	21414,96	21420,02	21423,45	356	21404,5	21405,2	21408,2	21409,8
156	21418,91	21425,02	21420,78	21419,09	357	21407,6	21405,7	21408,6	21409,1
157	21415,79	21423,66	21420,42	21420,42	358	21408,5	21406,0	21408,9	21409,6
158	21414,67	21423,38	21420,00	21420,17	359	21409,4	21408,6	21409,2	21409,1
159	21418,15	21425,32	21420,14	21417,61	360	21409,9	21412,0	21409,3	21408,3
160	21414,66	21416,95	21419,26	21420,53	361	21405,3	21405,4	21408,6	21409,0
161	21417,62	21421,09	21419,54	21419,40	362	21409,7	21408,4	21409,3	21409,1
162	21416,37	21417,92	21419,19	21420,39	363	21411,2	21412,4	21409,5	21407,8
163	21419,18	21423,74	21419,58	21417,83	364	21405,8	21405,6	21408,7	21410,1
164	21416,81	21425,21	21419,20	21416,97	365	21407,4	21405,6	21408,8	21409,5
165	21412,67	21417,10	21418,13	21419,69	366	21411,5	21408,9	21409,5	21408,5
166	21415,90	21417,28	21418,29	21418,69	367	21409,8	21412,7	21409,6	21408,3
167	21418,97	21429,57	21418,86	21414,04	368	21406,0	21407,6	21408,9	21410,0
168	21408,62	21417,17	21417,10	21419,80	369	21407,4	21403,8	21408,9	21410,1
169	21413,95	21423,30	21417,21	21415,24	370	21410,2	21406,8	21409,3	21410,0
170	21408,12	21414,15	21415,98	21419,33	371	21411,0	21412,2	21409,7	21408,6
171	21415,31	21418,35	21416,69	21416,28	372	21407,2	21408,0	21409,2	21409,2
172	21414,26	21419,45	21416,46	21416,66	373	21408,4	21406,0	21409,2	21410,2
173	21412,61	21417,20	21416,26	21416,89	374	21409,2	21408,0	21409,5	21409,7
174	21413,82	21420,02	21416,24	21415,76	375	21409,5	21409,7	21409,7	21409,3
175	21412,67	21417,08	21415,94	21416,58	376	21409,5	21408,6	21409,6	21409,1
176	21413,26	21413,19	21415,91	21418,15	377	21410,1	21410,7	21409,7	21408,3
177	21417,35	21421,78	21416,38	21414,49	378	21409,0	21410,0	21409,4	21408,2
178	21412,09	21418,60	21415,52	21414,96	379	21408,2	21406,3	21409,2	21409,2
179	21409,14	21412,67	21414,77	21416,96	380	21409,0	21408,3	21409,3	21408,8
180	21411,90	21417,55	21414,80	21415,00	381	21409,9	21407,5	21409,5	21409,3
181	21411,09	21414,90	21414,57	21415,79	382	21410,3	21410,2	21409,6	21408,6
182	21410,77	21413,76	21414,18	21416,43	383	21410,5	21408,9	21409,7	21408,4
183	21410,81	21411,43	21414,05	21416,33	384	21412,3	21410,9	21410,0	21408,8
184	21414,67	21418,17	21414,56	21414,06	385	21409,9	21412,1	21409,6	21408,1
185	21410,61	21415,05	21414,07	21414,40	386	21406,9	21408,0	21409,0	21408,6
186	21411,81	21412,30	21414,07	21416,24	387	21407,3	21405,3	21409,0	21409,3
187	21413,38	21417,03	21414,26	21414,65	388	21411,3	21409,0	21409,6	21408,1
188	21407,85	21412,30	21413,35	21414,60	389	21409,8	21409,3	21409,6	21408,1
189	21408,53	21407,07	21412,99	21416,44	390	21408,7	21409,0	21409,5	21407,9
190	21413,47	21411,67	21413,77	21415,41	391	21408,2	21406,8	21409,4	21408,5

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

IT.	avg. EXECUTED	avg. WORST	avg. AVG	avg. BEST	IT.	avg. EXECUTED	avg. WORST	avg. AVG	avg. BEST
191	21414,17	21420,81	21414,00	21412,77	392	21411,6	21411,4	21409,8	21407,1
192	21406,97	21409,27	21412,71	21416,08	393	21407,9	21405,7	21409,4	21409,1
193	21410,36	21409,79	21412,70	21414,94	394	21411,2	21408,0	21409,9	21408,9
194	21410,45	21413,79	21412,76	21413,51	395	21411,7	21410,6	21410,2	21407,6
195	21408,44	21411,15	21412,33	21413,72	396	21411,6	21413,0	21410,2	21407,0
196	21409,86	21410,34	21412,50	21414,25	397	21408,9	21410,2	21409,9	21407,5
197	21410,83	21409,44	21412,78	21414,88	398	21411,8	21410,7	21410,3	21408,0
198	21413,44	21416,58	21413,25	21412,54	399	21411,3	21413,6	21410,3	21407,6
199	21408,84	21410,70	21412,52	21415,01	400	21409,4	21411,6	21410,0	21407,8
200	21409,02	21403,63	21412,27	21416,46					

Anexo F

Trip Durations

IT.	trip_duration	IT.	trip_duration	IT.	trip_duration	IT.	trip_duration
0	2646,02	101	1151,88	201	1077,09	301	1018,59
1	2255,76	102	1134,92	202	1081,07	302	1018,06
2	1974,94	103	1134,86	203	1077,67	303	1015,30
3	1771,93	104	1139,55	204	1077,39	304	1016,60
4	1617,55	105	1132,25	205	1075,17	305	1017,28
5	1501,92	106	1142,68	206	1073,43	306	1014,12
6	1412,88	107	1135,11	207	1071,36	307	1021,01
7	1348,95	108	1134,88	208	1069,54	308	1017,13
8	1316,47	109	1132,73	209	1073,63	309	1013,42
9	1281,99	110	1137,30	210	1075,46	310	1014,38
10	1248,06	111	1127,34	211	1078,79	311	1013,37
11	1236,78	112	1138,81	212	1067,70	312	1011,52
12	1231,47	113	1128,88	213	1079,49	313	1012,90
13	1213,99	114	1142,33	214	1066,55	314	1008,63
14	1204,15	115	1124,81	215	1075,78	315	1012,45
15	1203,78	116	1132,73	216	1065,09	316	1010,45
16	1194,98	117	1123,64	217	1068,61	317	1011,28
17	1192,94	118	1130,84	218	1057,24	318	1007,34
18	1197,28	119	1125,88	219	1065,09	319	1012,71
19	1212,89	120	1118,92	220	1064,23	320	1001,46
20	1194,62	121	1127,05	221	1068,98	321	1016,07
21	1195,84	122	1124,06	222	1061,51	322	1006,51
22	1195,22	123	1131,47	223	1058,51	323	1006,22
23	1199,59	124	1113,72	224	1080,24	324	1002,81
24	1187,67	125	1124,76	225	1059,24	325	1004,75
25	1195,20	126	1129,04	226	1067,44	326	1008,17
26	1199,00	127	1138,82	227	1060,41	327	1003,51
27	1183,48	128	1115,22	228	1054,10	328	1002,49
28	1186,63	129	1127,90	229	1057,47	329	1000,71
29	1176,18	130	1117,76	230	1062,52	330	1001,86
30	1184,57	131	1119,52	231	1057,94	331	1000,00
31	1180,75	132	1118,68	232	1052,68	332	1006,96
32	1194,25	133	1118,06	233	1059,81	333	1004,41
33	1175,21	134	1111,36	234	1056,20	334	1002,39
34	1184,99	135	1129,69	235	1058,78	335	998,80
35	1180,97	136	1121,45	236	1045,15	336	997,30

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

IT.	trip_duration	IT.	trip_duration	IT.	trip_duration	IT.	trip_duration
36	1179,47	137	1113,90	237	1051,70	337	998,16
37	1184,30	138	1114,89	238	1050,61	338	1002,18
38	1175,99	139	1113,86	239	1066,21	339	996,26
39	1179,09	140	1112,26	240	1046,99	340	997,18
40	1174,48	141	1105,55	241	1047,93	341	997,44
41	1182,09	142	1115,49	242	1047,52	342	992,55
42	1176,87	143	1107,72	243	1055,43	343	999,89
43	1167,09	144	1108,69	244	1063,72	344	994,08
44	1178,16	145	1125,95	245	1047,88	345	996,07
45	1171,86	146	1110,26	246	1048,23	346	996,71
46	1178,49	147	1115,04	247	1048,43	347	990,25
47	1172,11	148	1100,05	248	1047,89	348	999,25
48	1180,95	149	1112,98	249	1055,80	349	992,01
49	1170,14	150	1103,01	250	1045,83	350	988,77
50	1172,93	151	1117,90	251	1047,62	351	991,39
51	1166,33	152	1102,17	252	1053,27	352	995,90
52	1167,82	153	1109,42	253	1044,86	353	992,85
53	1164,85	154	1103,01	254	1052,40	354	993,08
54	1171,82	155	1106,94	255	1038,59	355	991,35
55	1158,05	156	1102,22	256	1040,82	356	989,47
56	1173,10	157	1106,33	257	1037,32	357	992,20
57	1164,26	158	1112,56	258	1047,86	358	989,34
58	1159,30	159	1098,78	259	1043,50	359	991,05
59	1162,40	160	1106,16	260	1039,77	360	993,09
60	1165,17	161	1095,86	261	1055,41	361	992,41
61	1156,84	162	1105,20	262	1034,90	362	990,88
62	1161,19	163	1099,61	263	1040,04	363	993,03
63	1164,41	164	1101,67	264	1033,66	364	984,80
64	1168,85	165	1097,98	265	1035,93	365	993,25
65	1153,68	166	1100,14	266	1034,38	366	985,13
66	1169,62	167	1098,86	267	1039,23	367	986,98
67	1157,28	168	1095,20	268	1039,20	368	982,44
68	1159,06	169	1097,78	269	1031,72	369	987,80
69	1148,52	170	1099,09	270	1035,64	370	985,03
70	1161,21	171	1095,26	271	1033,74	371	984,26
71	1156,51	172	1101,73	272	1035,32	372	986,45
72	1158,36	173	1094,55	273	1038,88	373	982,90
73	1151,36	174	1096,21	274	1035,79	374	981,74
74	1160,04	175	1095,22	275	1035,15	375	991,69

Anexo F – Ttrip durations

IT.	trip_duration	IT.	trip_duration	IT.	trip_duration	IT.	trip_duration
75	1153,61	176	1097,39	276	1030,22	376	980,23
76	1154,13	177	1090,45	277	1037,80	377	981,77
77	1168,47	178	1091,98	278	1029,91	378	984,14
78	1151,14	179	1089,58	279	1035,09	379	983,21
79	1155,15	180	1095,36	280	1032,97	380	991,28
80	1147,17	181	1088,43	281	1030,98	381	981,40
81	1153,12	182	1082,38	282	1023,32	382	981,85
82	1141,68	183	1090,89	283	1030,67	383	986,51
83	1148,93	184	1089,11	284	1024,84	384	987,81
84	1151,12	185	1094,40	285	1028,53	385	982,16
85	1148,26	186	1083,97	286	1030,75	386	980,69
86	1148,76	187	1092,10	287	1024,74	387	985,04
87	1150,23	188	1086,82	288	1031,97	388	980,42
88	1154,94	189	1086,51	289	1024,30	389	984,05
89	1155,08	190	1089,32	290	1022,91	390	980,51
90	1147,37	191	1090,54	291	1024,88	391	982,02
91	1145,96	192	1082,04	292	1039,10	392	978,22
92	1139,75	193	1078,20	293	1019,39	393	982,26
93	1160,08	194	1080,16	294	1024,01	394	976,59
94	1133,78	195	1080,27	295	1021,20	395	976,02
95	1139,30	196	1080,75	296	1015,26	396	976,66
96	1145,32	197	1076,43	297	1021,81	397	982,88
97	1145,16	198	1080,79	298	1015,03	398	977,15
98	1138,59	199	1074,65	299	1023,22	399	977,79
99	1137,19	200	1089,15	300	1020,81	400	976,15
100	1134,86						

Anexo G

Índices de Serviços calculados

ALVALADE					
ID Subsecção	Índice Serviços	P(x)	ID Subsecção	Índice Serviços	P(x)
11060400101	12,80	0,0872	11060401101	1,20	0,0082
11060400201	7,20	0,0490	11060401102	3,20	0,0218
11060400301	5,80	0,0395	11060401201	6,40	0,0436
11060400302	2,40	0,0163	11060401202	2,40	0,0163
11060400401	10,40	0,0708	11060401203	5,60	0,0381
11060400402	0,80	0,0054	11060401301	5,80	0,0395
11060400501	0,00	0,0000	11060401302	0,00	0,0000
11060400502	0,00	0,0000	11060401401	0,00	0,0000
11060400503	0,80	0,0054	11060401402	5,60	0,0381
11060400601	9,60	0,0654	11060401501	0,80	0,0054
11060400602	0,80	0,0054	11060401502	4,20	0,0286
11060400603	3,20	0,0218	11060401601	1,00	0,0068
11060400604	17,60	0,1199	11060401602	3,40	0,0232
11060400701	0,00	0,0000	11060401603	16,80	0,1144
11060400801	1,60	0,0109	11060401604	0,00	0,0000
11060400901	11,40	0,0777	11060401701	4,80	0,0327
11060401001	1,00	0,0068	11060401702	0,20	0,0014
Total				146,80	1,0000

NOSSA SENHORA DE FATIMA					
ID Subsecção	Índice Serviços	P(x)	ID Subsecção	Índice Serviços	P(x)
11062300101	6,60	0,0153	11062301701	2,60	0,0060
11062300102	6,60	0,0153	11062301702	1,00	0,0023
11062300103	5,00	0,0116	11062301703	1,00	0,0023
11062300104	3,40	0,0079	11062301801	12,20	0,0283
11062300201	0,20	0,0005	11062301802	1,00	0,0023
11062300301	10,60	0,0245	11062301803	3,40	0,0079
11062300302	9,80	0,0227	11062301901	4,20	0,0097
11062300303	6,60	0,0153	11062301902	9,00	0,0208
11062300304	0,20	0,0005	11062301903	2,60	0,0060
11062300305	3,40	0,0079	11062301904	6,60	0,0153
11062300401	0,20	0,0005	11062301905	10,60	0,0245
11062300402	8,20	0,0190	11062302001	3,40	0,0079
11062300403	0,20	0,0005	11062302002	5,80	0,0134
11062300404	1,80	0,0042	11062302101	2,60	0,0060
11062300405	4,20	0,0097	11062302102	10,60	0,0245
11062300501	2,60	0,0060	11062302201	0,20	0,0005
11062300502	0,20	0,0005	11062302202	8,20	0,0190
11062300601	1,00	0,0023	11062302203	9,80	0,0227
11062300602	0,20	0,0005	11062302204	5,00	0,0116
11062300603	2,60	0,0060	11062302301	19,40	0,0449
11062300701	5,00	0,0116	11062302302	7,40	0,0171

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

NOSSA SENHORA DE FATIMA					
ID Subsecção	Índice Serviços	P(x)	ID Subsecção	Índice Serviços	P(x)
11062300801	0,20	0,0005	11062302401	5,00	0,0116
11062300802	2,60	0,0060	11062302402	5,00	0,0116
11062300901	6,60	0,0153	11062302501	1,80	0,0042
11062300902	0,20	0,0005	11062302502	11,40	0,0264
11062301001	7,40	0,0171	11062302601	0,20	0,0005
11062301002	4,20	0,0097	11062302602	0,20	0,0005
11062301003	5,00	0,0116	11062302603	0,20	0,0005
11062301004	1,80	0,0042	11062302604	9,80	0,0227
11062301101	9,00	0,0208	11062302701	5,00	0,0116
11062301102	16,20	0,0375	11062302702	2,60	0,0060
11062301103	2,60	0,0060	11062302801	3,40	0,0079
11062301201	5,00	0,0116	11062302802	0,20	0,0005
11062301202	0,20	0,0005	11062302901	0,20	0,0005
11062301203	5,00	0,0116	11062302902	0,20	0,0005
11062301301	5,80	0,0134	11062303001	2,60	0,0060
11062301302	4,20	0,0097	11062303002	1,00	0,0023
11062301303	0,20	0,0005	11062303101	5,80	0,0134
11062301401	7,40	0,0171	11062303201	3,40	0,0079
11062301402	1,80	0,0042	11062303202	23,40	0,0542
11062301403	8,20	0,0190	11062303301	7,40	0,0171
11062301501	1,80	0,0042	11062303401	0,20	0,0005
11062301502	4,20	0,0097	11062303501	1,80	0,0042
11062301503	1,00	0,0023	11062303502	4,20	0,0097
11062301601	2,60	0,0060	11062303601	26,60	0,0616
11062301602	1,80	0,0042			
Total				431,80	1,0000

SÃO JORGE DE ARROIOS					
ID Subsecção	Índice Serviços	P(x)	ID Subsecção	Índice Serviços	P(x)
11064400101	1,60	0,0030	11064401901	11,40	0,0212
11064400102	2,40	0,0045	11064402001	8,00	0,0149
11064400103	4,20	0,0078	11064402101	0,00	0,0000
11064400201	5,80	0,0108	11064402102	4,80	0,0089
11064400202	7,20	0,0134	11064402201	50,00	0,0929
11064400203	8,40	0,0156	11064402301	12,00	0,0223
11064400204	11,60	0,0216	11064402401	17,60	0,0327
11064400301	9,80	0,0182	11064402402	16,80	0,0312
11064400302	4,20	0,0078	11064402501	0,00	0,0000
11064400401	3,40	0,0063	11064402502	16,00	0,0297
11064400501	1,60	0,0030	11064402601	15,20	0,0283
11064400502	0,80	0,0015	11064402701	14,40	0,0268
11064400601	14,40	0,0268	11064402702	2,40	0,0045
11064400602	0,20	0,0004	11064402703	1,60	0,0030
11064400603	8,20	0,0152	11064402801	1,20	0,0022
11064400701	3,00	0,0056	11064402802	17,60	0,0327

Anexo G – Índices de Serviços calculados

SÃO JORGE DE ARROIOS					
ID Subsecção	Índice Serviços	P(x)	ID Subsecção	Índice Serviços	P(x)
11064400801	7,00	0,0130	11064402901	15,00	0,0279
11064400802	10,40	0,0193	11064402902	9,60	0,0178
11064400803	10,40	0,0193	11064402903	17,00	0,0316
11064400901	6,40	0,0119	11064403001	6,60	0,0123
11064400902	1,00	0,0019	11064403101	6,40	0,0119
11064401001	9,00	0,0167	11064403102	3,20	0,0059
11064401002	4,60	0,0086	11064403103	0,00	0,0000
11064401101	3,20	0,0059	11064403201	0,00	0,0000
11064401102	7,20	0,0134	11064403301	4,80	0,0089
11064401201	2,00	0,0037	11064403302	9,00	0,0167
11064401202	1,80	0,0033	11064403401	6,40	0,0119
11064401203	6,40	0,0119	11064403402	4,80	0,0089
11064401301	5,20	0,0097	11064403501	1,80	0,0033
11064401302	0,00	0,0000	11064403502	9,80	0,0182
11064401401	5,80	0,0108	11064403601	0,80	0,0015
11064401501	8,00	0,0149	11064403602	3,20	0,0059
11064401502	1,00	0,0019	11064403701	2,00	0,0037
11064401601	17,20	0,0320	11064403702	13,80	0,0257
11064401602	10,40	0,0193	11064403703	0,80	0,0015
11064401701	5,00	0,0093	11064403801	0,00	0,0000
11064401702	5,60	0,0104	11064403901	5,60	0,0104
11064401801	6,60	0,0123	11064403902	4,80	0,0089
11064401802	0,00	0,0000	11064403903	2,60	0,0048
Total				538,00	1,0000

SÃO JOAO DE DEUS					
ID Subsecção	Índice Serviços	P(x)	ID Subsecção	Índice Serviços	P(x)
11064300101	9,00	0,0441	11064301601	0,00	0,0000
11064300102	4,00	0,0196	11064301602	0,00	0,0000
11064300201	5,00	0,0245	11064301603	0,00	0,0000
11064300301	13,80	0,0676	11064301604	0,00	0,0000
11064300401	0,00	0,0000	11064301605	0,00	0,0000
11064300402	8,80	0,0431	11064301606	0,00	0,0000
11064300501	0,00	0,0000	11064301607	0,00	0,0000
11064300502	0,00	0,0000	11064301608	0,00	0,0000
11064300601	0,80	0,0039	11064301609	0,00	0,0000
11064300602	0,00	0,0000	11064301610	0,00	0,0000
11064300701	1,80	0,0088	11064301611	0,00	0,0000
11064300702	0,80	0,0039	11064301612	0,00	0,0000
11064300801	0,00	0,0000	11064301613	0,00	0,0000
11064300901	0,00	0,0000	11064301614	0,00	0,0000
11064300902	0,00	0,0000	11064301615	0,00	0,0000
11064301001	2,60	0,0127	11064301616	18,00	0,0881
11064301101	0,80	0,0039	11064301617	13,80	0,0676
11064301201	0,00	0,0000	11064301618	0,00	0,0000

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

SÃO JOAO DE DEUS					
ID Subsecção	Indice Serviços	P(x)	ID Subsecção	Indice Serviços	P(x)
11064301202	0,00	0,0000	11064301619	0,20	0,0010
11064301301	0,00	0,0000	11064301620	0,00	0,0000
11064301401	0,00	0,0000	11064301621	6,80	0,0333
11064301402	0,00	0,0000	11064301622	1,00	0,0049
11064301403	0,00	0,0000	11064301623	15,80	0,0774
11064301501	0,00	0,0000	11064301624	4,00	0,0196
11064301502	0,80	0,0039	11064301625	8,00	0,0392
11064301503	0,20	0,0010	11064301626	9,00	0,0441
11064301504	0,80	0,0039	11064301627	4,00	0,0196
11064301505	0,00	0,0000	11064301628	2,40	0,0118
11064301506	0,00	0,0000	11064301629	0,80	0,0039
11064301507	0,00	0,0000	11064301701	4,80	0,0235
11064301508	0,00	0,0000	11064301801	4,00	0,0196
11064301509	0,80	0,0039	11064301901	4,00	0,0196
11064301510	18,40	0,0901	11064301902	2,40	0,0118
11064301511	0,80	0,0039	11064301903	1,60	0,0078
11064301512	0,00	0,0000	11064301904	1,60	0,0078
11064301513	0,00	0,0000	11064301905	28,00	0,1371
11064301514	0,80	0,0039	11064302001	2,40	0,0118
11064301515	0,00	0,0000	11064302002	1,60	0,0078
Total				204,20	1,0000

SÃO SEBASTIAO DA PEDREIRA					
ID Subsecção	Indice Serviços	P(x)	ID Subsecção	Indice Serviços	P(x)
11065000101	3,60	0,0175	11065000703	6,20	0,0302
11065000102	0,20	0,0010	11065000704	4,60	0,0224
11065000201	0,00	0,0000	11065000801	0,00	0,0000
11065000202	7,20	0,0351	11065000802	11,40	0,0555
11065000203	4,60	0,0224	11065000901	1,40	0,0068
11065000204	5,60	0,0273	11065000902	7,40	0,0360
11065000301	8,00	0,0389	11065001001	0,80	0,0039
11065000302	7,60	0,0370	11065001002	4,60	0,0224
11065000401	5,60	0,0273	11065001101	5,60	0,0273
11065000402	0,20	0,0010	11065001102	3,60	0,0175
11065000403	3,40	0,0166	11065001201	18,20	0,0886
11065000404	10,40	0,0506	11065001202	3,40	0,0166
11065000405	1,80	0,0088	11065001203	3,80	0,0185
11065000406	5,60	0,0273	11065001204	9,80	0,0477
11065000407	2,60	0,0127	11065001205	5,00	0,0243
11065000501	5,80	0,0282	11065001301	0,00	0,0000
11065000502	5,80	0,0282	11065001302	1,60	0,0078
11065000503	0,00	0,0000	11065001303	1,60	0,0078
11065000504	1,80	0,0088	11065001401	0,20	0,0010
11065000505	0,20	0,0010	11065001402	4,60	0,0224
11065000601	3,20	0,0156	11065001501	0,20	0,0010
11065000602	2,40	0,0117	11065001502	6,60	0,0321

Anexo G – Índices de Serviços calculados

SÃO SEBASTIAO DA PEDREIRA					
ID Subsecção	Índice Serviços	P(x)	ID Subsecção	Índice Serviços	P(x)
11065000603	3,20	0,0156	11065001503	2,20	0,0107
11065000604	3,40	0,0166	11065001601	0,00	0,0000
11065000701	4,20	0,0204	11065001602	2,40	0,0117
11065000702	3,80	0,0185	11065001603	0,00	0,0000
Total				205,40	1,0000

ZONA E					
Dicofre	Índice Serviços	P(x)	Dicofre	Índice Serviços	P(x)
1114093	306,60	0,0957	1114115	133,80	0,0418
1114034	12,40	0,0039	1114069	207,60	0,0648
1114050	75,40	0,0235	1107135	236,60	0,0739
1114077	30,40	0,0095	1107151	298,40	0,0932
1114042	10,00	0,0031	1107178	106,60	0,0333
1107020	73,60	0,0230	1107011	18,00	0,0056
1114026	369,60	0,1154	1107038	311,00	0,0971
1114107	49,20	0,0154	1107224	96,40	0,0301
1114018	106,60	0,0333	1107127	244,00	0,0762
1114085	156,60	0,0489	1107232	70,60	0,0220
1107160	39,00	0,0122	1107194	5,40	0,0017
			1107097	245,00	0,0765
Total				3202,80	1,0000

ZONA F					
Dicofre	Índice Serviços	P(x)	Dicofre	Índice Serviços	P(x)
1105019	215,60	0,0498	1110080	157,00	0,0363
1105027	170,40	0,0394	1110098	80,00	0,0185
1105035	249,40	0,0577	1110101	63,00	0,0146
1105043	189,20	0,0437	1110110	84,60	0,0196
1105051	186,40	0,0431	1111027	652,60	0,1509
1105060	401,00	0,0927	1111051	81,60	0,0189
1110020	96,60	0,0223	1111086	407,60	0,0942
1110047	246,20	0,0569	1111094	121,40	0,0281
1110055	130,20	0,0301	1111116	73,20	0,0169
1110063	341,40	0,0789	1111124	108,00	0,0250
1110071	51,40	0,0119	1111191	132,40	0,0306
			1111212	85,80	0,0198
Total				4325,00	1,0000

ZONA G					
Dicofre	Índice Serviços	P(x)	Dicofre	Índice Serviços	P(x)
1109049	68,40	0,0095	1116010	184,80	0,0258
1109014	188,20	0,0263	1107240	56,20	0,0078
1109138	79,20	0,0110	1111043	188,20	0,0263
1109057	18,00	0,0025	1116070	254,80	0,0355

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

ZONA G					
Dicofre	Indice Serviços	P(x)	Dicofre	Indice Serviços	P(x)
1109146	4,20	0,0006	1111159	214,00	0,0299
1109090	229,00	0,0319	1116029	110,60	0,0154
1109154	0,80	0,0001	1116061	72,60	0,0101
1109065	205,80	0,0287	1116037	564,60	0,0788
1109073	7,00	0,0010	1116045	84,80	0,0118
1109111	48,00	0,0067	1115103	502,20	0,0701
1109022	5,40	0,0008	1116053	328,20	0,0458
1109162	69,60	0,0097	1111205	23,80	0,0033
1109103	169,40	0,0236	1115022	203,80	0,0284
1109081	29,80	0,0042	1111183	275,40	0,0384
1109170	44,20	0,0062	1115065	178,80	0,0249
1111108	115,20	0,0161	1111078	342,80	0,0478
1109030	17,40	0,0024	1115090	68,80	0,0096
1109120	4,80	0,0007	1115057	185,00	0,0258
1107089	31,00	0,0043	1115081	432,40	0,0603
1107054	15,60	0,0022	1111167	180,20	0,0251
1111132	47,60	0,0066	1111175	75,60	0,0105
1111035	65,60	0,0092	1115111	122,60	0,0171
1111060	26,60	0,0037	1115073	102,60	0,0143
1107143	49,40	0,0069	1115049	223,80	0,0312
1107070	247,20	0,0345	1115030	114,80	0,0160
1111140	65,80	0,0092	1115014	63,40	0,0088
1107062	34,40	0,0048	1110039	126,60	0,0177
Total				7169,00	1,0000

ZONA H			ZONA A		
ObjectID	Indice Serviços	P(x)	Dicofre	Indice Serviços	P(x)
69	703	0,0869	1106333	272,60	0,3056
72	200	0,0247	1106422	178,60	0,2002
80	738,4	0,0913	1106210	193,40	0,2168
82	584,8	0,0723	1106031	103,40	0,1159
83	1705,4	0,2109	1106074	144,00	0,1614
84	769	0,0951	Total	892,00	1,0000
85	1603,6	0,1983			
86	1145,2	0,1416			
87	637,8	0,0789			
Total	8087,20	1,0000			

ZONA B					
Dicofre	Indice Serviços	P(x)	Dicofre	Indice Serviços	P(x)
1106414	227,6000	0,1477	1106457	101,6000	0,0659
1106252	189,4000	0,1229	1106538	74,4000	0,0483
1106066	173,2000	0,1124	1106511	89,6000	0,0581
1106244	134,4000	0,0872	1106384	27,0000	0,0175

Anexo G – Índices de Serviços calculados

ZONA B					
Dicofre	Índice Serviços	P(x)	Dicofre	Índice Serviços	P(x)
1106147	142,6000	0,0925	1106341	17,2000	0,0112
1106295	88,0000	0,0571	1106120	14,6000	0,0095
1106163	57,6000	0,0374	1106368	26,8000	0,0174
1106317	30,8000	0,0200	1106473	74,8000	0,0485
			1106520	71,6000	0,0465
Total				1541,20	1,0000

ZONA C					
Dicofre	Índice Serviços	P(x)	Dicofre	Índice Serviços	P(x)
1106465	171,00	0,0687	1106171	90,20	0,0362
1106023	216,80	0,0871	1106279	62,80	0,0252
1106309	142,60	0,0573	1106481	123,60	0,0497
1106350	272,00	0,1093	1106260	156,40	0,0629
1106015	139,40	0,0560	1106198	29,80	0,0120
1106406	63,80	0,0256	1106201	35,40	0,0142
1106228	122,60	0,0493	1106490	174,60	0,0702
1106287	192,00	0,0772	1106376	167,40	0,0673
1106155	125,60	0,0505	1106325	202,40	0,0813
Total				2488,40	1,0000

ZONA D					
Dicofre	Índice Serviços	P(x)	Dicofre	Índice Serviços	P(x)
1106139	49,8	0,0261	1106082	436,6	0,2288
1106058	141	0,0739	1106090	118,2	0,0619
1106180	381,8	0,2001	1106392	430,8	0,2258
1106112	149,8	0,0785	1106104	200,2	0,1049
Total				1908,20	1,0000

Anexo H

Índices de Produção calculados

ALVALADE											
ID Subsecção	Na freguesia onde reside	Noutra freguesia do município onde reside	Alentejo	Algarve	Centro	Lisboa	Norte	Açores	Madeira	Estrangeiro	Em casa
11060400101	32	181	1	0	6	35	2	1	0	4	19
11060400201	35	223	4	2	2	36	1	0	1	2	19
11060400301	4	18	1	0	0	8	0	0	0	1	3
11060400302	25	74	2	0	1	14	0	0	0	1	7
11060400401	25	77	1	0	3	10	0	0	0	0	4
11060400402	9	64	1	0	0	6	1	0	0	1	5
11060400501	5	38	1	0	0	7	0	0	0	2	4
11060400502	15	57	2	1	0	13	0	0	0	1	10
11060400503	2	10	0	0	1	2	0	0	0	0	1
11060400601	1	6	0	0	0	1	0	0	1	1	1
11060400602	6	52	0	0	0	8	0	0	0	0	6
11060400603	3	3	0	0	0	2	0	0	0	1	0
11060400604	7	67	1	0	1	21	1	0	0	1	9
11060400701	35	170	5	0	2	30	1	0	0	1	13
11060400801	31	157	1	0	1	34	1	0	0	0	22
11060400901	6	44	1	0	0	11	0	0	1	0	6
11060401001	25	162	2	0	0	41	0	0	0	2	24
11060401101	13	62	0	0	1	16	2	0	0	2	6
11060401102	22	73	0	0	0	14	0	0	1	3	7
11060401201	7	56	0	0	0	14	0	0	0	1	1
11060401202	14	65	1	0	2	16	0	1	0	1	5
11060401203	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11060401301	14	61	0	0	2	15	0	0	0	0	8
11060401302	19	82	0	0	1	25	0	0	0	1	8
11060401401	3	7	0	0	1	4	0	0	0	0	2
11060401402	16	93	1	0	0	23	0	0	0	5	10
11060401501	25	109	0	0	0	17	1	0	0	0	14
11060401502	9	50	0	0	2	16	0	0	0	1	7
11060401601	4	32	1	0	1	5	0	0	0	0	1
11060401602	3	24	0	1	0	10	0	0	0	1	4
11060401603	4	27	0	0	0	6	0	0	0	1	3
11060401604	4	32	1	0	0	6	0	0	0	0	3
11060401701	17	103	0	0	2	23	0	0	0	3	11
11060401702	4	17	0	0	0	1	0	0	0	0	4

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

NOSSA SENHORA DE FATIMA											
ID Subsecção	Na freguesia onde reside	Noutra freguesia do município onde reside	Alentejo	Algarve	Centro	Lisboa	Norte	Açores	Madeira	Estrangeiro	Em casa
11062300101	1	22	0	0	0	5	0	0	0	0	3
11062300102	13	44	0	0	0	13	0	0	0	0	2
11062300103	6	23	1	0	0	9	0	0	0	0	3
11062300104	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11062300201	115	286	4	0	3	78	1	0	0	4	32
11062300301	12	23	0	0	0	11	0	0	0	0	8
11062300302	5	18	0	0	0	4	0	0	0	0	0
11062300303	1	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0
11062300304	6	19	0	0	0	5	0	0	0	0	3
11062300305	20	47	1	0	0	11	0	0	0	1	5
11062300401	0	7	0	0	0	4	0	0	0	0	0
11062300402	10	29	0	0	0	8	0	0	0	1	3
11062300403	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11062300404	8	8	0	0	1	4	0	0	0	0	0
11062300405	9	34	1	1	1	6	1	0	0	0	3
11062300501	11	23	0	0	1	7	0	0	0	2	1
11062300502	43	129	1	2	3	42	0	0	0	3	9
11062300601	11	26	1	0	0	1	0	1	0	1	3
11062300602	10	18	0	0	1	7	0	0	0	1	0
11062300603	5	15	0	0	1	4	0	0	0	0	2
11062300701	45	144	1	1	6	35	0	0	0	2	15
11062300801	36	102	0	0	4	18	1	1	0	1	6
11062300802	24	45	2	0	0	15	0	0	0	3	4
11062300901	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11062300902	34	96	2	1	1	20	0	0	0	0	3
11062301001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11062301002	18	54	1	0	1	12	0	0	0	0	12
11062301003	9	26	0	0	1	4	1	0	0	0	0
11062301004	13	48	1	0	1	11	0	0	0	1	4
11062301101	14	50	0	1	0	9	0	0	0	0	4
11062301102	12	47	0	1	0	11	0	0	0	0	3
11062301103	5	6	0	1	0	0	1	0	0	0	0
11062301201	11	34	0	0	0	7	0	0	0	0	4
11062301202	12	44	2	0	0	14	0	0	0	1	4
11062301203	4	14	1	0	0	5	0	0	0	0	1
11062301301	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11062301302	20	34	0	1	0	8	0	0	0	0	3
11062301303	17	66	2	1	0	11	1	0	0	3	7
11062301401	15	49	2	0	0	12	0	0	0	1	7
11062301402	17	31	0	0	1	6	0	0	0	0	1
11062301403	12	25	0	0	1	7	0	0	0	0	2
11062301501	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11062301502	3	22	1	1	1	10	0	0	0	0	2
11062301503	9	38	1	0	1	11	1	0	0	3	3
11062301601	13	35	1	0	0	10	0	0	0	0	3
11062301602	20	70	0	0	1	16	1	0	0	1	5

Anexo H – Índices de Produção calculados

NOSSA SENHORA DE FATIMA											
ID Subsecção	Na freguesia onde reside	Noutra freguesia do município onde reside	Alentejo	Algarve	Centro	Lisboa	Norte	Açores	Madeira	Estrangeiro	Em casa
11062301701	8	59	1	0	1	6	0	0	0	2	2
11062301702	12	41	0	1	0	7	0	0	0	1	6
11062301703	13	36	1	1	1	8	1	0	0	3	6
11062301801	18	31	0	1	1	5	0	0	0	1	6
11062301802	3	7	0	0	0	2	0	0	0	1	1
11062301803	14	28	0	0	1	12	0	0	0	0	5
11062301901	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11062301902	11	51	1	0	0	6	0	0	0	0	5
11062301903	20	44	0	0	0	9	0	0	0	2	2
11062301904	9	19	0	0	1	5	0	0	0	1	0
11062301905	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11062302001	8	30	0	1	0	8	1	0	0	0	5
11062302002	27	87	0	1	1	19	0	0	0	2	9
11062302101	18	41	2	0	1	21	0	0	0	2	4
11062302102	13	37	0	0	1	11	0	0	0	1	4
11062302201	3	11	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11062302202	6	31	1	0	0	5	0	0	0	0	1
11062302203	9	37	0	0	2	8	1	0	0	1	3
11062302204	9	20	0	0	0	5	0	0	0	0	4
11062302301	9	33	0	0	0	2	0	0	0	0	3
11062302302	25	79	1	0	0	18	1	0	0	2	3
11062302401	23	72	1	0	1	15	2	0	0	0	4
11062302402	3	14	1	0	1	2	0	0	0	0	0
11062302501	9	17	0	0	0	6	0	0	0	0	2
11062302502	38	83	0	0	2	20	0	0	0	2	7
11062302601	17	42	1	0	4	13	0	0	0	0	5
11062302602	25	56	2	0	0	13	1	0	0	1	9
11062302603	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11062302604	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11062302701	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0
11062302702	53	104	1	2	1	23	0	0	0	4	7
11062302801	24	44	1	2	0	11	0	0	0	1	8
11062302802	13	51	2	0	0	13	0	0	0	1	2
11062302901	37	107	0	0	1	19	0	0	0	1	13
11062302902	17	54	0	0	1	12	0	0	0	1	3
11062303001	25	65	1	1	0	15	0	0	0	0	6
11062303002	15	58	2	1	1	16	0	0	0	0	7
11062303101	13	30	1	0	0	5	0	0	0	1	5
11062303201	6	26	0	0	1	4	0	0	0	2	2
11062303202	13	25	0	0	1	3	0	0	0	1	1
11062303301	26	57	0	0	1	22	0	0	0	3	11
11062303401	23	68	2	1	0	20	0	0	0	1	8
11062303501	9	30	0	0	0	11	0	0	0	0	2
11062303502	12	47	0	0	0	13	0	0	0	2	1
11062303601	37	102	2	2	0	31	0	0	0	0	8

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

SÃO JORGE DE ARROIOS											
ID Subsecção	Na freguesia onde reside	Noutra freguesia do município onde reside	Alentejo	Algarve	Centro	Lisboa	Norte	Açores	Madeira	Estrangeiro	Em casa
11064400101	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11064400102	12	74	1	0	0	9	0	0	0	1	12
11064400103	25	85	2	0	1	17	0	0	0	2	2
11064400201	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11064400202	12	42	0	0	1	9	0	0	0	2	5
11064400203	20	97	1	0	1	22	0	0	0	3	10
11064400204	11	42	1	0	2	7	0	0	0	1	5
11064400301	17	84	2	0	2	21	0	0	0	0	10
11064400302	14	63	1	0	0	12	0	0	0	0	5
11064400401	33	129	0	0	0	19	0	0	0	2	2
11064400501	29	121	1	0	2	19	1	0	0	3	9
11064400502	21	68	0	0	0	15	0	1	0	0	8
11064400601	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11064400602	13	61	2	0	2	14	0	0	0	0	5
11064400603	13	80	0	0	2	11	0	0	0	0	3
11064400701	40	128	0	0	0	27	2	0	1	3	7
11064400801	31	74	1	1	0	7	1	0	0	0	2
11064400802	9	19	0	0	1	2	0	0	0	1	4
11064400803	7	37	0	0	0	8	0	0	0	0	0
11064400901	7	32	0	0	2	8	0	0	0	0	1
11064400902	33	97	0	0	1	24	0	0	0	1	7
11064401001	14	57	0	0	0	11	0	0	0	1	1
11064401002	14	51	1	0	0	7	0	0	0	0	3
11064401101	15	52	1	0	0	7	0	0	0	1	6
11064401102	16	53	0	0	0	12	0	0	0	0	2
11064401201	14	54	3	0	1	8	0	0	0	0	5
11064401202	6	18	0	0	0	3	1	0	0	1	1
11064401203	16	63	0	0	0	13	0	0	0	2	6
11064401301	3	8	0	0	0	3	0	0	0	0	2
11064401302	5	35	0	0	0	6	0	0	0	1	3
11064401401	27	79	0	0	0	21	0	0	0	1	2
11064401501	8	31	0	0	1	4	0	0	0	0	1
11064401502	31	113	1	0	2	10	1	1	0	0	10
11064401601	10	43	0	0	0	7	0	0	0	0	3
11064401602	33	107	0	1	1	21	0	0	0	4	7
11064401701	26	74	1	1	1	13	0	0	0	3	4
11064401702	28	81	1	0	0	24	1	0	0	1	5
11064401801	14	61	0	0	0	9	0	0	0	0	2
11064401802	20	74	1	0	2	13	0	0	0	0	3
11064401901	40	157	0	0	0	33	0	0	0	1	10
11064402001	31	126	0	0	4	29	0	0	0	1	9
11064402101	24	65	1	0	0	17	1	0	0	1	3
11064402102	19	67	0	0	0	14	0	0	0	0	6

Anexo H – Índices de Produção calculados

SÃO JORGE DE ARROIOS											
ID Subsecção	Na freguesia onde reside	Noutra freguesia do município onde reside	Alentejo	Algarve	Centro	Lisboa	Norte	Açores	Madeira	Estrangeiro	Em casa
11064402201	37	118	0	0	1	21	0	0	0	0	6
11064402301	21	67	0	0	1	13	0	0	0	2	6
11064402401	12	72	0	0	0	9	0	0	0	0	10
11064402402	21	67	1	0	0	14	0	0	0	1	2
11064402501	10	36	1	0	0	12	0	0	0	1	2
11064402502	34	119	1	1	2	25	0	0	0	5	9
11064402601	66	256	1	0	1	49	2	0	0	2	24
11064402701	30	85	0	0	0	22	0	0	0	3	8
11064402702	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11064402703	26	104	0	1	0	24	0	0	0	2	4
11064402801	23	86	0	0	2	12	1	0	0	2	6
11064402802	19	63	0	0	0	19	0	0	0	1	4
11064402901	5	11	0	0	1	2	0	0	0	0	1
11064402902	7	29	1	0	0	11	0	0	1	2	3
11064402903	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11064403001	37	154	2	0	1	26	1	0	0	4	10
11064403101	17	46	1	0	0	10	0	0	0	0	0
11064403102	15	76	2	0	0	11	0	0	0	0	2
11064403103	19	74	1	0	1	16	0	0	0	2	4
11064403201	34	125	3	0	1	22	0	0	0	1	4
11064403301	4	29	0	0	0	5	0	0	0	0	0
11064403302	12	79	1	0	0	14	1	0	0	1	6
11064403401	28	82	1	0	0	21	1	0	0	3	11
11064403402	8	35	0	0	0	5	0	0	0	0	2
11064403501	38	108	1	0	1	18	0	0	0	2	7
11064403502	7	19	0	0	0	11	0	0	0	1	1
11064403601	13	69	0	0	1	14	0	0	0	0	5
11064403602	13	23	2	0	0	10	0	0	0	0	4
11064403701	5	37	0	0	0	9	0	0	0	1	3
11064403702	12	50	0	1	1	10	1	0	0	2	4
11064403703	4	23	0	0	0	1	0	0	0	1	2
11064403801	29	106	0	0	1	18	0	0	0	1	7
11064403901	20	75	0	0	0	14	0	0	0	1	9
11064403902	8	25	0	0	1	7	0	0	0	2	0
11064403903	16	52	1	0	0	13	1	0	0	0	4

SÃO JOAO DE DEUS											
ID Subsecção	Na freguesia onde reside	Noutra freguesia do município onde reside	Alentejo	Algarve	Centro	Lisboa	Norte	Açores	Madeira	Estrangeiro	Em casa
11064300101	8	55	0	1	2	12	0	0	0	1	4
11064300102	7	45	0	0	0	12	1	0	0	1	5
11064300201	27	94	2	0	1	18	0	0	0	4	14
11064300301	34	171	4	2	2	42	1	0	0	5	17
11064300401	17	57	0	0	0	8	0	0	0	0	14

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

SÃO JOAO DE DEUS											
ID Subsecção	Na freguesia onde reside	Noutra freguesia do município onde reside	Alentejo	Algarve	Centro	Lisboa	Norte	Açores	Madeira	Estrangeiro	Em casa
11064300402	6	40	1	0	0	12	0	0	0	0	6
11064300501	4	19	1	0	1	10	0	0	0	0	1
11064300502	9	70	2	0	1	11	0	0	0	0	5
11064300601	13	48	2	0	1	8	1	0	0	3	5
11064300602	17	80	2	0	1	15	0	0	0	0	8
11064300701	16	74	0	0	0	15	0	0	0	1	8
11064300702	8	82	1	0	0	13	1	0	0	0	9
11064300801	30	175	2	0	1	36	0	0	0	2	11
11064300901	6	59	2	0	1	12	1	0	0	1	5
11064300902	15	85	0	0	0	11	0	0	0	1	9
11064301001	19	89	1	0	0	29	0	0	0	5	5
11064301101	30	153	3	0	3	29	0	0	0	4	15
11064301201	18	65	0	1	2	15	0	0	0	0	10
11064301202	18	58	1	0	0	13	0	0	0	1	8
11064301301	25	120	0	0	0	24	0	0	0	3	10
11064301401	27	103	3	0	2	22	0	0	0	2	21
11064301402	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11064301403	2	9	0	0	1	1	0	0	0	1	2
11064301501	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11064301502	0	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0
11064301503	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11064301504	1	10	0	0	1	1	0	0	0	0	2
11064301505	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11064301506	3	13	1	0	0	1	0	0	0	0	1
11064301507	1	7	0	0	0	3	0	0	0	0	2
11064301508	3	3	0	0	0	2	0	0	0	0	2
11064301509	0	7	0	0	0	2	0	0	0	0	1
11064301510	0	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0
11064301511	0	12	0	0	0	1	0	0	0	0	0
11064301512	8	58	0	0	2	11	0	0	0	2	5
11064301513	0	16	0	0	0	3	0	0	0	0	0
11064301514	2	5	0	0	0	3	0	0	0	1	0
11064301515	5	9	1	0	1	2	0	0	0	0	4
11064301601	1	10	0	0	0	3	0	0	0	0	1
11064301602	1	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0
11064301603	2	20	1	0	1	1	1	0	0	0	2
11064301604	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11064301605	1	6	0	0	0	1	0	0	0	0	0
11064301606	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11064301607	4	8	0	0	0	6	0	0	0	0	1
11064301608	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
11064301609	0	6	0	0	0	1	0	0	0	0	2
11064301610	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11064301611	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11064301612	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11064301613	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Anexo H – Índices de Produção calculados

SÃO JOAO DE DEUS											
ID Subsecção	Na freguesia onde reside	Noutra freguesia do município onde reside	Alentejo	Algarve	Centro	Lisboa	Norte	Açores	Madeira	Estrangeiro	Em casa
11064301614	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11064301615	0	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0
11064301616	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11064301617	0	14	0	0	0	1	0	0	0	0	0
11064301618	0	4	0	0	1	3	0	0	0	0	1
11064301619	2	18	0	0	1	6	0	0	0	0	1
11064301620	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11064301621	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11064301622	0	7	0	0	0	2	0	0	0	1	0
11064301623	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11064301624	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11064301625	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11064301626	0	11	0	0	0	3	0	0	0	0	1
11064301627	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11064301628	1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11064301629	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	3
11064301701	35	202	2	0	3	39	0	0	0	5	36
11064301801	23	122	1	0	0	26	2	0	0	0	7
11064301901	27	121	2	0	2	26	0	0	0	5	12
11064301902	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11064301903	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11064301904	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11064301905	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11064302001	15	78	1	0	0	11	0	0	0	3	8
11064302002	18	54	1	0	0	11	1	0	0	0	5

SÃO SEBASTIAO DA PEDREIRA											
ID Subsecção	Na freguesia onde reside	Noutra freguesia do município onde reside	Alentejo	Algarve	Centro	Lisboa	Norte	Açores	Madeira	Estrangeiro	Em casa
11065000101	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11065000102	43	128	3	1	1	27	0	0	0	4	23
11065000201	22	44	1	0	0	6	0	0	0	1	5
11065000202	12	46	0	0	0	12	1	0	0	1	4
11065000203	16	53	0	0	1	3	0	0	0	1	4
11065000204	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11065000301	40	119	1	0	0	21	1	0	0	4	16
11065000302	7	35	0	0	0	4	0	0	0	0	2
11065000401	9	38	1	0	0	16	0	0	0	1	3
11065000402	7	30	0	0	0	4	0	0	0	1	1
11065000403	6	24	0	0	0	4	0	0	0	0	2
11065000404	4	8	0	0	0	2	0	0	0	1	4
11065000405	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11065000406	2	29	2	0	1	3	0	0	0	0	3

Modelos de Simulação em *MATSim* aplicados à análise de Sistemas de Transportes

SÃO SEBASTIAO DA PEDREIRA											
ID Subsecção	Na freguesia onde reside	Noutra freguesia do município onde reside	Alentejo	Algarve	Centro	Lisboa	Norte	Açores	Madeira	Estrangeiro	Em casa
11065000407	0	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0
11065000501	12	22	1	0	0	5	0	0	0	0	5
11065000502	4	30	1	0	0	5	0	0	0	0	4
11065000503	9	31	0	0	0	5	0	0	0	0	3
11065000504	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
11065000505	7	40	0	0	1	5	0	0	0	3	4
11065000601	6	10	0	0	0	0	0	0	0	1	3
11065000602	12	36	2	1	0	12	0	0	0	1	4
11065000603	7	14	1	0	0	5	0	0	0	1	1
11065000604	14	33	0	0	2	8	0	0	0	2	5
11065000701	5	22	0	0	0	1	0	0	0	0	0
11065000702	7	23	2	0	0	2	0	0	0	0	2
11065000703	2	9	0	0	0	2	0	0	0	0	2
11065000704	6	21	2	0	0	3	0	0	0	1	3
11065000801	22	48	0	0	2	7	0	0	0	1	14
11065000802	16	58	0	0	0	10	0	0	0	2	5
11065000901	10	32	1	0	0	8	0	0	0	0	2
11065000902	12	28	1	0	2	10	0	0	0	1	1
11065001001	2	9	0	0	0	4	0	0	0	0	0
11065001002	18	79	1	1	2	19	0	0	1	3	6
11065001101	8	28	1	0	1	6	2	0	0	1	6
11065001102	3	12	1	0	1	5	0	0	0	0	2
11065001201	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11065001202	8	20	0	0	1	8	1	0	0	0	1
11065001203	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11065001204	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11065001205	15	71	2	0	2	7	0	0	0	1	7
11065001301	0	16	0	0	0	3	0	0	0	1	3
11065001302	16	36	1	0	0	11	0	0	0	0	7
11065001303	5	15	0	0	0	4	0	0	0	1	0
11065001401	14	47	3	0	0	6	0	1	0	0	3
11065001402	7	32	1	0	0	6	0	0	0	0	2
11065001501	11	22	0	0	0	7	0	0	0	4	3
11065001502	23	59	0	0	1	11	0	1	0	1	8
11065001503	12	36	1	0	1	4	0	0	0	2	4
11065001601	9	52	0	0	1	8	1	0	0	0	3
11065001602	19	41	1	0	0	4	1	0	0	2	6
11065001603	35	90	3	0	2	14	1	0	0	4	11

Anexo I

Localização dos centróides dentro das cinco freguesias de análise utilizados no modelo



