



**Jorge Filipe Marto
Bandeira**

**Modelo de uso do solo de Aveiro: Impacto na
mobilidade e qualidade do ar**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Sistemas Energéticos Sustentáveis, realizada sob a orientação científica da Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho, Professora Auxiliar Convidada do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro e co-orientada pelo Doutor Carlos Borrego, Professor Catedrático do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

mãe

o júri

presidente

Professor Doutor Nelson Amadeu Dias Martins

professor auxiliar do Departamento de Mecânica da Universidade de Aveiro

Doutora Eng. Elisabete Arsenio

Investigadora Auxiliar no Núcleo de Planeamento, Tráfego e Segurança,
Departamento de Transportes do LNEC.

Professora Doutora Margarida Cabrita Marques Coelho

professora auxiliar convidada do Departamento de Mecânica da Universidade de Aveiro

Professor Doutor Carlos Alberto Diogo Soares Borrego

professor catedrático do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Aos professores Margarida Coelho e Carlos Borrego, pela excelente orientação e pronta disponibilidade para atender a todas as solicitações.

Ao Eng. Richard Tavares e à Eng. Maria Elisa pelo seu envolvimento directo e colaboração indispensável nas corridas dos programas de modelação de emissões e qualidade do ar.

À Eng. Arminda Soares, pelo seu apoio na coordenação entre a Câmara Municipal de Aveiro e a Universidade de Aveiro.

À equipa de desenvolvimento do programa TRANUS, especialmente o Dr. Tomás de la Barra, pela sua disponibilidade no esclarecimento de dúvidas e fornecimento de informação. Ao professor Asad Khattak e sua equipa da Old Dominion University, EUA, pelo seu apoio e pronta disponibilização de informação.

Ao meu avô Manuel Marto, à Paula Maia, aos meus pais pela ajuda na contagem de tráfego e por tudo...

palavras-chave

Planeamento urbano, uso do solo, mobilidade, qualidade do ar, modelação.

resumo

O planeamento urbano e a política de mobilidade vêm assumindo uma crescente importância nos domínios da sustentabilidade do ambiente urbano, da eficiência energética e da qualidade do ar. Este trabalho visa avaliar através dos padrões de mobilidade da cidade de Aveiro, as implicações ambientais e energéticas que o seu modelo de desenvolvimento urbano impõe. Para este efeito procedeu-se a um processo de modelação sucessiva do uso do solo e transportes, emissões de poluentes e qualidade do ar. Pretende-se ainda estudar a adaptabilidade desta metodologia a cidades de média dimensão como Aveiro. O modelo de uso do solo e transportes baseia-se nas inter-relações de 4 sectores (população, solo, emprego de serviços e emprego básico). A comparação entre a monitorização de tráfego na hora de ponta matinal de um dia útil e os resultados da modelação em TRANUS demonstraram um desvio médio quadrático de 31%, sendo a EN109 a via com maior volume de tráfego. Os resultados da afectação de tráfego do modelo TRANUS foram posteriormente tratados e inseridos num modelo de emissões (TREM) permitindo estimar as emissões de vários poluentes e consumos na hora de ponta, para o cenário base (eg. CO – 100 kg, CO₂ – 12000 kg PM10 - 2,5 kg e 7800 kg de combustível). Utilizando o modelo de qualidade do ar TAPM e através da aplicação do perfil de tráfego diário de Aveiro, estimou-se a qualidade do ar, nomeadamente analisando as concentrações de CO e PM10. No que diz respeito às concentrações de CO, a comparação entre os valores modelados e monitorizados demonstra que os resultados da simulação estão subestimados. No entanto, na simulação das concentrações de PM10, o modelo apresenta resultados coerentes com os dados monitorizados na estação de qualidade do ar. Este facto é encorajador tendo em vista o desenvolvimento e aplicação desta metodologia a áreas de estudo à mesma escala. Foram ainda simulados diferentes cenários constatando-se que futuramente o cumprimento das novas normas europeias de emissões mais exigentes é um passo fundamental na redução da poluição local, existindo reduções de 95% nas emissões de PM10, 83% para CO e 79% para NO_x. Dentro dos parâmetros analisados, a implementação de políticas que favorecem o aumento da taxa de ocupação de veículos é um importante contributo para a redução de consumos e consequentes emissões de CO₂.

keywords

Urban planning, land use, mobility, air quality, modelling

abstract

Urban planning, land use and mobility policies are becoming key factors for an urban sustainable environment, improving energy efficiency and air quality. In this work three models were run successively, land use and transports, traffic emissions, and air quality, in order to evaluate how land use influences the mobility patterns and subsequent energy consumption and air quality in Aveiro. Additionally this work aims to analyze the adaptability of this type of methodology in medium size Portuguese cities, such as Aveiro. To develop the land use model four sectors were defined: population, service employment, basic employment and land. Comparative analysis between modelled and observed traffic shows 31% of Root Mean Square. EN109 road is the most congested arterial. The modeling of the generated traffic for all roads with TRANUS has allowed to estimate fuel consumption and exhaust emissions of several pollutants during morning peak hour (eg.: CO – 100 kg, CO₂ – 12000 kg, PM₁₀ - 2,5 kg and FUEL - 7800 kg). CO and PM₁₀ concentrations were estimated through the application of daily traffic profile observed at traffic counts made in Aveiro. PM₁₀ estimated concentrations were reasonably accurated, and CO concentrations were underestimated. General results are encouraging in order to develop and employ this methodology in a similar study area scale. Finally, some alternative scenarios were simulated and it was concluded that new European standards emissions fulfilment is a basic step in order to reduce local air pollution. The simulations point that in the future there could be a reduction of 95%, 83% and 79% of CO, PM₁₀ and NO_x emissions, respectively. Car pooling scenario showed that higher occupation rates of vehicles is an important factor that contributes for the reduction of fuel consumption and CO₂ emissions.

Índice

1 Introdução.....	13
1.1 Perspectiva histórica do desenvolvimento urbano de Aveiro.....	15
1.2 Qualidade do ar em Aveiro.....	18
1.3 Objectivos e estruturação do trabalho.....	19
2 Estado da arte.....	22
3 Metodologia.....	26
3.1 Definição da área de estudo	27
3.2 Monitorização de tráfego.....	27
3.3 Introdução ao Modelo TRANUS	29
3.3.1 Perspectiva histórica.....	29
3.3.2 Estrutura geral do modelo.....	31
3.3.3 Princípios da afectação probabilista logit	33
3.4 Base de dados do TRANUS.....	33
3.4.1 Opções de projecto.....	34
3.4.2 Categorias.....	34
3.4.3 Modos e operadores.....	34
3.4.4 Definição da rede.....	40
3.4.5 Actividades e uso do solo.....	42
3.4.6 Categorias de transporte.....	49
3.4.7 Funções de geração de viagens.....	50
3.4.8 Viagens Exógenas – Concelhos adjacentes.....	50
3.5 Modelo de Emissões de Poluentes Atmosféricos.....	51
3.5.1 Características gerais	51
3.5.2 Estimativa da composição do parque automóvel da cidade.....	53
3.6 Modelo de qualidade do ar.....	56
3.6.1 Características gerais.....	56
3.6.2 Descrição dos indicadores de qualidade utilizados na avaliação.....	58
3.6.3 Poluentes analisados.....	59
3.7 Cenários alternativos	60
4 Apresentação e discussão dos resultados.....	62
4.1 Monitorização de tráfego.....	62
4.1.1 Avaliação da fiabilidade do método CMA.....	62
4.1.2 Análise geral	65
4.1.3 Monitorização de tráfego - Método UA.....	67
4.2 Modelo do uso solo.....	68
4.2.1 Resultados por via.....	69
4.2.2 Características das viagens.....	71
4.2.3 Matrizes origem-destino.....	72
4.2.4 Comparação com monitorização de tráfego.....	73
4.3 Modelo de emissões - TREM.....	76

4.4 Modelo de qualidade do ar.....	79
4.4.1 Indicadores de qualidade de meteorologia.....	79
4.4.2 Concentrações de CO.....	80
4.4.3 Concentrações de PM10.....	82
4.4.4 Comparação com legislação.....	83
4.4.5 Concentrações médias anuais – Distribuição espacial.....	83
4.5 Cenários alternativos.....	84
4.5.1 Cenário alternativo – Incremento da frequência de autocarros.....	84
4.5.2 Cenário alternativo- Criação de novo nó na A25.....	85
4.5.3 Cenário alternativo – <i>Car pooling</i>	87
4.5.4 Cenário – EURO 6.....	92
5 Conclusões e trabalho futuro.....	97

Índice de Figuras

Figura 1: Dispersão urbana na península Ibérica (adaptado de EEA, 2006).....	14
Figura 2: Desenvolvimento da área urbana e sub-urbana de Aveiro nos últimos 35 anos. Adaptado (Domingues, 2006).....	16
Figura 3: Arruamento característico dos arredores próximos de Aveiro (Aradas).....	17
Figura 4: Estrutura da dissertação.....	21
Figura 5: Sucessivas etapas no processo de modelação.....	27
Figura 6: Instalação do equipamento de monitorização de tráfego no centro de Aveiro.....	28
Figura 7: Localização das medições de tráfego efectuadas.....	29
Figura 8: Relações entre os principais componentes do programa TRANUS, adaptado de Modelística – introdução ao programa TRANUS.....	31
Figura 9: Variabilidade na percepção do custo generalizado.....	33
Figura 10: Distribuição modal em Aveiro (Soares et al, 2008).....	36
Figura 11: Perfil típico de diferentes categorias de vias consideradas.....	40
Figura 12: Identificação dos nós de conexão (Ambiente TRANUS).....	41
Figura 13: Localizaçã das zonas internas	41
Figura 14: Esquema das relações intersectorias definidas no modelo.	43
Figura 15: Estimativa aproximada da área para construção (Adaptado PDM CMA,2009).....	48
Figura 16: Representação esquemática do Modelo TAPM (Adaptado de Sá e Calado, 2007). 56	
Figura 17: Comparação entre as contagens registados pelos dois métodos para 24 períodos de 15 minutos.....	64
Figura 18: Perfil semanal de tráfego.....	65
Figura 19: Perfil diário de tráfego considerado todas as vias monitorizadas pelo método CMA.....	66
Figura 20: Comparação entre medições considerando períodos de 15 minutos e horas exactas.....	66
Figura 21: Distribuição relativa do tráfego nas principais entradas da cidade no período da hora de ponta (8h15-9h15).....	68
Figura 22: Imagem obtida durante a monitorização de tráfego.....	68
Figura 23: Total de veículos atribuídos por via e sentido na hora de ponta.....	69
Figura 24: Nível de serviço por via.....	71
Figura 25: Comparação entre o número de viagens gerada para cada categoria.....	72
Figura 26: Matrizes origem destino para as duas categorias de viagem (casa-trabalho e casa-serviços).....	73
Figura 27: Comparação entre os resultados do modelo e das contagens.....	76
Figura 28: Distribuição espacial dos consumos registados por via (Adaptado Google Earth). .	77
Figura 28a: Quantidade de emissões produzidas na hora de ponta).....	77
Figura 29: Distribuição relativa do parque automóvel por classes, consumos e emissões.....	78
Figura 30: Comparação dos dados medidos com os dados simulados para concentrações	

Figura 31: Comparação dos dados medidos com os dados simulados para concentrações de PM10.....	82
Figura 32: Concentrações médias anuais de CO ($\mu\text{g.m}^{-3}$).....	83
Figura 33: Concentrações médias anuais de PM10 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	84
Figura 34: Distribuição de tráfego gerada considerando um novo nó na A25.....	86
Figura 35: Distribuição de tráfego após a implementação do cenário de <i>car pooling</i>	88
Figura 36: Relação entre diminuição de tráfego por via e o potencial de redução do factor de emissão, para CO, PM10 e NO _x	90
Figura 37: Mapa do diferencial das concentrações médias anuais de CO ($\mu\text{g.m}^{-3}$) no cenário <i>car-pooling</i>	91
Figura 38: Mapa do diferencial das concentrações médias anuais de PM10 ($\mu\text{g.m}^{-3}$) no cenário <i>car-pooling</i>	92
Figura 39: Efeito da velocidade no potencial de redução do factor de emissão de CO	93
Figura 40: Efeito da velocidade no potencial de redução do factor de emissão de PM10.....	94
Figura 41: Mapa do diferencial das concentrações médias anuais de CO ($\mu\text{g.m}^{-3}$) no cenário EURO6	95
Figura 42: Diferencial das concentrações médias anuais de PM10 ($\mu\text{g.m}^{-3}$) no cenário EURO6	95

Índice de Tabelas

Tabela 1: Relação entre densidade populacional e custos associados aos transportes (EEA, 2006).....	14
Tabela 2: Estimativa dos valores monetários atribuídos aos tempos de viagem e de espera....	34
Tabela 3: Consumos e custos para automóveis ligeiros em função da velocidade.....	37
Tabela 4: Estimativa do custo (€) de utilização de veículo ligeiro por unidade de tempo.....	38
Tabela 5. Custos unitários definidos em função do tipo de via.....	40
Tabela 6: Identificação das zonas e sua localização geográfica	42
Tabela 7: Número de habitantes por freguesia modelada (INE).....	44
Tabela 8: População estimada para cada zona.....	45
Tabela 9: Relação entre sector económico e sector definido no TRANUS.....	45
Tabela 10: Número de empregos no sector básico e de serviços por freguesia (GET, 2008)..	46
Tabela 11 Número de empregos estimado para cada zona.....	47
Tabela 12: Área livre para construção e rendas atribuídas empiricamente por zona	48
Tabela 13: Comparação entre factores atribuídos para as funções geradoras de tráfego.....	50
Tabela 14: Nº de viagens introduzidas externamente no modelo	51
Tabela 15: Datas da implementação das normas de emissão.....	53
Tabela 16: Distribuição de veículos observada nas filmagens.....	54
Tabela 17: Distribuição de classes de veículos no distrito de Aveiro (ACAP).....	54
Tabela 18: Determinação da percentagem relativa do tipo de combustível nos veículos ligeiros de passageiros I (ACAP) e (ACEA).....	55
Tabela 19: Percentagem relativa de cada categoria de veículos considerada no modelo	56
Tabela 20 Factores utilizados para estimar o perfil de emissões diário	58
Tabela 21: Normas europeias para limite de emissões de veículos ligeiros (g.km ⁻¹).....	61
Tabela 22: Desvios verificados entre os dois métodos de contagem.....	63
Tabela 23: Resultado das contagens efectuadas através de filmagens.....	67
Tabela 24: Comparação entre contagens e valores modelados nas entradas da cidade de Aveiro na hora de ponta da manhã.....	70
Tabela 25: Parâmetros e respectiva cor indicativa para cada nível de serviço.....	70
Tabela 26: Desvio e percentagem de erro entre monitorização e os resultados do modelo.....	74
Tabela 27: Energia consumida na hora de ponta nas vias simuladas.....	79
Tabela 28: Indicadores de qualidade para os parâmetros meteorológicos.....	80
Tabela 29: Indicadores de qualidade do modelo para CO	81
Tabela 30: Indicadores de qualidade do modelo para PM10.....	82
Tabela 31: Vias com maior redução de tráfego no cenário <i>Car-pooling</i>	89
Tabela 32: Valores de emissões e consumos globais na hora de ponta e comparação com o cenário actual.....	89
Tabela 33: Valores de emissões totais para a hora de ponta para os diversos cenários e comparação com a situação actual.....	93

1 Introdução

As relações entre a forma urbana, a ocupação do solo e suas consequências a nível económico e ambiental transformaram-se nas últimas décadas num objecto de análise de grande relevo a nível internacional, sobretudo fruto da acentuada tendência de migração das populações das áreas rurais para áreas urbanas e do consequente crescimento, por vezes errático das cidades.

Hoje, 75% dos europeus vive em cidades e mais de um quarto do território da União Europeia tem sido afectado pela ocupação do solo urbana, (EEA, 2006) sobretudo nas zonas costeiras. Em Portugal, o crescimento verificado na faixa costeira assume predominantemente um carácter suburbano, difuso e desconectado dos centros urbanos. Com efeito, nas ultimas décadas, Portugal verificou uma das maiores taxas de crescimento urbano a nível Europeu sobretudo nos arredores de Lisboa e Porto ao longo da faixa costeira ocidental de Viana do Castelo a Setúbal e na costa sul. (Figura 1) Em 2000, 50% das áreas urbanas portuguesas localizavam-se a 13 km da costa, uma área que representa apenas 13% da área do país (EEA, 2006). As 141 cidades portuguesas (à data de Dezembro de 2004) concentravam aproximadamente 4 milhões de indivíduos, 39% da população recenseada no país em 2001 (INE, 2005).

O desenvolvimento urbano em redor das maiores cidades diminuiu consideravelmente a eficiência dos transportes. A distribuição de habitantes ao longo das áreas limites muitas vezes em povoamentos dispersos em zonas suburbanas de reduzida densidade populacional, potenciam a utilização do automóvel privado. A desorganização estrutural das zonas limítrofes, dificulta o desenvolvimento de infra-estruturas que suportam o uso de transportes públicos, dos modos suaves (como bicicletas ou caminhar).

Várias correlações tem sido feitas com o intuito de relacionar a forma de ocupação do solo com consumos energéticos e impactos ambientais. Através da Tabela 1 observa-se que a densidade populacional assume um papel preponderante nos custos relacionados com os transportes, sendo que as áreas mais densamente povoadas, tendem a consumir menos energia com transportes.



Figura 1 Dispersão urbana na península Ibérica (adaptado de EEA, 2006)

Tabela 1 Relação entre densidade populacional e custos associados aos transportes (EEA, 2006)

Densidade (Hab.+Emp).ha ⁻¹	Consumo anual de energia para viagens (MJ.hab ⁻¹)	Custo de transportes (% PIB)
< 25	55000	12,4
25 a 50	20200	11,1
50 a 100	13700	8,6
> 100	12200	5,7

Actualmente, os grandes desafios na área do planeamento de transportes visam encontrar soluções no sentido da minimização do tráfego e congestionamento e tornar mais eficiente o transporte em áreas urbanas e suburbanas, tornando-o simultaneamente mais seguro e amigo do ambiente. No planeamento de novas áreas urbanas bem como em áreas com infraestruturas já estabelecidas as políticas de transporte devem ir ao encontro das mudanças socioeconómicas que afectam os padrões de transporte. Neste contexto, torna-se fundamental o recurso a ferramentas que possibilitem uma integração dos modelos de desenvolvimento urbano, políticas de transportes e impactos ambientais.

O presente trabalho visa explorar estes recursos, nomeadamente a modelação do uso do solo e transportes, emissões de poluentes e qualidade do ar, estudando a sua adaptabilidade à cidade de Aveiro. Saliente-se que numerosos estudos no campo da mobilidade têm sido desenvolvidos sobretudo nas grandes áreas metropolitanas nacionais. Contudo, não existe ainda um conhecimento aprofundado sobre os padrões de deslocamentos em outras regiões do país nomeadamente, em cidades de média dimensão como Aveiro que representam conjuntamente uma percentagem muito significativa do país em termos populacionais e simultaneamente apresentam vários dos problemas já mencionados como o da dispersão urbana difusa.

Neste capítulo introdutório, abordar-se-á resumidamente a história do desenvolvimento urbano da cidade e a situação actual em termos de qualidade do ar na região de Aveiro. Finalmente, traçar-se-ão os principais objectivos deste trabalho bem como a forma como esta dissertação se encontra estruturada.

1.1 Perspectiva histórica do desenvolvimento urbano de Aveiro

O livro cidade e democracia de Álvaro Domingues é um importante documento que descreve a evolução urbana em cidades da dimensão média no período pós revolução de Abril. Assim é descrita um pouco da história do crescimento de Aveiro desde a sua fundação. “A situação geográfica junto à ria propiciou, desde muito cedo, a fixação da população, sendo a salinagem, as pescas e o comércio marítimo factores determinantes de desenvolvimento. No século XIII, Aveiro foi elevada à categoria de vila, desenvolvendo-se a povoação à volta da igreja principal. D. João I mandou rodeá-la de muralhas que, já no século XIX, foram demolidas, sendo parte das pedras utilizada na construção dos molhes da barra nova. (...) No rigoroso Inverno de 1575 a barra ficou

obstruída, tendo a situação continuado até ao séc. XVIII. As salinas e os campos do Vouga ficaram destruídos e insalubres. Com a emigração de muitos habitantes iniciou-se, então, a decadência de Aveiro. Em 1759, D. José I elevou Aveiro a cidade, que então teria cerca de três mil habitantes e estava a caminho de se extinguir”.

“O derrube da muralha e as obras da barra permitem a abertura definitiva do porto, em 1808. A segunda metade do séc. XIX seria um período de prosperidade: a linha do caminho de ferro do Norte chegará em 1864 (a do Vale do Vouga, em 1911); a estrada Aveiro-Viseu inaugura-se em 1854. A melhoria dos acessos e a abertura da barra foram decisivos para a implantação da indústria e abertura da Avenida Dr. Lourenço Peixinho, ligando a cidade à estação do caminho de ferro, provocou o desenvolvimento da cidade para nascente”.



Figura 2 Desenvolvimento da área urbana e sub-urbana de Aveiro nos últimos 35 anos.

Conforme é possível verificar na Figura 2, Aveiro chega ao final do século com um perímetro urbano definido a norte e a poente pelo traçado da A25 (ligação à zona portuária) marginando a ria, e a sul e nascente pelos traçados da EN109 e pela linha do caminho de ferro. As infraestruturas rodoviárias e ferroviárias existentes e a construir, em

Modelo do uso de solo para Aveiro: Impacto na mobilidade e qualidade do ar

especial a A25/IP5, a A17 / IC1 (ambas ligando à A1), e a remodelação e modernização da linha ferroviária do Norte colocaram Aveiro numa posição estratégica, quer ao nível nacional quer da ligação com Espanha. Em 2001, a população residente no centro da cidade e freguesias adjacentes era de cerca de 55 300 pessoas (Domingues, 2006).

Será interessante verificar ainda que a grande maioria dos aglomerados populacionais existentes nas freguesias adjacentes ao núcleo urbano central e que conferem um grau de dispersão populacional elevado à zona metropolitana de Aveiro já existia antes de 1974, sendo que grande parte do crescimento do parque habitacional nos últimos 35 anos ocorreu sobretudo entre a A25 e a EN109, à excepção de alguns pólos em Aradas e Santa Joana. Todavia, grandes pólos comerciais e industriais têm-se desenvolvido fora deste perímetro urbano. As linhas a azul traçam os eixos principais do ordenamento urbano difuso, de baixa densidade e desordenado característico das freguesias adjacentes ao núcleo urbano central. (Figura 3).



Figura 3 Arruamento característico dos arredores próximos de Aveiro (Aradas)

Em 2009 encontra-se em execução a ligação ferroviária ao porto de Aveiro e a infraestruturação de novos cais e áreas logísticas. O porto de Aveiro, importante sobretudo nos graneis sólidos e líquidos, tem vindo a ganhar importância - com ambições de criar uma plataforma logística para a Região de Castilla-Léon —, sobretudo devido às ligações à indústria química e da pasta do papel, sediadas em Estarreja e Cacia, respectivamente.

A intervenção do Programa Polis na cidade de Aveiro abrange uma área de cerca de 186 ha, integrando a frente norte da cidade na sua confrontação com a ria, e um corredor urbano de ligação ao centro, representando no essencial uma vasta operação de requalificação urbana e ambiental.

Em linhas gerais, o Plano de Urbanização de Aveiro incide sobretudo na conformação urbana do espaço urbano a nascente, entre a linha do caminho de ferro e a EN109, ao longo da qual se foram localizando superfícies comerciais de grande dimensão e também o novo pólo desportivo do Estádio Municipal construído para o EURO 2004. A continuação da Avenida Lourenço Peixinho para nascente da actual gare ferroviária constitui uma peça importante deste plano, que pretende também reconfigurar a estrutura viária principal tornando-a mais radioconcêntrica. Na sequência do programa POLIS, o plano aposta também numa melhor definição da estratégia ambiental, dado o potencial paisagístico ecológico da ria, dos canais, e do espaço rural envolvente (Domingues, 2006).

1.2 Qualidade do ar em Aveiro

Este breve resumo, sobre o tratamento estatístico dos dados da qualidade do ar em Aveiro, diz respeito ao ano de 2005, o ano de referência usado neste trabalho e o último ano com informação meteorológica disponível na estação meteorológica da Universidade de Aveiro. Tendo em vista o cumprimento dos valores limite estipulados, verifica-se no caso do dióxido de azoto (NO_2), e no que se refere ao valor limite estabelecido em termos de número de excedências das médias horárias (admissíveis 18 casos por ano) não se verificou nenhuma ultrapassagem ($200 \mu\text{g.m}^{-3}$). (RQA, 2005) A partir da monitorização do monóxido de carbono (CO), efectuada na estação de tráfego de Aveiro, verifica-se que é cumprido por uma larga margem o valor limite de $10000 \mu\text{g.m}^{-3}$. Já no que se refere a Partículas em Suspensão (PM10) constata-se que foi ultrapassado o Valor Limite para a Protecção da Saúde Humana, estabelecido em termos de número de casos das médias diárias superiores a $50 \mu\text{g.m}^{-3}$ (admissíveis 35 vezes por ano), cujo número de casos registados, já considerando os admissíveis, foram 38. Relativamente aos Limiares de Avaliação para a Protecção da Saúde Humana constata-se que para o ano de 2005, foram ultrapassados os Limiar Inferior e Superior de Avaliação. Na sequência das ultrapassagens registadas para o poluente Partículas em Suspensão (PM10) no ano de 2005, tornou-se necessário a Comissão de Coordenação e Desenvolvimento da Região Centro (CCDRC) proceder à elaboração de planos e programas de melhoria de qualidade do ar tendo em vista a redução das concentrações de PM10 (RQA. 2005).

Considerando a nível regional, os dados de Ílhavo e Estarreja indicam que as PM10 e o Ozono (O₃) são os principais responsáveis pela degradação da qualidade do ar, sendo que O₃ é predominantemente sazonal, apresentado os piores valores no Verão (Almeida B. *et al.*, 2008). As partículas são o poluente que maior preocupação suscita em virtude do número de ultrapassagens verificado em todos os anos desde 2003 a 2006. A distribuição temporal dos episódios evidencia que é durante a semana, nas horas de ponta e nas noites e madrugadas dos meses mais frios que estes acontecem. O tráfego automóvel e a combustão doméstica foram identificados como as principais fontes destes poluentes, nestes períodos. (Almeida *et al.* 2008)

1.3 Objectivos e estruturação do trabalho

A importância da forma urbana na questão do desenvolvimento sustentável tem sido reconhecida em vários países nos últimos anos. Contudo, tem existido uma certa dificuldade em transpor o plano ambiental para a esfera dos sistemas de planeamento urbano. Esta situação pode ser atribuída à inexistência de ferramentas que permitam uma modelação integrada dos sistemas de transporte, uso do solo e ambiente. que permitam analisar o comportamento destes sistemas dinâmicos de elevada complexidade (Button e Hensher, 2003)

Aveiro, não sendo um caso evidente de cidade com fortes problemas de engarrafamentos e poluição atmosférica manifesta no entanto, alguns sinais claros de deficiências no campo da mobilidade, que poderiam ser minimizados com intervenções adequadas partindo do conhecimento dos padrões de deslocação dos seus habitantes. A dispersão das áreas urbanas (causa e consequência) do uso generalizado do automóvel; a deslocalização de grandes superfícies comerciais para fora do centro urbano; a carência de verdadeiros espaços intermodais e coordenação dos vários operadores de transportes públicos; a facilitação do uso de transporte próprio, como a construção massiva de parques de estacionamento no interior das cidades, a deficiente aposta na promoção de meios alternativos de deslocação (pedonais e cicláveis); são problemas de Aveiro e comuns à grande maioria das cidades portuguesas de dimensão semelhante, conduzindo ao agravamento de problemas energético-ambientais, degradação da qualidade de vida e da saúde humana. Deste modo, a minimização destes problemas a uma escala local/regional teria um forte impacto a nível nacional, tendo em conta a importante percentagem da população portuguesa que vive em áreas similares ao caso de estudo.

O objectivo do presente trabalho consiste no teste de uma nova metodologia visando integrar os domínios da modelação do uso do solo, transportes, emissões e qualidade do ar. Esta metodologia é inovadora sobretudo no que diz respeito à sua aplicação em cidades de média dimensão à escala nacional. No caso concreto pretende-se obter uma visão geral sobre o impacto energético e ambiental que o modelo de desenvolvimento urbano de Aveiro impõe ao nível da mobilidade. O conhecimento dos padrões de mobilidade da cidade é uma ferramenta fundamental na construção da matriz energética da cidade, como também para a execução de futuras políticas de gestão ao nível de planeamento do território e mobilidade que integrem simultaneamente preocupações ambientais e energéticas. A análise dos padrões de mobilidade será elaborada com o auxílio da ferramenta de modelação TRANUS (desenvolvido por Modelistica, Venezuela) após validação e calibração de dados. TRANUS é um programa de simulação que integra variáveis como localização de actividades, uso do solo, preço de rendas e do sistema de transportes que permite caracterizar o estado actual e traçar eventuais cenários futuros, nomeadamente no que concerne a geração de viagens. Paralelamente ter-se-ão em conta dados de contagem de tráfego efectuadas no ano de 2008 nos principais pontos da cidade através de monitorização automática e contagem manual nas entradas do perímetro urbano confinado entre a A25 e a EN109. Os dados de tráfego obtidos serão posteriormente integrados num programa de modelação de emissões de poluentes - TREM (desenvolvido no Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro) e desta forma aferir não só quais os pontos mais críticos em matéria de emissão de poluentes atmosféricos na cidade de Aveiro mas também os consumos energéticos verificados nas deslocações em transporte individual. Posteriormente calcular-se-á o resultado em termos de qualidade do ar tendo como base as emissões estimadas anteriormente através do modelo TAPM (desenvolvido por CSIRO *The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisations, Australia*).

Para cada processo de modelação (uso do solo e transportes, emissões e qualidade do ar) será descrita a estrutura do programa, os seus fundamentos teóricos e a metodologia de desenvolvimento do programa. Proceder-se-á também à descrição dos diferentes métodos de contagens de tráfego efectuadas. O capítulo de análise de dados seguirá a mesma estrutura do capítulo anterior, analisando-se a situação actual e posteriormente hipotéticos cenários futuros. O último capítulo encerra com as conclusões gerais. A Figura 4 esquematiza a forma como este trabalho será apresentado.

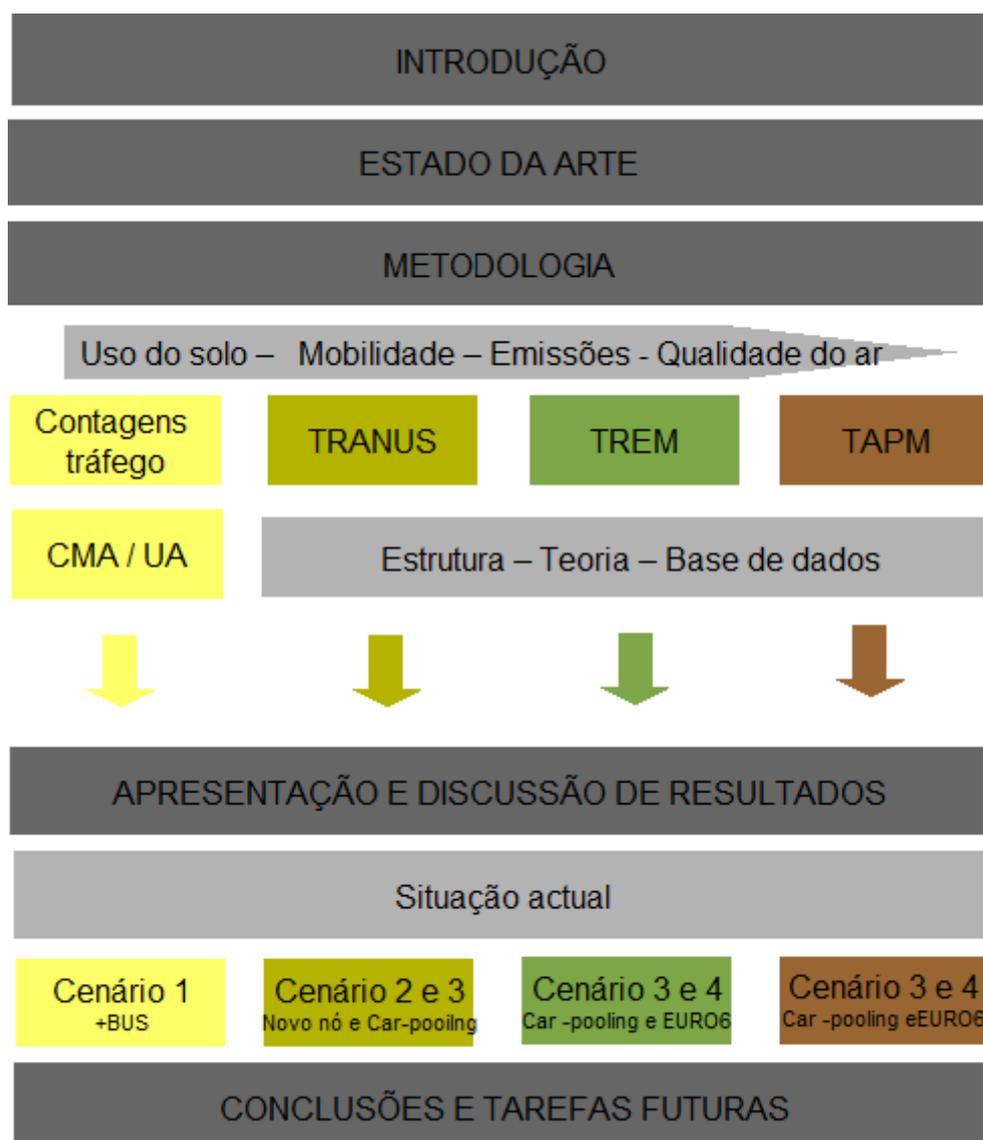


Figura 4 Estrutura da dissertação

2 Estado da arte

Em 1998, de la Barra resumia a visão geral que a literatura científica oferecia sobre o uso do solo, planeamento de transportes e a sua relação com a sustentabilidade ambiental. Naquela data existia um consenso que os principais objectivos das estratégias ambientais deveriam passar pela redução do número e distância das viagens realizadas quotidianamente e melhorias na coordenação das redes intermodais. Contudo, a forma de alcançar estes objectivos permanecia longe de obter uma resposta consensual. O debate desenrolava-se sobretudo sobre na questão se o aumento da densidade e o regresso ao conceito de cidades compactas seria a forma mais correcta, a nível ambiental, económico e socialmente aceitável. Enquanto alguns autores se questionavam sobre estas questões, os proponentes do conceito de cidade compacta, como Echenique and Hall, afirmavam convincentemente que os principais factores dos padrões de urbanização eram o salário, a mobilidade e a tecnologia associada ao transporte. A dispersão e urbanização difusa de baixa densidade característica do século XX resultava do aumento das condições de vida e do uso generalizado do automóvel. Hall concluía que tanto as residências e os empregos descentralizados produzem uma cidade dispersa e policêntrica favorecendo a dependência do automóvel privado e tornando inviável o uso de transportes públicos (de la Barra *et al.*, 1998).

Numerosos estudos na área do ordenamento do território e política de transportes têm sido realizados, contudo ainda são escassos os que integram simultaneamente a perspectiva energético-ambiental. Todavia, nos últimos anos têm surgido algumas publicações governamentais abordando esta matéria, como os casos de *Air quality and land use handbook* produzido pela California Environmental Protection Agency (CEPA, 2005) e a publicação *Urban sprawl in Europe - The ignored challenge*, publicado pela agência Europeia do Ambiente (EEA, 2006). Já em 2007, a comissão europeia apresentou o livro verde *Towards a new culture for urban mobility* (EUKN, 2007). Em todas estas publicações se alerta para a problemática do alastramento urbano e se defende mecanismos de integração entre os vários organismos de gestão pública nacional e regional, de forma a integrar o ambiente, os transportes e a gestão da ocupação do solo numa única dimensão. Em 1997, Johnston Robert e Tomas de la Barra realizaram o primeiro estudo integrando um modelo de transportes e uso do solo e

Modelo do uso de solo para Aveiro: Impacto na mobilidade e qualidade do ar

sistemas de informação geográfica (SIG) inserindo os resultados do modelo de transportes na base de dados de SIG para conferir a coerência deste (Johnston e de la Barra, 1998).

Em 2001 foi lançado o livro “The influence of urban form on Travel” escrito por Marlon G. Boarnet e Randall Crane, editado pela Universidade de Oxford. Partindo de 3 exemplos de cidades com índices de desenvolvimento económico semelhantes Boston, Houston e Copenhaga, mas com índices de uso de utilização de automóvel distintos 10280, 13016 e 4558 km por pessoa, respectivamente, os autores perguntam-se se seria possível Houston tornar-se Copenhaga reduzindo a dependência do veículo e emitindo menos dióxido de carbono, alternado a sua forma urbana. Os autores afirmam que o aumento da densidade influencia positivamente a não utilização do automóvel. No entanto, os planeadores devem favorecer a diminuição da velocidade dos veículos para compensar a redução das distâncias. A forma urbana pode alterar o preço total da viagem alterando a velocidade de circulação, no entanto não é tão evidente que mudanças no preço da viagem (como aumento do preço de combustíveis) tenham impacto na forma urbana. Richard Muth utilizou, em 1983, o choque petrolífero da OPEC como base experimental para avaliar se os aumentos no preço da gasolina alteraram a forma da cidade e encorajaram as pessoas a moverem-se para o centro da cidade. Não foi detectada qualquer evidência nesta relação. Com o aumento da eficiência dos veículos os condutores conseguiram reduzir o preço da viagem por quilómetro sem alterarem a sua residência (Kahn, 2002).

Daniel Rodriguez e Joowon Joo da Universidade da Carolina do Norte, considerando dados da própria universidade, demonstraram que o ambiente físico têm uma importância notória na opção de escolha de transporte não motorizado, como a topografia e a existência de áreas pedonais e clicáveis (Rodriguez e Joo, 2008).

Ainda a nível académico, no ano de 2008, Lisa Rayle desenvolveu um estudo onde procura resumir as principais conclusões sobre as relações entre o uso do solo e os transportes. Aqui se resume as principais conclusões:

- As interações entre os padrões de desenvolvimento e os transportes estão bem estudadas, no entanto não são inteiramente conclusivas. A densidade de ocupação do solo é o factor mais determinante no perfil de viagens geradas, enquanto o investimento em transportes influencia o desenvolvimento, através da acessibilidade.

- As relações entre a forma do espaço urbano a uma escala regional e os padrões de deslocamentos são complexas e desconhece-se como as condições do local influenciam esta interacção. Dois pontos sobre a forma urbana permanecem ainda longe do consenso, continuando a ser debatidos, ainda com poucas respostas claras: 1) a sustentabilidade de uma cidade compacta, e 2) os benéficos do monocentrismo versus o policentrismo.

- O sucesso das intervenções políticas em matéria de ordenamento depende fortemente da estrutura institucional, particularmente do grau de coordenação entre os órgãos de gestão pública e os vários actores locais. Uma forte liderança de cariz regional é um factor chave no sucesso das políticas de ordenamento, afectando significativamente o comportamento das viagens.

- As intervenções nos sistemas de transporte podem ajudar à reabilitação urbana, mas apenas em determinadas condições. As condições económicas devem ser favoráveis e as políticas de ordenamento devem apoiar simultaneamente as intervenções nos sistemas de transportes.

Rodriguez *et al.*, (2007) desenvolveram um estudo tendo como objectivos principais avaliar o efeito a longo prazo e em termos ambientais, do impacto de diferentes modelos de desenvolvimento urbano na Carolina do Norte, penetração de novas tecnologias e implementação de medidas de mobilidade sustentável. Uma das principais motivações é precisamente, coordenar um modelo de uso do solo e um modelo de emissões a diferentes escalas temporais e espaciais. As primeiras conclusões, apresentadas em conferência, dizem somente respeito a alterações do ponto de vista da tecnologia e implementação de medidas de mobilidade sustentável. O cenário de diferentes formas de evolução da forma urbana encontra-se ainda em desenvolvimento.

Morton *et al.* (2007), demonstraram empiricamente e através de teorias micro económicas uma abordagem que permite incorporar factores característicos de zonas com ambiente físico similar (zonas centrais, zonas mistas, 1º e 2º anel de subúrbios, zonas isolados, zonas residenciais, moradias uni familiares, etc.) em modelos de escolha de localização e estabelecimento de residências e outras áreas económicas, que por sua vez são a base de um modelo de uso do solo, transporte e emissões. Morton *et al.* utilizaram o programa TRANUS, uma plataforma de modelação livre. (Morton *et al.*, 2007). Esta abordagem teve como base a região de Charlotte na Carolina do Norte,

contudo a sua visão inovadora de agregar e estimar coeficientes a zonas com ambiente físico semelhante permite aplicar este método a várias outras zonas.

Na sequência do estudo anterior Khattak *et al.*, (2008), simularam vários cenários alternativos utilizando várias tecnologias, diferentes formas de crescimento urbano (com e sem *smart growth*), diferentes intensidade de crescimento, redução de velocidades ou renovação do parque automóvel. O objectivo final do estudo é a aferir como os diferentes padrões de deslocações afectam a concentração de ozono, partículas e qualidade do ar. Por exemplo, considerando o horizonte de 2030 com um desenvolvimento assente em conceitos de *smart growth* (concentração de actividades e residências com localização preferencial junto de nós principais), Khattak *et al.*, (2008) estimaram um decréscimo de 4,6% de quilómetros percorridos por veículo, um aumento de utilização 22% de transportes públicos, tendo como consequência uma redução de emissões de 4,6 % de NO_x, e de 5,1% de compostos orgânicos voláteis nas horas de ponta. (Khattak *et al.*, 2008).

Em suma, verifica-se que progressivamente as questões do ordenamento territorial e suas relações com a componente ambiental, nomeadamente consumos e emissões, assumem um crescente relevo no mundo científico. Contudo, para além do facto de todos os estudos se dirigirem preferencialmente a grandes áreas metropolitanas, o estudo sobre a dispersão de poluentes, numa perspectiva integrada com o uso do solo, encontra-se ainda em fase embrionária. Este trabalho, de algum modo, pretende abordar estas questões (relações: uso do solo, mobilidade, emissões e qualidade do ar) em áreas de estudo onde o conhecimento nesta matéria é ainda escasso, como é o caso das cidades de média dimensão e a problemática da eficiência dos transportes assume, não raras vezes, uma maior complexidade.

3 Metodologia

A estrutura do trabalho tem como base três etapas fundamentais: (Figura 5).

Simulação do número de viagens realizadas à hora do ponta numa semana típica nos eixos principais da cidade de Aveiro com base no programa de modelação de uso do solo e transportes,TRANUS.

Simulação das emissões de poluentes atmosféricos produzidas com base nos resultados anteriores utilizando programa TREM.

Simulação da qualidade do ar utilizando o modelo TAPM, com base nos resultados do modelo de emissões do programa anterior

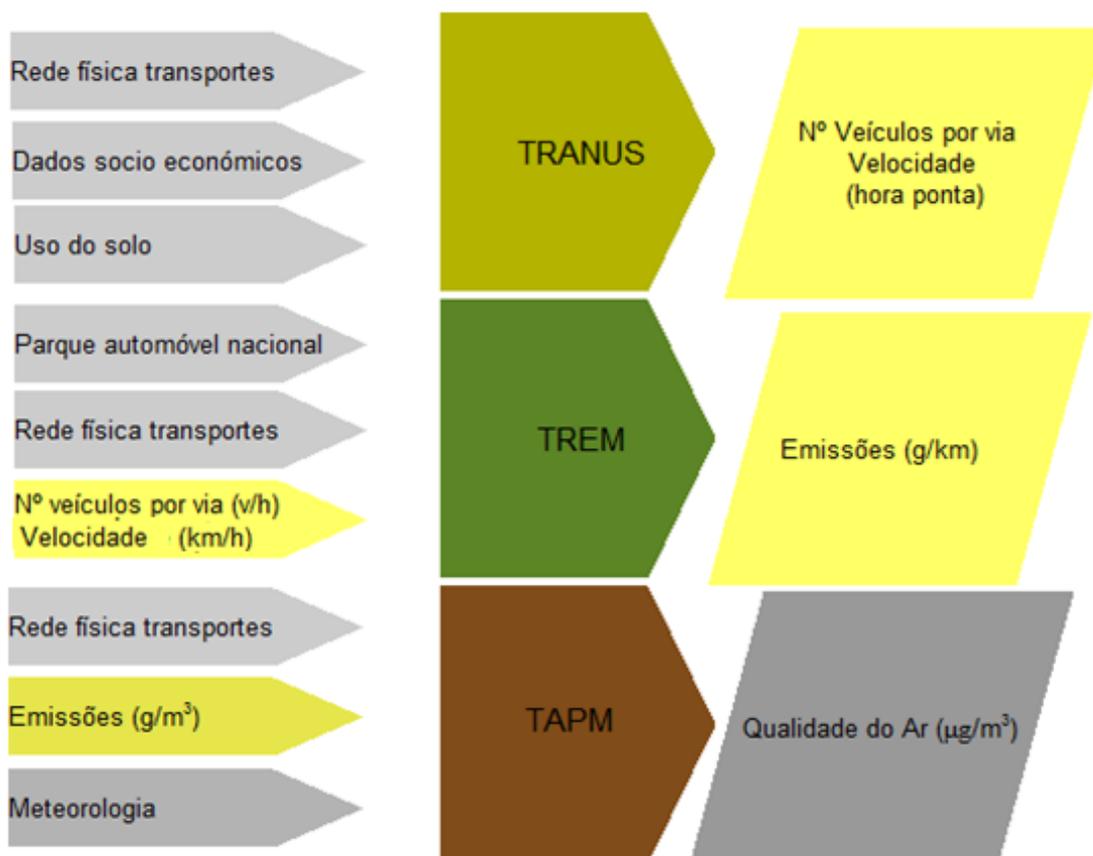


Figura 5 Sucessivas etapas no processo de modelação

A primeira etapa inclui um estudo superficial sobre as tendências evolutivas do crescimento da cidade de Aveiro, permitindo definir posteriormente os limites da área de simulação. A segunda fase desta etapa consiste na reunião e organização de informação disponível sobre a demografia e actividades económicas do concelho, situação actual em termos de mobilidade e dados do parque automóvel de Aveiro que possibilitem a sua introdução no programa de modelação do uso do solo TRANUS. Ainda nesta etapa, procedeu-se a filmagens de tráfego para posterior contagem e calibração dos resultados do modelo. Os resultados do modelo são ainda comparados com resultados de medições de tráfego elaboradas pela Câmara Municipal de Aveiro.

Na segunda etapa, e com base nos resultados da viagens geradas pelo modelo, estimam-se as emissões produzidas e calculam-se os consumos energéticos com base em factores de emissão/consumo.

A terceira etapa visa estimar a qualidade do ar (concentrações) resultado da política de transportes actual, seguido de estabelecimento de cenários com eventuais intervenções políticas no campo da mobilidade.

3.1 Definição da área de estudo

Analisando os padrões de crescimento da cidade nos anos mais recentes verifica-se que a consolidação urbana de Aveiro, se verifica no perímetro definido entre a A25 e a EN109 observando-se ainda a existência de aglomerados populacionais dispersos nas freguesias adjacentes ao núcleo urbano central. Considerando o facto das medições de tráfego que estavam a ser realizadas pela Câmara Municipal de Aveiro se realizarem no centro da cidade e a possibilidade de efectuar filmagens nas principais entradas da cidade, optou-se assim, por estudar com maior rigor a área da cidade confinada entre os dois principais eixos viários A25 e EN109.

3.2 Monitorização de tráfego

No presente trabalho são considerados dois tipos de medições de tráfego efectuados na cidade de Aveiro. O primeiro foi possível através do apoio da Câmara Municipal de Aveiro que facultou o acesso aos resultados das medições de tráfego realizadas por uma empresa especializada, *Soltráfego*. Estas contagens foram efectuadas usando o método

do efeito de Doppler, disponibilizando para vários cruzamentos no interior da cidade o registo contínuo do número de veículos, categoria (através do comprimento) e velocidade dos mesmos. O método utilizado consiste na emissão de uma onda de micro-ondas de frequência f_0 que se reflecte no veículo em movimento. Pelo efeito Doppler, a onda reflectida apresenta uma frequência f_t , diferente da original. Sendo Δf o desvio da frequência devido ao efeito Doppler, tem-se:

$$f_t = f_0 \pm \Delta f$$

Se o veículo se aproxima do radar, o sinal será “+”. Se o veículo se afasta do radar, o sinal será “-”. O desvio de frequência Δf é assim, função da velocidade v do veículo.

Os dados foram registados para 5 cruzamentos da cidade durante uma semana nos meses de Outubro e Novembro de 2008. Estas contagens serão doravante designadas por “CMA”. A Figura 6 mostra a fase da instalação de um aparelho no centro da cidade.



Figura 6 Instalação do equipamento de monitorização de tráfego no centro de Aveiro

Paralelamente, através de filmagens monitorizaram-se as principais entradas da cidade situada dentro do perímetro definido pela N109 e a A25. Este método será designado por “UA”. Para cada entrada da cidade monitorizou-se o tráfego na cidade na hora de ponta da manhã, compreendida entre as 8h15 e 9h15, correspondendo ao período de maior tráfego observado em ambas as contagens efectuadas. O período de filmagens decorreu entre 7 de Outubro e 19 de Novembro de 2008. Para cada cruzamento foram efectuadas duas ou três réplicas entre terças e quintas-feiras. Não se considerou o período de ponta da tarde, devido ao facto deste ser mais difuso e ainda porque as filmagens efectuadas à noite com condições de luz deficiente não permitiram contabilizar com absoluta

segurança o fluxo de veículos. Na Figura 7, é possível identificar os locais onde foram efectuadas as contagens.



Figura 7 Localização das medições de tráfego efectuadas

3.3 Introdução ao Modelo TRANUS

3.3.1 Perspectiva histórica

“TRANUS” é um programa de simulação que integra variáveis como localização de actividades, uso do solo, sistema económico e sistema de transportes. Pode ser aplicado tanto a uma escala urbana como regional sendo que foi especialmente concebido para simular o impacto de projectos e de políticas em diferentes tipos de cidades e regiões quer do ponto de vista económico quer ambiental.

Nas últimas décadas, foram desenvolvidos importantes avanços teóricos no domínio da localização de actividades e sua interacção nos sistemas transportes. Muitas destas teorias foram desenvolvidas baseando-se em métodos quantitativos com o objectivo de incrementar a compreensão dos sistemas urbanos e regionais.

Os primórdios da análise espacial remontam a 1826 com Von Thünen que iniciou a escola da micro economia espacial. Em 1964, Wingo e Alonso deram um importante passo no desenvolvimento da investigação nesta área. Mais recentemente o trabalho de Mills e Anas é considerado também de grande relevância. Desta escola, o programa TRANUS adoptou os principais conceitos nos campos da economia espacial, da afectação, uso e preço do solo.

A segunda linha de pensamento é conhecida como modelos de gravidade e entropia. Os primeiros desenvolvimentos remontam aos anos 30 do século passado, no entanto as investigações de Hansen (1959) e Lowry (1984) são consideradas pioneiras nesta área de investigação. A primeira geração destes modelos foi desenvolvida por Wilson (1970) que apresentou as ferramentas necessárias para integrar modelos do uso do solo e de transportes. Wilson demonstrou que os sistemas de transportes urbano/regionais podem ser representados através de uma única teoria consistente. Este principio e a interacção económica espacial representam uma componente fundamental do sistema TRANUS. A terceira linha é representada com base no trabalho de Leontief (1936) na área dos sistemas de economia input-output, pois é com base no conceito do modelo input-output que o TRANUS se baseia para representar a economia espacial e a formação de preços.

Este programa baseia-se pois, num modelo completo input-output que representa a economia numa dimensão espacial baseando-se no conceito da formação de preços através das relações inter-sectoriais definidas pelo utilizador

Neste conceito foi integrado o modelo de transportes, influenciado pela escola dos modelos de decisão discretos e teoria da utilidade aleatória, seguindo o trabalho de McFadden em 1975. A maioria dos investigadores desta área dedicou-se preferencialmente a estudar a aplicação destes modelos exclusivamente a decisões de separação modal, não se especializando a desenvolver e a integrar modelos específicos para representar o resto dos elementos urbanos/regionais. O modelo TRANUS torna-se assim inovador, no sentido em que o método de decisão discreta é rigorosamente aplicado a todos os componentes da região/cidade, ao sistema de transportes, à geração de viagens, à escolha modal, escolha de rota, alocação e escolha do uso do solo.

Em suma, a programação TRANUS consiste numa longa cadeia de modelos de decisão discreta (Modelística, 2007).

3.3.2 Estrutura geral do modelo

Os componentes principais do sistema integrado de usos de solo e transporte estão representados na Figura 8 onde é possível identificar os dois subsistemas – actividades e transporte. Dentro de cada sistema distingue-se os elementos de procura e os de oferta que, interagindo entre si, conduzem a um estado de equilíbrio. A localização ou interacção entre actividades representa a procura no sistema de actividades, tal como a indústria e o sector da habitação se localizam em lugares específicos e interagem entre si para cumprirem as suas funções. As actividades também requerem solo e edifícios para o seu funcionamento (espaço que provém dos promotores imobiliários) que representa o sector da oferta. A interacção entre ambos deve conduzir a um estado de equilíbrio. Se a procura de espaços ultrapassa a oferta num sítio específico, os preços imobiliários aumentam para reduzir a procura, representado assim a variável que conduz o sistema a um estado de equilíbrio (Modelística, 2007).

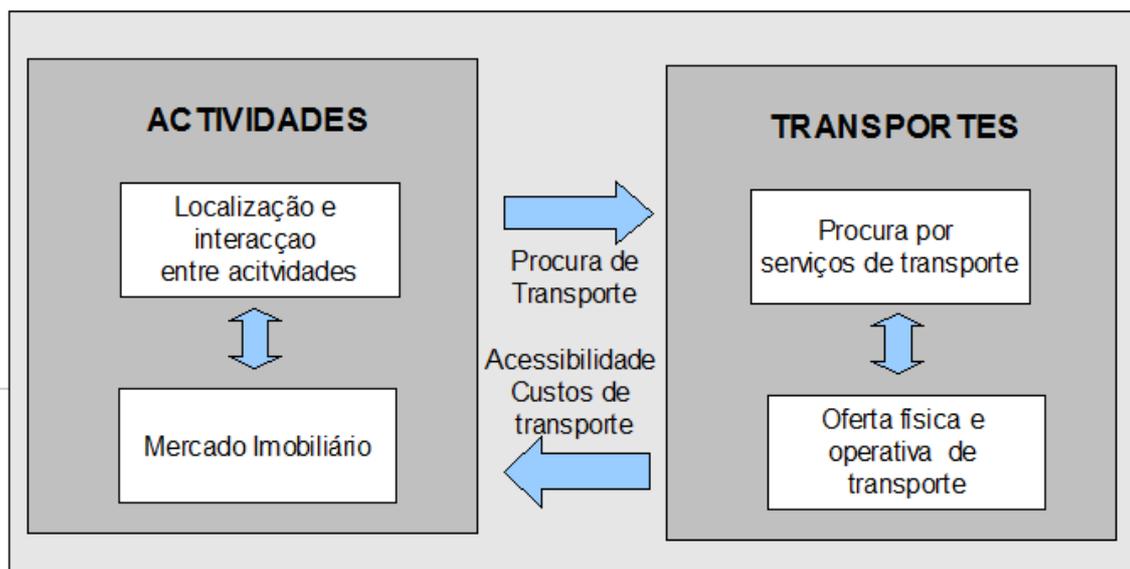


Figura 8 Relações entre os principais componentes do programa TRANUS (Modelística)

Por sua vez a interacção entre actividades gera necessidades de viagem. No sistema de transportes, a procura está representada pelas necessidades de transporte que podem assumir a forma de pessoas viajando para os seus locais de trabalho, ou mercadorias produzidas num lugar e consumidas noutro. Na oferta de transporte, por sua vez, procede-se a uma distinção entre a oferta física e oferta operativa. A oferta física é

constituída pelas infraestruturas em forma de rede, composta por estradas, vias férreas, rotas marítimas ou qualquer outro componente. A oferta operativa é formada por um conjunto de operadores que fornecem os serviços de transporte, tais como rotas de autocarros, camiões, linhas aéreas, e inclusivamente, o automóvel particular ou o caminhar a pé.

O equilíbrio procura-oferta é alcançado mediante uma combinação de dois factores: preço e tempo. Se a procura ultrapassa a capacidade de um serviço, o preço do serviço pode aumentar no entanto, pode ocorrer que o tempo de viagem também aumente. Por exemplo, se o número de passageiros que tenciona abordar um serviço de autocarros ultrapassar a sua capacidade, os tempos de espera também se incrementam. De forma similar, se o número de veículos que tentam circular numa via se aproxima ou ultrapassa a sua capacidade gera-se um congestionamento provocando o aumento do tempo de espera. Assim, o factor tempo assume um papel determinante no equilíbrio. O resultado deste equilíbrio resume-se no conceito de acessibilidade que representa o atrito imposto pelo sistema de transporte inibindo a interacção entre actividades. Consequentemente, a acessibilidade re-alimenta o sistema de actividades afectando a interacção e os preços de equilíbrio no mercado imobiliário. Dado tratar-se de uma função de custos a acessibilidade designa-se também por *desutilidade de transporte*.

Em termos gerais, actividades e transportes influenciam-se mutuamente no tempo. Contudo, nesta dinâmica é importante distinguir entre efeitos a curto prazo e efeitos a longo prazo. Assim, o fluxo de passageiros e mercadorias gerado pela interacção entre actividades económicas localizadas no espaço considera-se como um efeito a curto prazo, já que a procura se associa à oferta de transporte no mesmo período de tempo. O equilíbrio oferta-procura de transporte determina as condições de acessibilidade na zona. No entanto, considera-se como um efeito a longo prazo não ocorrendo no mesmo período de tempo, mas após um determinado intervalo. Portanto, a acessibilidade num período t_1 não afecta a distribuição de fluxos num período t_2 . Como existem elementos de inércia na localização de actividades entre um período e outro, as alterações no sistema de transporte podem tardar vários períodos de tempo para gerar efeitos significativos na localização de actividades e usos do solo. Contudo, uma alteração na rede rodoviária, ou qualquer alteração significativa no sistema de transportes terá um efeito imediato a curto prazo na procura de viagens, mas apenas afectará os fluxos económicos a longo prazo. Por sua vez as mudanças registadas no sistema de

actividades, tais como um incremento na produção em determinados sectores, terão um efeito imediato sobre os fluxos e a procura de transporte (Modelistica, 2007).

3.3.3 Princípios da afectação probabilista logit

A aplicação de um modelo logit (Eq. 1) é uma opção muito conveniente para representar a afectação em modelos de transporte.

$$\text{Pr}(i) = \frac{\exp(-\lambda c_i)}{\sum_{i=1}^N \exp(-\lambda c_i)}$$

Eq. 1

O parâmetro λ denomina-se como parâmetro de dispersão já que regula a forma da função de distribuição da utilidade. Neste caso assume um valor negativo porque está expressa em termos de custos (c). Um grande valor de λ indica que existe muito pouca dispersão na percepção da utilidade, resultando em curvas mais estreitas e com menores possibilidade de sobreposição entre elas (Figura 9). No limite quando $\lambda = 0$, os viajantes são completamente indiferentes ao custo generalizado de cada rota, ou seja $\text{Pr}(i) = 1/N$.

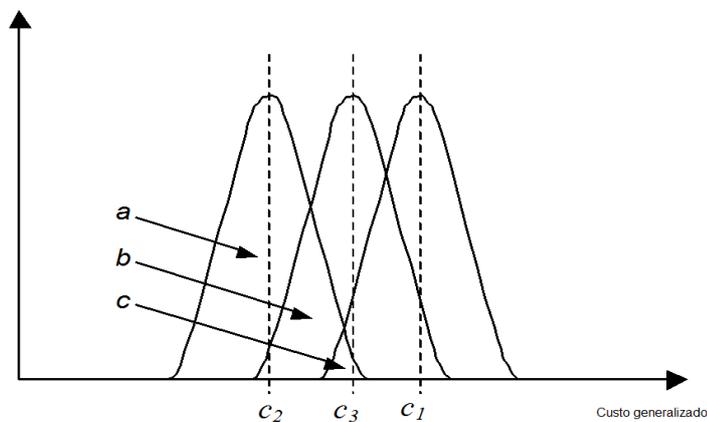


Figura 9 Variabilidade na percepção do custo generalizado

O modelo representa a variabilidade na percepção da utilidade e o efeito da agregação. Além disso, é um modelo consistente com a teoria económica, sendo relativamente fácil de aplicar na prática (de la Barra, 1999). Destaque-se ainda a possibilidade de relacionar vários níveis de decisão de forma a que o fenómeno da afectação se possa combinar de maneira conveniente e consistente com a separação modal e outros possíveis níveis.

3.4 Base de dados do TRANUS

A introdução e selecção de dados no programa de modelação é um processo complexo e diversas vezes empírico devido à escassez de informação disponível a nível intra-freguesia. Seguidamente explicar-se-á o processo de construção da interface gráfica do programa de modelação TRANUS.

3.4.1 Opções de projecto

Para cada aplicação é necessário especificar o número de iterações e o critério de convergência que se aplicará na simulação. O modelo de transporte realizará iterações sucessivas até alcançar o critério de convergência ou o máximo de iterações definido. O critério de convergência é conferido pela máxima diferença na afectação de volumes de tráfego e nas velocidades calculadas na iteração anterior. No presente caso de estudo utilizaram-se os valores definidos por defeito no programa: 30 iterações e 10^{-06} como critério de convergência.

3.4.2 Categorias

As categorias de transporte são um conceito que pretende estipular, para determinados perfis de passageiros, o valor tempo. Ou seja quanto estão dispostos a consumir para realizar determinada viagem.

A estimativa dos valores monetários atribuídos ao tempo de viagem e tempo de espera apresentam-se na Tabela 2 O procedimento consistiu em considerar o valor médio de salário nacional (GET, 2008) e a partir desta base calculou-se o valor equivalente por hora (dividindo por 22 dias por mês e 8 horas de trabalho por dia). O tempo de viagem estimou-se em 1/3 do valor do salário médio por hora e o tempo de espera o dobro desse valor. Este procedimento é indicado numa primeira aproximação pelos autores do programa (Modelística, 2007).

Tabela 2 Estimativa dos valores monetários atribuídos aos tempos de viagem e de espera

Mês (€)	Hora (€)	Tempo viagem (€)	Tempo espera (€)
1063,38	6,04	2,01	4,03

3.4.3 Modos e operadores

a) *Definição dos operadores*

Modelo do uso de solo para Aveiro: Impacto na mobilidade e qualidade do ar

Através do TRANUS é possível definir várias categorias de transportes nomeadamente, transportes públicos. De facto, os resultados do modelo seriam mais interessantes quer do ponto de vista de aproximação à realidade quer na simulação de cenários futuros, se a inclusão da opção transportes públicos fosse uma opção viável à escala deste estudo. No âmbito deste trabalho, vários factores contribuiriam para a sua não inclusão no modelo:

Existência de uma tendência decrescente da utilização dos transportes públicos conforme observável na Figura 10. Segundo os censos em 1991 o autocarro representava 15% da repartição modal, em 2001 este valor já era inferior a 10%, e em 2009 este valor ainda será menor tendo em conta o sucessivo cancelamento de oferta devido à procura decrescente (Soares et al, 2008). Com efeito, os veículos ligeiros representam cerca de 97% do tráfego na cidade, (resultados obtidos pelas filmagens) sendo por isso os grandes responsáveis de emissões na cidade.

Dificuldade em representar correctamente no modelo a oferta actualmente existente. Por um lado, diversas linhas atravessam ligações não representadas no modelo, principalmente na periferia da cidade, por outro, a definição de uma frequência (única variável a introduzir no modelo que simula a oferta disponível em função do tempo) para cada linha torna-se um processo difícil devido ao facto das linhas que atravessam a cidade terem uma oferta em termos de frequência bastante oscilante. Como se verificará adiante, a estrutura de formulação do programa TRANUS facilita a opção pela simulação de uma hora específica do dia, maioritariamente à hora de ponta da manhã (modelos urbanos como o actualmente em construção de Charlotte, EUA, (Khattak e Wang, 2009) optaram por esta via). Este facto conduz a que à hora simulada, possivelmente o autocarro seria uma opção apelativa para o transporte (casa-trabalho, casa-serviços), mas para o regresso devido à inexistência de uma oferta competitiva em termos de frequência, esta opção não seria considerada pelos utentes. A conjugação de todos estes factores tornaria a calibração do modelo bastante complexa.

A introdução de um novo operador no modelo seria mais apelativa e simularia mais adequadamente a realidade se o modelo contivesse vários sectores representando várias classes de população segundo a sua condição económica e a conseqüente disponibilidade específica para escolher determinada opção, em

função do valor da desutilidade do tempo e outros factores de índole social. No entanto, a subdivisão da população em diferentes classes económicas, à escala de um bairro urbano é um processo particularmente complexo de representar sem uma margem de erro considerável devido à escassez de informação disponível para esta escala.

Existência de muitos operadores de transporte público a nível intra e inter-municipal (comboios, barcos e vários operadores privados de autocarros). A inclusão de todos seria um processo particularmente moroso e a inclusão de somente alguns conduziria a um modelo desequilibrado.

Outro estudo semelhante em Charlotte, Carolina do Norte, (Khattak e Wang, 2009) que tem como objectivo final a previsão da qualidade do ar e utiliza o programa TRANUS para simular o uso do solo e a geração de viagens considera apenas os veículos ligeiros e aos resultados obtidos pondera uma percentagem específica de veículos pesados devido à dificuldade de calibração do modelo.

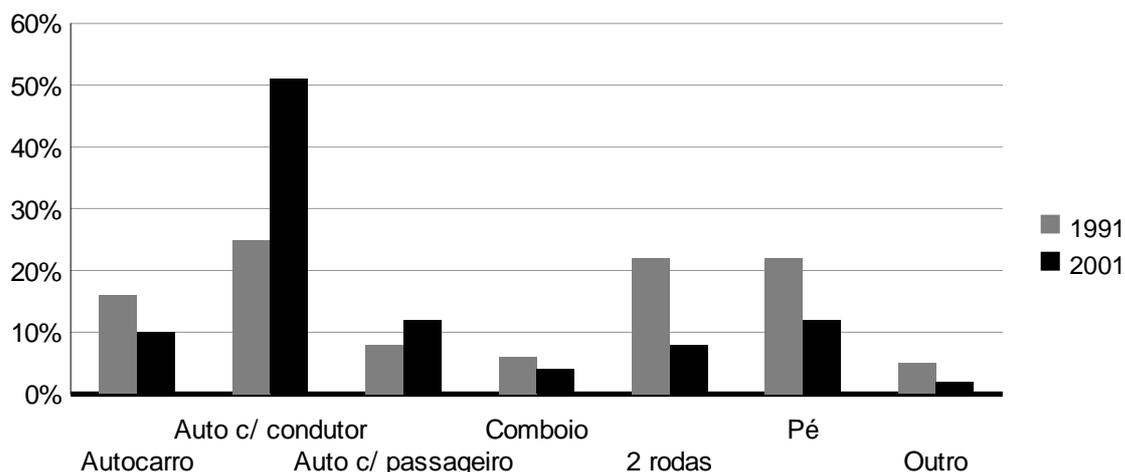


Figura 10 Distribuição modal em Aveiro (Soares et al, 2008)

Considerando todas estas condicionantes, optou-se por simular somente a utilização de transporte individual e a opção da realização das viagens a pé.

b) Definição de custos

A equação seguinte representa a formulação matemática do modelo de consumo do custo de operação relativa à energia. Esta expressão é função da velocidade de circulação.

$$COpEner = \min + (\max - \min) \exp(-\text{par} * \text{Vel}) * \text{preço}$$

“COpEner” representa o custo de operação relativo (à energia em € por km), “min” é o consumo mínimo de energia quando a velocidade de circulação é alta e os veículos operam em condições ótimas e “max” é o consumo máximo quando as velocidades de circulação são próximas de zero; “par” é um parâmetro que regula a forma da função. O resultado desta função é multiplicado pelo preço de cada unidade de energia. No cenário considerado é simulado apenas um operador, no caso os veículos ligeiros. Para o operador “veículo particular” especificou-se que a taxa de ocupação média é 1,5. Considerando os preços de Março de 2009 de Gasolina (1,1€·l⁻¹) e de Gasóleo (0,85 €·l⁻¹) e a correspondente proporção de veículos ligeiros do parque automóvel nacional: Diesel - 48% e Gasolina - 52% (ACAP) estimou-se preço médio de combustível de 0,99 €·l⁻¹ a fim de se obter o custo médio por unidade de distância determinado na Tabela 3. Os dados relativos a consumo por km são oferecidos pelo tutorial do programa (Modelística).

Tabela 3 Consumos e custos para automóveis ligeiros em função da velocidade

Velocidade (km.h ⁻¹)	Consumo (l.km ⁻¹)	Gasto (€.km ⁻¹)
5	0,2454	0,242
10	0,1865	0,184
15	0,1470	0,145
20	0,1205	0,119
25	0,1028	0,101
30	0,0909	0,090
35	0,0829	0,082
40	0,0775	0,077
45	0,0740	0,073
50	0,0716	0,071
55	0,0699	0,069
60	0,0689	0,068
65	0,0681	0,067
70	0,0677	0,067
75	0,0673	0,066
80	0,0671	0,066
85	0,0670	0,066
90	0,0669	0,066

Considerou-se ainda que os utilizadores dos veículos pagam 100% do custo de operação do mesmo. Estes custos foram determinados de forma relativamente simplificada, ou seja, tendo em conta somente a amortização do valor do veículo num período de 10 anos, durante as horas de utilização do mesmo (270 dias por ano, 2 horas por dia). O modelo, automaticamente, divide o custo de operação pela ocupação média dos veículos. Esta utilidade é sobretudo útil por exemplo, na fixação de tarifas em transportes públicos.

Tabela 4 Estimativa do custo (€) de utilização de veículo ligeiro por unidade de tempo

Preço Veículo	Amortização		
	10 anos	Diário (270 dias)	Hora (2horas)
15000	1500	5,56	2,78

No presente caso definiram-se 5 tipos de vias (auto-estrada, estrada nacional, avenida urbana de 4 vias, rua urbana de 2 a 3 vias e acesso local às zonas definidas). Para cada tipo de via é necessário definir qual o administrador. Por simplificação definiu-se o Estado como administrador de todos os tipos de vias.

As características de cada *link* (via) são descritas através de vários parâmetros relacionados com a restrição de capacidade da via (ou função de fluxo-demora) que regulará as vias com as mesmas características. As funções internas do modelo são definidas por 3 parâmetros:

% Speed Reduction at V/C=1 – Percentagem a que se reduz a velocidade a fluxo livre quando a relação Volume/Capacidade é superior a 1.

% Max Speed Reduction – Percentagem máxima em que será reduzida a velocidade a qualquer relação V/C

V/C at Max Speed Reduction – Relação V/C à qual se aplica a variável anterior.

Tendo em conta vários exemplos tais como a base de dados do modelo de Swindow, gentilmente cedida por de la Barra, e os manuais do programa, definiram-se, além da capacidade (veículos/hora) os três parâmetros anteriores com valores de 50%, 90% e 120%, respectivamente.

Posteriormente, definiram-se uma série de condicionantes adicionais que afectam as relações entre operadores e tipos de vias.

Speed - **Velocidade** a fluxo livre para cada operador.

Charges – Variável que define encargos adicionais como possíveis portagens.

Distance Cost - Componente de **custo** de operação que representa o custo de operação por unidade de distância.

O custo unitário por quilómetro foi primeiramente definido tendo em conta o custo relativo aos consumos e o custo representativo da amortização do veículo. Contudo, a geração de viagens simulada seria inferior ao número de viagens em automóvel efectivamente realizadas porque geralmente os passageiros não têm em conta este último factor. Neste sentido, optou-se por adicionar empiricamente um pequeno custo aos custos relativos aos consumos (Tabela 5).



Figura 11: Perfil típico de diferentes categorias de vias consideradas

Tabela 5. Custos unitários definidos em função do tipo de via

Tipo de via	Velocidade (km.h ⁻¹)	Custo (€.km ⁻¹)
Acesso local	30	0,1
Rua urbana	35	0,1
Avenida 4 vias	50	0,08
Estrada nacional	70	0,07
Auto-estrada	110	0,08

3.4.4 Definição da rede

Definiu-se uma rede composta por 20 zonas e 26 nós de conexão. Entre o perímetro delimitado pela EN109 e a A25 foram definidas 9 zonas centrais pertencentes às

freguesias de Vera Cruz, Glória e Esgueira. A delimitação destas zonas internas procurou representar vários pólos significativos da cidade com características comuns, não seguindo por isso estritamente as fronteiras físicas das freguesias. Fora deste perímetro as zonas são definidas rigorosamente pelas freguesias adjacentes, (Aradas, São Bernardo, Santa Joana e Cacia), pela zona Industrial de Taboeira e pelo concelho de Ílhavo, dividido em duas zonas que representam as freguesias que têm uma relação de maior proximidade com a EN109 (Ílhavo) e com a A25 (Praias/Gafanhas). Foram ainda definidas 4 zonas externas representando os restantes concelhos adjacentes (Águeda, Estarreja, Oliveira do Bairro e Albergaria-a-Velha). Enquanto os dados sectoriais específicos de cada zona interna são utilizados pelo modelo para gerar as deslocações, as zonas externas não entram no processo iterativo de modelação, permitindo no entanto que, através de uma matriz origem-destino, seja possível inserir no modelo um determinado número de deslocações no período da modelação definido.

A Figura 12 representa o aspecto gráfico no ambiente TRANUS. É possível identificar as zonas internas a azul, as zonas externas a vermelho e as diversas vias consideradas na modelação. A Figura 13 representa a distribuição espacial das zonas internas consideradas no modelo e a Tabela 6 a sua localização administrativa.

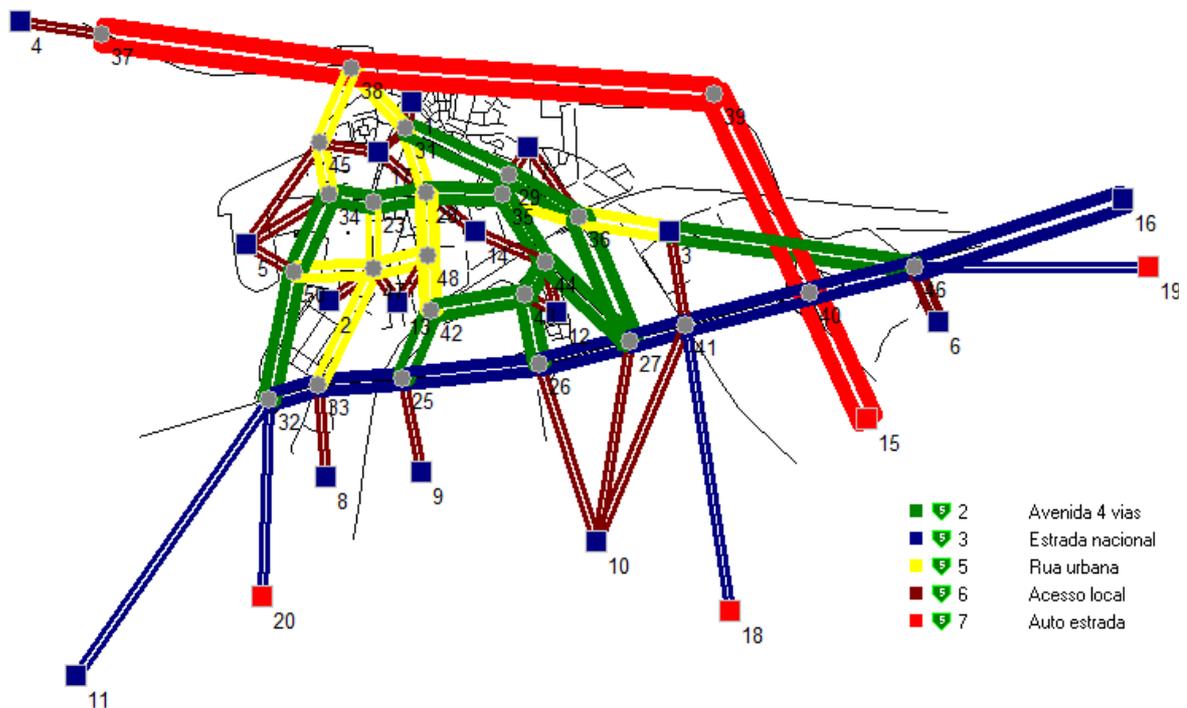


Figura 12: Identificação dos nós de conexão (Ambiente TRANUS)



Figura 13: Localização das zonas internas

Tabela 6: Identificação das zonas e sua localização geográfica

Identificação	Zona	Concelho	Freguesia
1	Beira Mar	Aveiro	Vera cruz
2	Santiago	Aveiro	Vera cruz
3	Esgueira	Aveiro	Esgueira
4	Praias – Gafanhas	Ílhavo	Ílhavo Oeste
5	Universidade	Aveiro	Glória
6	Zona Industrial	Aveiro	Esgueira
7	Barrocas	Aveiro	Vera cruz
8	Aradas	Aveiro	Aradas
9	São Bernardo	Aveiro	São Bernardo
10	Santa Joana	Aveiro	Santa Joana
11	Ílhavo	Ílhavo	Ílhavo Este
12	Forca	Aveiro	Vera cruz
13	Bairro do Liceu	Aveiro	Glória
14	Antiga Feira	Aveiro	VeraCruz
16	Albergaria	Albergaria a Velha	Todas
17	Cacia	Aveiro	Cacia
15	Marquês de Pombal	Aveiro	Glória
18	Águeda	Águeda	Todas
19	Estarreja	Águeda	Todas
20	Oliveira do Bairro	Oliveira do Bairro	Todas

3.4.5 Actividades e uso do solo

A estrutura básica do modelo de uso de solo assenta no conceito de sectores que podem assumir vários significados como população, ocupação do solo e sectores económicos.

No caso de estudo, o plano inicial passava pela definição de vários sectores com estrutura semelhante a várias outras cidades e regiões modeladas segundo a classe económica da população, sectores na qual as sub-actividades económicas são divididas pelos serviços nacionais de estatística e sectores que representam várias classes de solo disponível (industrial, residencial, agrícola).

No entanto, dada a dimensão da zona de estudo, a escassez de informação à escala menor que a freguesia e a dificuldade no estabelecimento de coeficientes que relacionem as várias actividades, optou-se por uma estrutura simplificada. Assim, o modelo está configurado em quatro sectores:

Sector população (nº de habitantes)

Sector emprego básico (empregos do sector primário e secundário)

Sector emprego serviços (empregos do sector de serviços)

Sector solo (hectares de solo por construir)

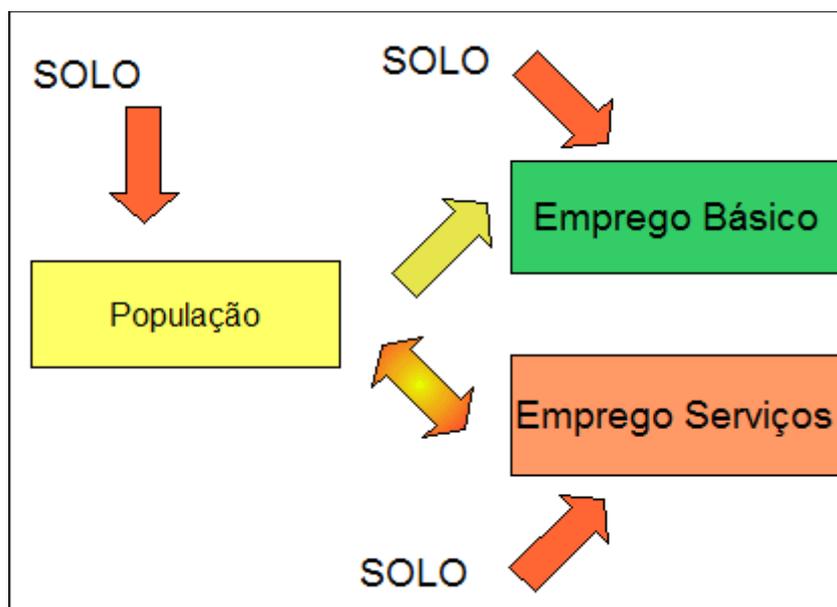


Figura 14: Esquema das relações intersectoriais definidas no modelo.

Na concepção do modelo supõe-se que o emprego básico (no caso Agricultura e Indústria) é inteiramente exógeno, ou seja, considera-se que a produção deste sector corresponde à produção não gerada pelas procuras internas de outros sectores, sendo equivalente à procura final nos modelos insumo-produto. A sua localização não depende dos mecanismos que o modelo simula, mas antes de decisões políticas ou de elementos

Modelo do uso de solo para Aveiro: Impacto na mobilidade e qualidade do ar

não modelados externos ao sistema de análise. Contudo, esta produção depende de outros parâmetros de entrada *do sistema* (população e solo).

O sector de emprego de serviços (que por simplificação engloba as actividades educativas) e a população são sectores induzidos, porque representam a produção dos sectores gerada dentro da área de estudo destinada a satisfazer a procura interna de outros sectores. Assim o emprego de serviços consome população e solo.

O principal parâmetro a especificar para cada um destes sectores é o da dispersão do modelo logit. O solo é considerado como um sector não transportável, portanto o parâmetro de dispersão é zero, ainda que seja consumido pelos restantes sectores. Como o emprego básico é inteiramente exógeno, não se fará nenhuma distribuição da produção e portanto este parâmetro será zero. Para os sectores induzidos, por exemplo, o emprego de serviços o parâmetro será maior que zero, neste caso especificou-se o valor um.

a) População

O sector “População” foi definido considerando os registos dos Censos 2001 disponibilizados pelo INE. A Tabela 7 apresenta o número de habitantes para as freguesias que contém zonas internas do modelo.

Tabela 7: Número de habitantes por freguesia modelada (INE)

Freguesia/Concelho	Habitantes
Aradas	7628
Cacia	3144
Esgueira	5253
Gloria	9917
Santa Joana	7426
São Bernardo	4079
Vera cruz	8652
Ílhavo	37209

Nas freguesias de Aradas, São Bernardo, Santa Joana e Cacia, não houve necessidade de elaborar qualquer tratamento de dados visto que as zonas definidas no modelo coincidem exactamente com os limites da freguesia. As restantes delimitações administrativas contêm várias zonas definidas no modelo. Numa primeira aproximação dividiu-se o número de habitantes de cada freguesia pelo número de zonas que esta continha. No entanto, dada a especificidade de cada zona procurou-se ponderar o

número de habitantes de cada zona através da introdução de um factor empírico (fd) relacionado com a densidade populacional aparente (densidade e altura de edifícios, área residencial ou de serviços). Atentando à extensão do concelho de Ílhavo e a conseqüente diminuição das relações sócio-económicas em zonas mais distantes do concelho de Aveiro considerou-se apenas metade da população do concelho, após aproximações sucessivas na calibração do modelo. Na Tabela 8 , indica-se a população atribuída a cada zona interna TRANUS e o factor ponderador de densidade considerado (1 – baixo, 2 – médio, 3 – alto).

Tabela 8: População estimada para cada zona

Zona Transus	Freguesia	fd	Pop. Zona
1 Beira-mar	Vera cruz	2	1573
2 Santiago	Gloria	3	3719
3 Esgueira	Esgueira	2	4253
4 Gafanhas – Praias	Ílhavo	-	18605
5 Universidade	Glória	1	1240
6 Zona Industrial	Esgueira	1	1000
7 Barrocas	Vera cruz	3	2360
8 Aradas	Aradas	-	7628
9 São Bernardo	São Bernardo	-	4079
10 Santa Joana	Santa Joana	-	7426
11 Ílhavo	Ílhavo	1	18605
12 Forca	Vera cruz	3	2360
13 Bairro do Liceu	Glória	3	3719
14 Antiga Feira	Vera cruz	3	2360
16 Cacia	Cacia	-	7007
17 Marques Pombal	Glória	1	1240

b) Dados socioeconómicos – Emprego – Educação

A informação relativa a empregos por sector económico à escala de freguesia tem como a base a informação recolhida no Gabinete de Planeamento e Estratégia do Ministério do Trabalho e da Solidariedade Social correspondendo a dados de 2004. Os sectores relativos ao emprego foram introduzidos no modelo segundo a relação definida na Tabela 9.

Tabela 9: Relação entre sector económico e sector definido no TRANUS

Sector económico	Sector TRANUS
a - agricultura, produção animal, caça e silvicultura	Básico
b - pesca	Básico
c - indústrias extractivas	Básico
d - indústrias transformadoras	Básico
e - produção e distribuição de electricidade, gás e água	Serviços
f - construção	Serviços
g - comércio por grosso e a retalho	Serviços
h - alojamento e restauração (restaurantes e similares)	Serviços
i - transportes, armazenagem e comunicações	Serviços
j - actividades financeiras	Serviços
k - actividades imobiliárias	Serviços
l - administração pública, defesa e segurança social	Serviços
m - educação	Serviços
n - saúde e acção social	Serviços
o - outras actividades de serviços	Serviços

A informação recolhida para cada freguesia apresenta-se resumida na Tabela 10

Tabela 10: Número de empregos no sector básico e de serviços por freguesia (GET, 2008)

Freguesia	Básico	Serviços
Aradas	812	1497
Cacia	2923	1298
Esgueira	2795	4253
Glória	393	5704
São Bernardo	338	871
Vera cruz	447	5281
Santa Joana	178	773
Ílhavo	4902	4462

Para cada zona definida em TRANUS foi estimado o emprego básico por zona, sendo idêntico no caso de zonas coincidentes geograficamente com os limites da freguesia. Para as restantes zonas o ajuste foi efectuado ponderando o número de zonas por freguesias e fazendo alguns ajustes através do conhecimento empírico das características gerais de cada zona (Tabela 11). No caso do emprego de serviços, para as zonas Universidade, Bairro do Liceu e Marquês de Pombal, foram adicionados empregos relacionados com o facto de existirem vários equipamentos escolares com um

preponderância significativa na zona, tentando assim, representar os alunos existentes nestas zonas.

Tabela 11 Número de empregos estimado para cada zona

Zona	Emprego Básico	Emprego Serviços
1 Beira-mar	0	220
2 Santiago	98	2230
3 Esgueira	295	3402
4 Praias - Gafanhas	1000	500
5 Universidade	98	7000
6 Zona Industrial	2500	851
7 Barrocas	224	2320
8 Aradas	812	1497
9 São Bernardo	338	871
10 Santa Joana	178	773
11 Ilhavo	2000	1500
12 Forca	112	1320
13 Bairro do Liceu	98	2426
14 Antiga Feira	112	2220
16 Cacia	2923	500
17 Marques Pombal	98	1000

c) Solo

O solo disponível é uma importante variável que possibilita ao modelo alcançar o equilíbrio através da relação oferta-procura e o preço das rendas. Esta relação é sobretudo útil quando o objectivo principal não passa pela modelação dos efeitos do uso do solo na geração de viagens mas se pretende ainda avaliar os efeitos da política de transportes no planeamento urbano, sendo a questão fundamental nesse caso, o conhecimento de quais são as zonas em que existiria um previsível incremento da procura de determinada zona em função das acessibilidades previstas.

Para o caso de estudo concreto, a principal motivação é conhecer o padrão de deslocações entre as várias zonas, a fim da avaliação dos impactos energéticos e ambientais, pelo que o factor solo disponível não se afigura de capital importância. No entanto, como ponto de partida para uma primeira iteração do cenário actual e possíveis desenvolvimentos futuros, forneceu-se determinados dados ao modelo, nomeadamente sobre a área de solo disponível e o preço de renda médio para cada. A área de solo disponível para construção nas freguesias urbanas (Vera Cruz, Glória e Esgueira) foi aproximadamente estimada através do plano director municipal de Aveiro (CMA) (Figura 15). Às restantes zonas (freguesias extra-urbanas) foi atribuído um valor suficientemente

Modelo do uso de solo para Aveiro: Impacto na mobilidade e qualidade do ar

alto para não limitar o modelo neste aspecto. Quanto ao valor de renda e através de uma breve análise do mercado imobiliário da cidade, arbitrou-se empiricamente um valor máximo de 7,50 €/m².mês no centro de Aveiro e uma diminuição gradual para as zonas limítrofes.

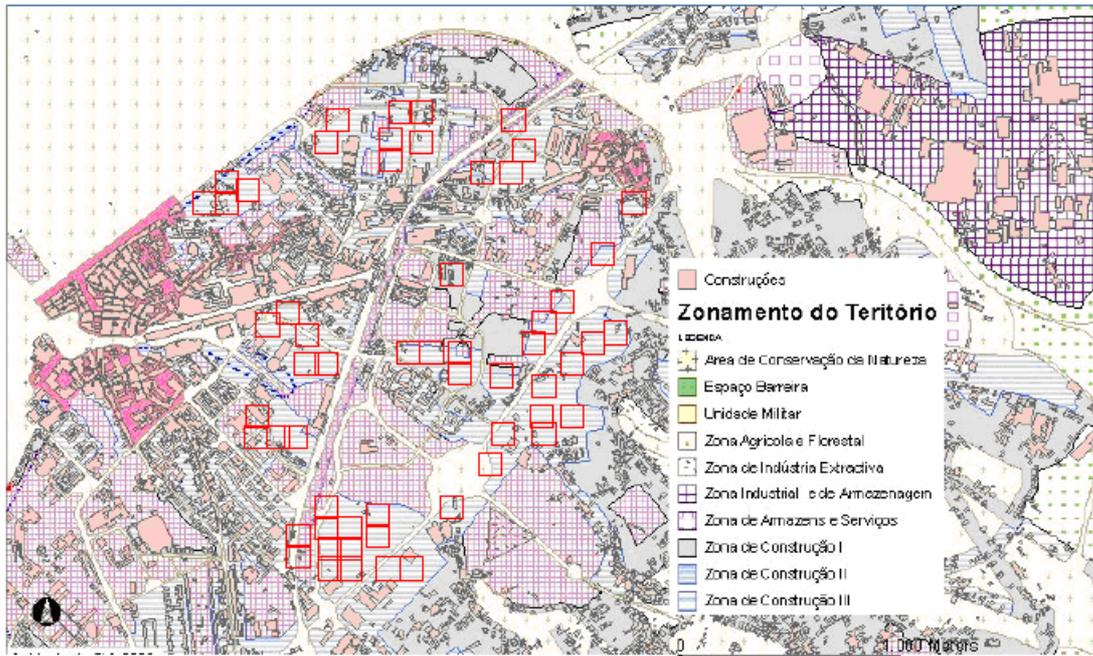


Figura 15: Estimativa aproximada da área para construção (Adaptado PDM CMA,2009)

A Tabela 12 resume os dados inseridos relativamente ao sector solo.

Tabela 12: Área livre para construção e rendas atribuídas empiricamente por zona

Zona	Área (ha)	Renda (€.ha ⁻¹)
1 Beira-mar	3	50000
2 Santiago	1	30000
3 Esgueira	15	40000
4 Praias	50	25000
5 Universidade	2	60000
6 Zona Industrial	50	25000
7 Barrocas	7	60000
8 Aradas	50	25000
9 São Bernardo	50	25000
10 Santa Joana	10	30000
11 Ilhavo	100	25000
12 Forca	8	55000
13 Bairro do Liceu	8	50000
14 Antiga Feira	10	50000
16 Cacia	100	25000
17 Marques Pombal	2	75000

3.4.6 Categorias de transporte

As categorias de transporte definem o perfil de viagem que os passageiros realizam no período de simulação. No presente estudo simulou-se as viagens para o trabalho e para os serviços com origem em casa. As viagens com origem e destino fora da zona modelada, não fazem parte do âmbito deste estudo.

Para cada categoria foi necessário definir uma serie de factores:

Tipo: Normal – 0, Esporádica - 1: Neste caso todos os fluxos são normais, ou seja são repetidos quotidianamente.

Factor tempo – Este factor utiliza-se para transformar as unidades de tempo do modelo de uso do solo nas unidades de tempo do modelo de transporte. Neste caso, as unidades do uso do solo estão representadas em termos mensais, enquanto que o modelo de transporte representa a hora de ponta. Supondo que o comportamento de tráfego em Aveiro apresenta aproximadamente um perfil de tráfego semelhante a outras cidades e que a hora de ponta representa 10% do total diário (de la Barra, Modelística) e que as viagens para o trabalho se realizam 22 vezes por mês (dias úteis), então o factor definido corresponderá ao produto entre estes dois factores (10 x 22 = 220).

Factor Volume – Utiliza-se para transformar unidades monetárias a unidades de peso no caso da simulação do transporte de mercadorias. No presente estudo este factor não é considerado.

Fluxo para produção / Fluxo para consumo – Esses factores são utilizados para transformar a direcção dos fluxos. As matrizes de fluxo no modelo de uso do solo são geradas desde o sector de produção até ao sector de consumo. Na hora de pico matinal, o sector de consumo é o emprego e o sector de produção é a população. Assim indica-se 1 (100%) no sentido correspondente ao consumo 0% no sentido inverso.

No caso das viagens para os serviços, a população são os consumidores e a produção é o emprego de serviço, todavia como é a população que viaja até ao serviço na hora de ponta, então o factor em direcção à produção definiu-se como 1 e o factor até ao consumo definiu-se como 0 (zero).

3.4.7 Funções de geração de viagens

O modelo de uso de solo gera duas matrizes de fluxos: relação – trabalho-população e serviços-população. Como estas matrizes são obtidas através da interacção entre actividades, produto de uma distribuição espacial, a primeira matriz soma o total de população e a segunda o total de emprego de serviços, não sendo portanto, viagens. Estas devem ser transformadas em matrizes de deslocações aplicando funções geradoras de viagens para cada categoria. No modelo TRANUS estas funções são elásticas, significando que enquanto mais próximas estão as zonas de origem destino, mais viagens serão geradas dentro de um limite máximo e mínimo e com uma elasticidade determinada (Modelistica, 2007). Após várias tentativas de calibração, visando obter a menor percentagem de desvio quadrático relativamente às contagens de tráfego realizadas, foram obtidos os seguintes factores:

Por cada iteração população-trabalho, gerar-se-á um mínimo de 0,45 viagens na hora de ponta e um máximo de 0,8 com um parâmetro de elasticidade de 0,045.

Por cada iteração população-serviços, gerar-se-á um mínimo de 0,4 viagens na hora de ponta e um máximo de 1 com um parâmetro de elasticidade de 0,06.

A Tabela 13 enquadra os resultados obtidos com outro estudo realizado com TRANUS em Swindon, Reino Unido (de la Barra et al, 1998) e valores de referência do manual do programa (Modelistica, 2007).

Tabela 13: Comparação entre factores atribuídos para as funções geradoras de tráfego

	Casa - Trabalho			Casa - serviços		
	Mínimo	Máximo	Elasticidade	Mínimo	Máximo	Elasticidade
Aveiro	0,4500	0,8000	0,0045	0,4000	1,0000	0,0600
Swindon	0,9000	1,8000	0,0030	0,4000	1,0000	0,0050
Tranus	0,4000	0,7500	0,0045	0,4500	0,6000	0,6000

3.4.8 Viagens Exógenas – Concelhos adjacentes

Como foi descrito previamente o modelo apenas gera automaticamente categorias de viagens com origem nas zonas internas. Com o intuito de aproximar o número de viagens simulado no modelo ao número de viagens efectivamente realizado, optou-se por introduzir para os concelhos adjacentes ao concelho de Aveiro (à excepção de Ílhavo) as viagens realizadas de e para os concelhos vizinhos adjacentes com base na informação disponível no plano de mobilidade para a cidade de Aveiro relativa aos censos de 2001 (Soares et al, 2008). Considerou-se que à semelhança da geração de viagens simulada nas zonas internas do modelo, a hora de ponta representa 10% do total de viagens diárias. Para cada par origem-destino foram seleccionadas aleatoriamente 3 zonas, dividindo-se equitativamente o número de viagens para cada zona.

Tabela 14: Nº de viagens introduzidas externamente no modelo

	Hora de Ponta		Destino ZONA
	Entrada	Saída	
Águeda	73	103	1, 7, 14
Albergaria a Velha	33	200	1, 7, 17
Estarreja	29	162	1, 5, 12
Oliveira do Bairro	54	109	1, 7, 14

3.5 Modelo de Emissões de Poluentes Atmosféricos

Tendo em conta o tráfego atribuído a cada via na hora de ponta pelo modelo de uso do solo e transporte, estimaram-se as emissões de poluentes que seriam emitidas.

3.5.1 Características gerais

O conceito base do programa TREM que possibilita estimativa das emissões de poluentes dos transportes pode ser traduzido pela seguinte expressão:

$$E = Fe * a,$$

onde “E” é a quantidade emitida, “Fe” o factor de emissão por unidade de actividade, e “a” a quantidade de actividade do transporte. Esta equação é aplicada a cada categoria de veículos, uma vez que os factores de emissão e a actividade variam consoante a categoria.

O factor de emissão, “e”, é usualmente expresso em g.km⁻¹ e primariamente relacionado com as condições de condução e tipo de veículo. A actividade, “a”, é o produto entre o número de veículos de cada categoria e a distância percorrida por veículo numa determinada unidade de tempo, em quilómetros (DAO, 2007).

a) Factores de emissão

O modelo baseia os factores de emissão na velocidade média, devido à ausência de informação mais detalhada sobre a dinâmica dos veículos. O modelo TREM considera ainda diferentes tecnologias (tipo de motor, idade do veículo) e a cilindrada para derivar os factores de emissão.

b) Tipo de emissões

O cálculo das emissões do tráfego rodoviário resulta do somatório das emissões a quente, emissões em arranque a frio (temperatura de água inferior a 70 °C) e emissões evaporativas (provenientes da evaporação dos combustíveis).

c) Categorias de veículos

Foram consideradas as seguintes categorias de veículos

- Ligeiros de passageiros a gasolina - PG;
- Ligeiros de passageiros a Diesel – PD;

- Ligeiros comerciais a Diesel - LC
- Pesados de mercadorias a Diesel - PES ;
- Autocarros - BUS;
- Motociclos - MTC;

e) *Classes de veículos*

Adicionalmente, é introduzida uma classificação detalhada dos veículos no modelo de emissão. Esta classificação é baseada no ano do modelo, tipo de motor, norma de emissão e cilindrada. No anexo A apresenta-se uma lista detalhada das classes dos veículos. A fim de se identificar o nível de controlo de emissões, o ano dos veículos é relacionado com os anos de introdução das várias normas da legislação europeia relativa às emissões. Na Tabela 15, apresenta-se as datas de implementação das normas de emissão (DAO, 2007).

Tabela 15: Datas da implementação das normas de emissão

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Ligeiros de passageiros a gasolina	ECE 1504	EURO 1			EURO 2			EURO 3			EURO 4										
Ligeiros de passageiros a Diesel e GPL	EURO 1			EURO 2			EURO 3			EURO 4											
Ligeiros de mercadorias	CONVENCIONAL			EURO 1		EURO 2		EURO 3			EURO 4										
Pesados de mercadorias e autocarros	CONVENCIONAL		EURO 1		EURO 2		EURO 3		EURO 4		EURO 5										
Motociclo	CONVENCIONAL			FASE 1			FASE 2														

3.5.2 Estimativa da composição do parque automóvel da cidade

A composição relativa do parque automóvel é um dado fundamental na modelação da qualidade do ar. Foram consideradas várias hipóteses tendo como propósito o estabelecimento de um padrão comum para posterior introdução no programa de modelação de emissões.

Como se verificará no capítulo 4.1.1, os desvios registados pelo método CMA inviabilizaram a sua utilização para estimar a composição do parque automóvel que

Modelo do uso de solo para Aveiro: Impacto na mobilidade e qualidade do ar

circula na cidade, no que diz respeito às suas categorias. Aproveitando o facto de se terem realizado filmagens para contagens de tráfego nas entradas principais da cidade, foi feita uma contagem diferenciada em 31 períodos de 15 minutos com o objectivo de quantificar a percentagem relativa de autocarros, motociclos, veículos pesados e ligeiros. Os resultados apresentam-se na Tabela 16, indicando-se na primeira coluna o número total de veículos e seguidamente o número e a percentagem relativa de cada categoria.

Tabela 16: Distribuição de veículos observada nas filmagens

Total	Pesados	Bus	Motociclos	Pesados	Bus	Motociclos	Ligeiros
135	0	0	2	0,00%	0,00%	1,48%	98,5%
168	2	2	0	1,19%	1,19%	0,00%	97,6%
180	0	0	3	0,00%	0,00%	1,67%	98,3%
162	1	1	0	0,62%	0,62%	0,00%	98,8%
236	2	7	3	0,85%	2,97%	1,27%	94,9%
209	0	5	3	0,00%	2,39%	1,44%	96,2%
224	1	5	6	0,45%	2,23%	2,68%	94,6%
167	1	6	2	0,60%	3,59%	1,20%	94,6%
180	1	2	2	0,56%	1,11%	1,11%	97,2%
158	2	0	1	1,27%	0,00%	0,63%	98,1%
186	2	2	0	1,08%	1,08%	0,00%	97,8%
150	2	1	0	1,33%	0,67%	0,00%	98,0%
69	4	3	3	5,80%	4,35%	4,35%	85,5%
68	2	4	4	2,94%	5,88%	5,88%	85,3%
78	0	4	4	0,00%	5,13%	5,13%	89,7%
77	2	1	1	2,60%	1,30%	1,30%	94,8%
69	1	0	0	1,45%	0,00%	0,00%	98,6%
68	1	0	0	1,47%	0,00%	0,00%	98,5%
77	4	0	1	5,19%	0,00%	1,30%	93,5%
73	0	0	4	0,00%	0,00%	5,48%	94,5%
40	1	0	0	2,50%	0,00%	0,00%	97,5%
48	1	0	1	2,08%	0,00%	2,08%	95,8%
40	1	0	0	2,50%	0,00%	0,00%	97,5%
45	1	0	0	2,22%	0,00%	0,00%	97,8%
84	0	2	0	0,00%	2,38%	0,00%	97,6%
129	0	2	0	0,00%	1,55%	0,00%	98,4%
140	0	2	2	0,00%	1,43%	1,43%	97,1%
121	2	2	0	1,65%	1,65%	0,00%	96,7%
120	3	3	1	2,50%	2,50%	0,83%	94,2%
109	3	0	1	2,75%	0,00%	0,92%	96,3%
174	2	0	3	1,15%	0,00%	1,72%	97,1%
3784	42	54	47	1,1%	1,4%	1,2%	96,2%

Contudo, apesar da amostra significativa, este método não está isento de alguns erros, sobretudo em algumas situações dúbias na diferenciação entre comerciais ligeiros e pesados. Deste modo, optou-se por considerar ainda os dados disponíveis mais recentes

(2007) da composição do parque automóvel da ACAP para o distrito de Aveiro, apresentados na Tabela 17.

Tabela 17: Distribuição de classes de veículos no distrito de Aveiro (ACAP).

	Ligeiros	Comercias	Total Ligeiros	Pesados	Autocarros	Total	Motas
TOTAL	314514	86593	401107	10644	876	412627	46446
PERCENTAGEM	76,2%	21,0%	97,2%	2,6%	0,2%	100,0%	

Verifica-se que os resultados são semelhantes aos obtidos através das contagens realizadas nas filmagens. A maior diferença reside no elevado número de motociclos, existindo também um ligeiro acréscimo no número de pesados de mercadorias e um decréscimo no número de pesados de passageiros. Possíveis explicações para estes desvios são o facto de o número de motociclos registado ser claramente superior ao que circula efectivamente nas estradas e também o facto da área de estudo deste trabalho ser predominantemente urbana, sendo admissível que o número de autocarros seja ligeiramente superior e o número de pesados de mercadorias seja inferior.

A composição relativa do tipo de combustível para os veículos ligeiros, foi efectuada tendo em conta a idade do parque automóvel nacional e os números da evolução de vendas de ligeiros de passageiros em Portugal (ACAP, 2007) e a evolução relativa de venda de ligeiros de passageiros a gasóleo (ACEE, 2007) expressa na Tabela 18. Concluiu-se que 31% dos veículos ligeiros de passageiros são equipados com motor Diesel e 69% são a gasolina. Note-se que neste cálculo se considerou que a evolução de vendas de veículos ligeiros em Aveiro era semelhante ao restante território.

Tabela 18: Determinação da percentagem relativa do tipo de combustível nos veículos ligeiros de passageiros I (ACAP) e (ACEA)

Idade	Portugal		Ligeiros Passageiros (unidades)	Vendas Gasóleo (%)	Aveiro		Gasóleo (unidades)	Gasolina (unidades)
	Ligeiros Passageiros (unidades)	Idade (%)			Vendas Gasolina (%)	Gasolina (%)		
Até 1 ano	203320	4,64	14.603	0,71	0,29	10354	4250	
De 1 a 2 anos	211868	4,84	15.217	0,65	0,35	9922	5296	
De 2 a 3 anos	232108	5,3	16.671	0,63	0,37	10553	6118	
De 3 a 4 anos	235075	5,37	16.884	0,59	0,41	9928	6956	
De 4 a 5 anos	234831	5,36	16.866	0,45	0,55	7573	9293	
De 5 a 10 anos	1562539	35,68	112.227	0,33	0,67	36810	75416	
De 10 a 15 anos	1042859	23,82	74.902	0,12	0,88	9026	65876	
De 15 a 20 anos	565792	12,92	40.637	0,05	0,96	1829	38808	
Mais de 20 anos	90608	2,07	6.508	0,02	0,98	130	6378	
Total	4379000	100	314514			96123	218391	
						31%	69%	

Finalmente, ponderando os vários dados obtidos e tendo em conta que o programa de modelação de emissões, TREM, apenas considera valores inteiros relativos à composição do parque automóvel optou-se pela composição descrita na Tabela 19.

Tabela 19: Percentagem relativa de cada categoria de veículos considerada no modelo

Passageiros		Comercias Diesel	Pesados		Motos	
Diesel	Gasolina		Passageiros Diesel	Mercadoria Diesel	Gasolina	
23	53	21	1	1	1	

3.6 Modelo de qualidade do ar

3.6.1 Características gerais

O TAPM é um modelo Euleriano tridimensional de qualidade do ar, que estima a meteorologia e a concentração de poluentes no ar ambiente. Baseia-se nas principais equações da dinâmica de fluidos e de transporte. A Figura 16 representa os dois módulos principais, o meteorológico e o de poluição atmosférica.

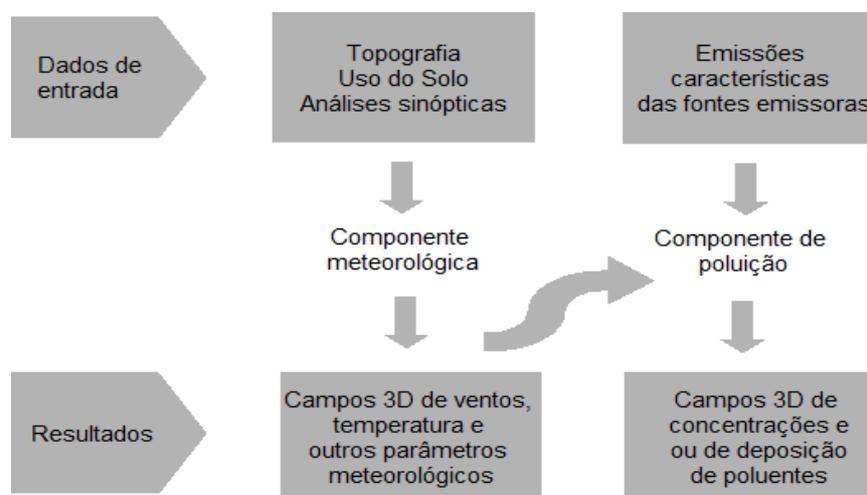


Figura 16: Representação esquemática do Modelo TAPM (Adaptado de Sá e Calado, 2007)

No primeiro, o modelo estima os parâmetros meteorológicos originando valores de entrada na componente de poluição. No caso da componente meteorológica, o modelo utiliza bases de dados globais de orografia, uso do solo, temperatura superficial e condições sinópticas. A base de dados usada para os valores referentes à orografia, uso do solo e vegetação provém da *Earth Resources Observation Systems* (EROS), que é disponibilizada num sistema de coordenadas de latitude e longitude, com um espaçamento de 1 km. Relativamente à temperatura superficial do mar a informação é disponibilizada pelo *US National Center for Atmospheric Research* (NCAR), em médias mensais, atendendo às coordenadas de longitude e latitude, com um espaçamento de 100 km.

Em relação à base de dados sinóptica são utilizadas médias de seis horas numa grelha de espaçamento de 75 a 100 km, tendo em consideração as coordenadas de longitude e latitude, fornecidas pelos modelos *Limited Area Prediction System* (LAPS) e *Global Analysis and Prediction* (GASP) do *Bureau of Meteorology* (BOM). O TAPM resolve a equação da conservação da quantidade de movimento para as componentes horizontais do vento, a equação da continuidade de um fluido incompressível para a componente vertical e as equações escalares para a temperatura potencial e humidade específica (Hurley *et al.*, 2005).

Modelo do uso de solo para Aveiro: Impacto na mobilidade e qualidade do ar

No que se refere à interpretação de resultados o modelo fornece a evolução temporal do campo tridimensional de concentrações de um poluente, assim como a análise do tipo de pluma de uma determinada fonte pontual, não se resumindo apenas à avaliação do cumprimento da legislação.

O TAPM utiliza a formulação Euleriana tridimensional desenvolvida para a simulação de processos físico-químicos associados à produção, transporte, dispersão e deposição de poluentes atmosféricos reactivos e inertes. O modelo possibilita a entrada de emissões de fontes pontuais, de fontes em linha e de fontes em área. Tem ainda como opção a abordagem Lagrangeana para fontes pontuais. O modelo considera ainda, a deposição seca e húmida de poluentes existindo ainda a possibilidade de simular os efeitos dos edifícios próximos, quando estes têm grande influência sobre o escoamento atmosférico. (Sá e Calado, 2007)

Os parâmetros de entrada relativos às emissões provêm dos resultados dos factores de emissão por via (g.km^{-1}) simulados no programa TREM, tendo como base a geração de tráfego atribuída pelo modelo TRANUS. Considerando que os parâmetros de saída destes programas se referem à hora de ponta da manhã, supôs-se que estas representam 10% valor diário das emissões diárias. Deste modo multiplicou-se por 10 as emissões na hora de ponta para se obter o total de emissões diárias (nos dias úteis) e tendo em conta o perfil de tráfego diário registado pelo método CMA ponderou-se pela percentagem relativa a cada hora. A Eq. 2 traduz o cálculo efectuado e na Tabela 20 apresentam-se as percentagens relativas de tráfego para cada hora.

$$E_{(hora)} = 10E_{(ponta)} * \frac{Tráfego_{(hora)}}{Tráfego_{(diário)}}$$

Eq. 2

Tabela 20 Factores utilizados para estimar o perfil de emissões diário

Hora	(%)	Hora	(%)
0h	1,303%	12h	5,680%
1h	0,676%	13h	6,108%
2h	0,426%	14h	6,302%
3h	0,254%	15h	6,122%
4h	0,188%	16h	6,499%
5h	0,310%	17h	7,730%
6h	0,870%	18h	8,197%
7h	2,967%	19h	7,115%
8h	6,436%	20h	5,146%
9h	7,011%	21h	3,777%
10h	5,949%	22h	3,066%
11h	5,495%	23h	2,373%

No anexo B encontram-se descritos mais alguns parâmetros relacionados com a corrida do programa como as concentrações de fundo e domínios de modelação.

3.6.2 Descrição dos indicadores de qualidade utilizados na avaliação

Devido ao facto do modelo ser constituído por duas componentes é necessário avaliar o desempenho de cada uma, validando os resultados obtidos com dados monitorizados.

As comparações foram efectuadas por análise de vários parâmetros estatísticos descritos no Manual técnico do modelo TAPM (Hurley *et al.*, 2005). Os parâmetros utilizados foram: o índice de concordância – IOA (Index Of Agreement), o índice de capacidade/habilidade – SKILLR (measures of Skill) e o viés – BIAS. Apresentam-se de seguida as equações para o cálculo de cada um:

$$IOA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - O_{mean}| + |O_i - O_{mean}|)^2}$$

Eq. 3

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{N}$$

Eq. 4

$$SKILL_R = \frac{RMSE}{O_{std}}, \text{ onde } O_{std} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (O_i - O_{mean})^2}, \text{ e } RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - O_{mean})^2}$$

Eq. 5:

Onde:

O_i – valores medidos

P_i – valores estimados

RMSE erro quadrático médio sistemático

O índice de concordância avalia a discrepância entre as estimativas feitas pelo modelo e as medições. O valor deverá ser superior a 0,5 para que se considere que o modelo tenha um bom desempenho. No caso dos outros dois parâmetros, para que o modelo tenha um bom comportamento é necessário que o índice de capacidade/habilidade seja inferior a 1, isto é, que o RMSE seja inferior ao desvio padrão dos dados medidos (O_{std}). O índice BIAS permite verificar a tendência do modelo para seguir as variações das medições, se o valor é positivo significa que o modelo sobrestima os dados reais.

3.6.3 Poluentes analisados

No processo de modelação de qualidade do ar foram analisados o monóxido de carbono (CO) e a partículas com diâmetro inferior a 10 μm (10PM). Esta escolha prendeu-se com o facto de serem ambos poluentes monitorizados em contínuo na estação de tráfego de qualidade do ar de Aveiro e o tráfego rodoviário ser uma das principais fontes (APA, 2009).

3.7 Cenários alternativos

Com o intuito de estimar o efeito de algumas medidas e maximizar algumas potencialidades da modelação, foram criados quatro cenários, com diferentes objectivos individuais, simulando algumas intervenções na área da mobilidade.

O primeiro cenário tem somente como propósito avaliar potenciais efeitos a níveis de redução de tráfego automóvel, através de um incremento da frequência de oferta de autocarros municipais para o dobro, supondo-se que esta medida aumentaria a utilização de transportes públicos em 25%. Neste caso, não foi utilizada qualquer ferramenta de modelação visto que no modelo de transportes não foi considerada esta opção.

O segundo cenário visa avaliar se o modelo TRANUS atribuiria alterações significativas no comportamento do tráfego urbano provocadas, pela criação de outra ligação a um novo nó na A25 na zona das Barrocas.

A terceira hipótese consiste em analisar os impactos que o aumento na taxa de ocupação dos veículos ligeiros por intermédio de algumas medidas de mobilidade sustentável como por exemplo o *car pooling*. Neste caso impôs-se ao modelo de uso do solo e transporte uma taxa de ocupação de 3 ao invés de 1,5 e simulou-se novamente o padrão de deslocações (TRANUS), emissões (TREM) e qualidade do ar (TAPM). Existindo a consciência da difícil exequibilidade de implementação prática deste cenário, o objectivo subjacente a este é realizar uma análise de sensibilidade, de como o aumento da taxa de ocupação de veículos influencia os padrões de mobilidade e qualidade do ar.

O último cenário criado tem como objectivo analisar quais as emissões que seriam produzidas e o consequente efeito na qualidade do ar se todos os veículos respeitassem os as normas europeias mais exigentes de emissões previstas para cada classe no futuro. Assim, considerou-se que todos os veículos ligeiros pertenceriam à classe EURO6, os veículos pesados de mercadorias e passageiros obedeceriam à norma EURO5, e os motociclos à fase EURO 3. A Tabela 21 apresenta os valores limite de emissões para as várias normas aplicadas aos veículos ligeiro (CE, 2009).

Tabela 21: Normas europeias para limite de emissões de veículos ligeiros (g.km⁻¹)

	Norma	Data	CO	HC	NO_x	HC+NO_x	PM
Diesel	Euro 1	1992	2,720	-	-	0,970	0,140
	Euro 2	1996	1,000	-	-	0,700	0,080
	Euro 3	2000	0,640	-	0,500	0,560	0,050
	Euro 4	2005	0,500	-	0,250	0,300	0,025
	Euro 5	2009	0,500	-	0,180	0,230	0,005
	Euro 6	2014	0,500	-	0,080	0,170	0,005
Gasolina	Euro 1	1992	2,720	-	-	0,970	-
	Euro 2	1996	2,200	-	-	0,500	-
	Euro 3	2000	2,300	0,200	0,150	0,500	-
	Euro 4	2005	1,000	0,100	0,080	-	-
	Euro 5	2009	1,000	0,100	0,060	-	0,005
	Euro 6	2014	1,000	0,100	0,060	-	0,005
Comerciais	Euro 1	1994	5,170	-	-	1,400	0,190
	Euro 2	1998	1,250	-	-	1,000	0,120
	Euro 3	2001	0,800	-	0,650	0,720	0,070
	Euro 4	2006	0,630	-	0,330	0,390	0,040
	Euro 5	2010	0,630	-	0,235	0,295	0,005
	Euro 6	2015	0,630	-	0,105	0,195	0,005

4 Apresentação e discussão dos resultados

Este capítulo encontra-se dividido em cinco secções principais.

Na primeira discutir-se-á a coerência dos resultados dos dois métodos de contabilização de tráfego (CMA e UA) efectuado em Aveiro bem como a análise geral do comportamento de tráfego.

O segundo subcapítulo abordará todos os resultados referentes ao modelo do uso do solo e transportes, TRANUS, nomeadamente, a afectação de tráfego por via, matrizes origem destino, características das viagens e estudo comparativo entre os resultados da modelação e a monitorização de tráfego.

A terceira componente refere-se a todos os resultados oriundos modelo de emissões TREM. Apresentar-se-ão dados actuais de consumo de combustível e emissões de poluentes para cada via simulada e para cada classe de veículo.

A quarta secção corresponde aos resultados obtidos pelo modelo de qualidade do Ar TAPM. Aqui serão apresentados os dados de concentrações de CO e PM10 fornecidos pelo modelo e a sua coerência como os dados obtidos pela estação de qualidade do ar de Aveiro, através de vários indicadores de qualidade.

No último sub capítulo proceder-se-á a uma análise integrada de todos os cenários alternativos simulados.

4.1 Monitorização de tráfego

4.1.1 Avaliação da fiabilidade do método CMA

Durante o período das contagens CMA, na rotunda das pontes, um ponto crítico na mobilidade da cidade, realizaram-se filmagens simultâneas a fim de avaliar a fiabilidade dos resultados obtidos pelo equipamento. A Tabela 22 apresenta os dados obtidos por ambos os métodos.

Tabela 22: Desvios verificados entre os dois métodos de contagem

Local	Medida	Hora	Ligeiros			Pesados			Total		
			UA	CMA	Desvio	UA	CMA	Desvio	UA	CMA	Desvio
Av. L. Peixinho-Pontes	1	sex 08:42	127	64	-50%	6	78	1200%	135	114	-16%
	2	sex 08:57	152	61	-60%	16	52	225%	168	142	-15%
	3	sex 09:12	174	66	-62%	3	74	2367%	180	166	-8%
	4	sex 09:27	156	94	-40%	6	70	1067%	162	151	-7%
	TOTAL		609	285	-53%	31	274	784%	645	573	-11%
Pontes – Av. Lourenço Peixinho	5	sex 08:41	223	130	-42%	10	48	380%	236	182	-23%
	6	sex 08:56	199	120	-40%	7	50	614%	209	175	-16%
	7	sex 09:11	212	118	-44%	6	57	850%	224	187	-17%
	8	sex 09:26	155	104	-33%	10	37	270%	167	147	-12%
	TOTAL		789	472	-40%	33	192	482%	836	691	-17%
Praias – Pontes	9	sex 08:44	203	162	-20%	8	11	38%	214	208	-3%
	10	sex 08:59	196	151	-23%	3	5	67%	203	224	10%
	11	sex 09:14	203	165	-19%	2	7	250%	209	216	3%
	12	sex 09:29	173	141	-18%	5	4	-20%	179	200	12%
	TOTAL		775	619	-20%	18	27	50%	805	848	5%
Pontes – Praias	13	sex 08:36	175	143	-18%	3	16	433%	180	159	-12%
	14	sex 08:51	155	132	-15%	2	11	450%	158	145	-8%
	14	sex 09:06	182	168	-8%	4	10	150%	186	182	-2%
	16	sex 09:21	146	131	-10%	4	10	150%	150	142	-5%
	TOTAL		658	574	-13%	13	47	262%	674	628	-7%
Rossio – Pontes	17	sex 08:35	39	30	-23%	1	0	-100%	40	32	-20%
	18	sex 08:50	47	43	-9%	1	1	0%	48	47	-2%
	19	sex 09:05	39	40	3%	1	2	100%	40	44	10%
	20	sex 09:20	44	34	-23%	1	2	100%	45	39	-13%
	TOTAL		169	147	-13%	4	5	25%	173	162	-6%
Pontes – Rossio	21	sex 08:35	68	47	-31%	1	6	500%	69	55	-20%
	22	sex 08:50	67	51	-24%	1	10	900%	68	64	-6%
	23	sex 09:05	72	54	-25%	4	14	250%	77	70	-9%
	23	sex 09:20	69	58	-16%	0	1	""	73	60	-18%
	TOTAL		276	210	-24%	6	31	417%	287	249	-13%
TOTAL			3276	2307	-30%	105	576	449%	3420	3151	-8%

Será necessário ter em consideração que podem existir pequenas discrepâncias entre o relógio usado na contabilização de carros através de filmagens e o relógio interno do aparelho de medição, no intervalo de tempo considerado. No entanto, é notório que os resultados das medições realizadas por via automática no interior da cidade manifestaram erros grosseiros quanto à distribuição por categorias. Uma explicação plausível que justifica parcialmente o erro poder-se-á dever ao facto da corrente de tráfego ser muito compacta em alguns dos locais de recolha e o aparelho contabilizar um pesado em vez de um conjunto de ligeiros. Com efeito, verifica-se que os desvios são superiores nas artérias de maior tráfego. O maior desvio registado situa-se na Av. Dr. Lourenço Peixinho. Analisando o período total de análise para cada hora verifica-se uma percentagem de desvio médio quadrático de 21%, utilizando a seguinte expressão:

$$\%RMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}}}{\frac{\sum_{i=1}^n O_i}{n}} \cdot 100$$

Eq. 6:

Onde:

Pi – Valores método CMA

Oi – Valores método UA

#O – Número de contagens

A Figura 17 permite visualizar graficamente os dados anteriores e confirmar a existência de uma tendência geral para o método CMA contabilizar menos viaturas que o método UA.

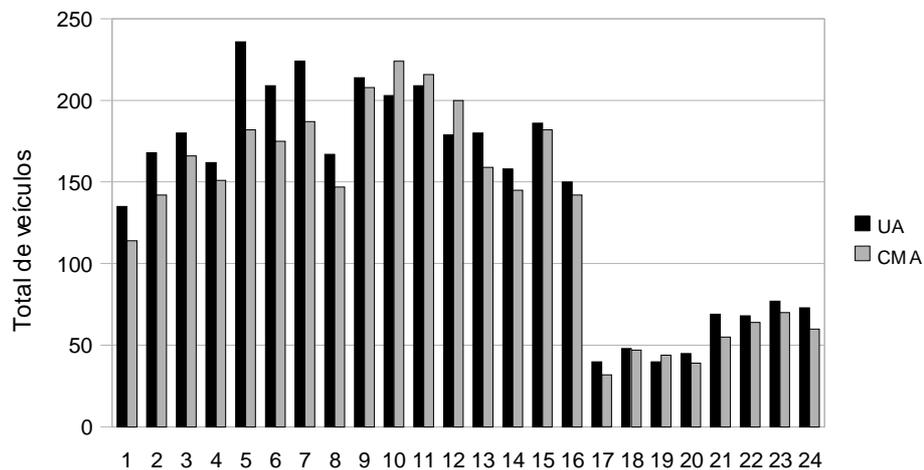


Figura 17: Comparação entre as contagens registados pelos dois métodos para 24 períodos de 15 minutos.

4.1.2 Análise geral

A monitorização de tráfego na cidade, demonstra ser inadequada, no período de ponta, quanto à diferenciação por categorias de veículos, no entanto assumir-se-á que permite aferir com uma margem de erro aceitável a distribuição horária e espacial do tráfego geral nas principais artérias da cidade. Em situações de menor fluxo do tráfego o erro tenderá a ser mais reduzido. A Figura 18 representa o perfil de tráfego semanal, numa base horária considerando todas as medições efectuadas nos 5 cruzamentos da cidade. Verifica-se que nos dias úteis o perfil de tráfego é semelhante observando-se apenas a existência de um pico ligeiramente maior na segunda-feira de manhã e na sexta-feira no final da tarde.

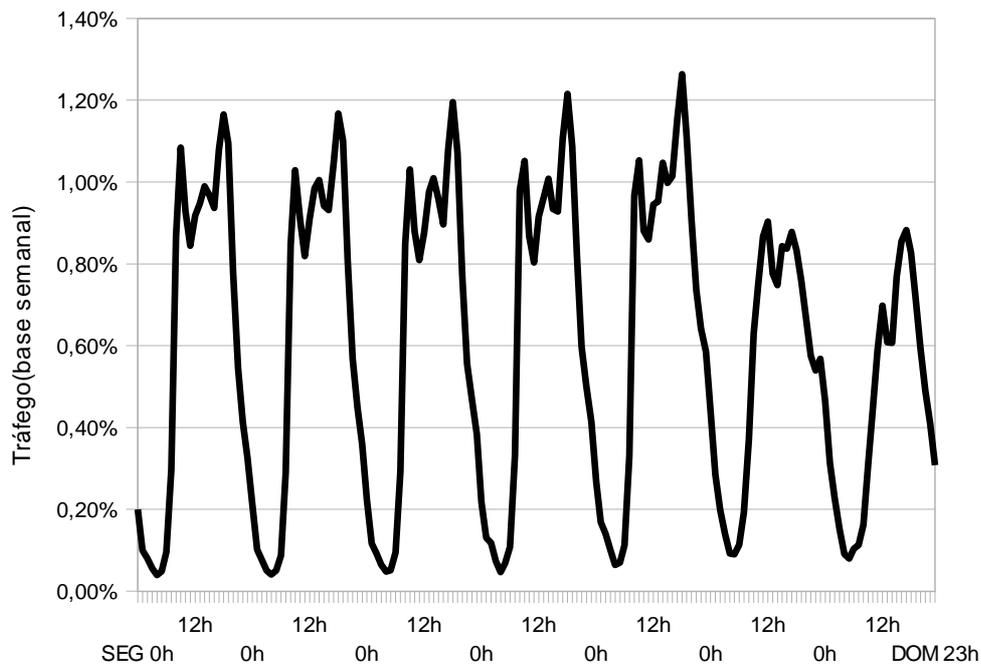


Figura 18: Perfil semanal de tráfego

A Figura 19 correspondente ao perfil diário de tráfego para os dias úteis sendo construído numa base horária e considerando todas as medições efectuadas de terça-feira a quinta-feira.

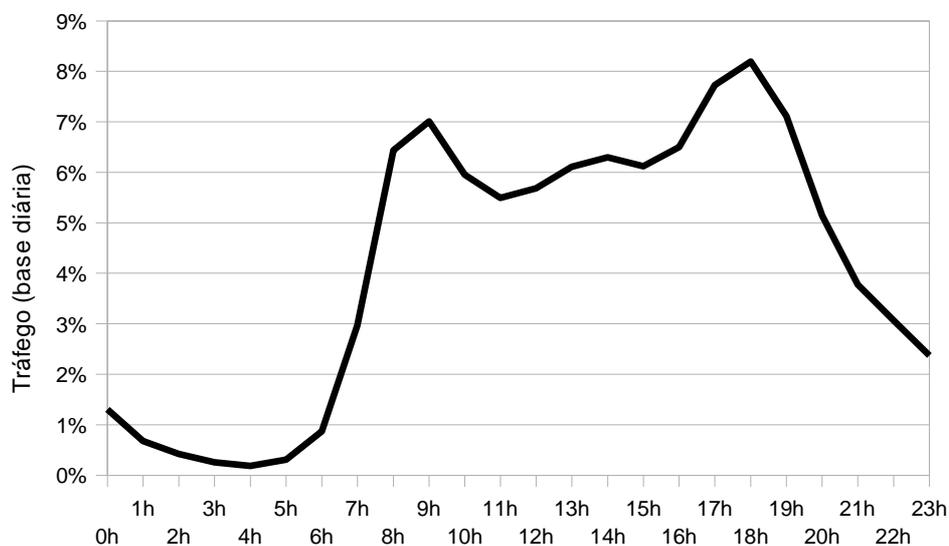


Figura 19: Perfil diário de tráfego considerado todas as vias monitorizadas pelo método CMA

Verifica-se um perfil típico urbano, com dois picos, de manhã e ao final da tarde e um ligeiro aumento após a hora de almoço. A Figura 20 tem como base as medições efectuadas na Avenida da Universidade Este gráfico visa comparar a alteração registada no perfil diário quando se têm em conta períodos sucessivos de 4 quartos de hora (eg. 8h15-9h15 e 8h30-9h30) e periodos exactos de uma hora (eg. 08h00 – 00h00; 0900-10h00).

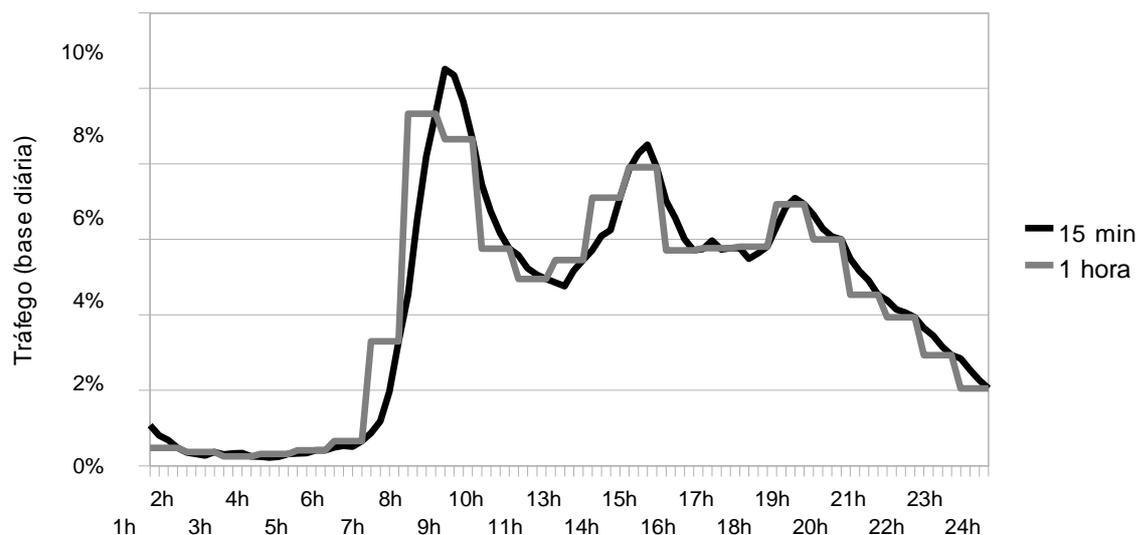


Figura 20: Comparação entre medições considerando períodos de 15 minutos e horas inteiras

Verifica-se neste caso, que a hora de pico da manhã assume uma maior concentração de tráfego entre as 8h15 e as 9h15, representando mais de 10% do total de tráfego diário pelo que a diferença quando comparando períodos de uma hora exacta é superior. Esta realidade é importante porque os resultados da geração de tráfego provenientes do programa TRANUS, simulam a hora de ponta matinal e é com base nestes valores que se estima o total de tráfego diário adaptando posteriormente o perfil de tráfego apresentado na Figura 19.

4.1.3 Monitorização de tráfego - Método UA

A Tabela 23 e a Figura 22 apresentam o resultado das contagens e a distribuição de tráfego relativa nas entradas da cidade delimitada pela EN109 e A25.

Tabela 23: Resultado das contagens efectuadas através de filmagens

Localização	Entrada / Saída	8h15-8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Mário	E	151	187	216	189	743
Sacramento	S	148	130	124	146	548
Rua Bourges	E	199	194	213	193	799
	S	115	105	121	84	425
Av. Loja Cidadão	E	133	147	154	138	571
	S	93	121	130	114	458
Av. Congresso Oposição Dem.	E	127	131	125	155	536
	S	114	108	96	102	420
Av. Lourenço Peixinho	E	214	190	181	187	771
	S	86	54	69	75	284
IP5 leste	E	131	141	212	174	657
	S	55	74	74	64	266
IP5 Oeste	E	263	230	263	216	972
	S	151	140	164	130	585
IP5 Total	E	394	371	475	389	1629
	S	206	214	238	194	851
Av. Universidade	E	250	242	292	237	1021
	S	283	275	335	273	1167
Esgueira	E	246	244	288	235	1013
	S	260	254	305	249	1067
TOTAL	E	1712	1704	1944	1723	7083
	S	1304	1260	1418	1236	5218

Verifica-se que existe um relativo equilíbrio na distribuição das entradas, sendo que o nó das Pirâmides, único acesso da A25 ao centro da cidade é o que regista maior volume de tráfego. A soma de todas as entradas e saídas corresponde a um fluxo total de veículos de 7083 a entrarem na cidade e 5218 a saírem no período compreendido entre as 8h15 e as 9h15. Note-se que nesta contabilização se inclui as entradas de Esgueira e Av. da Universidade efectuadas pelo método CMA.

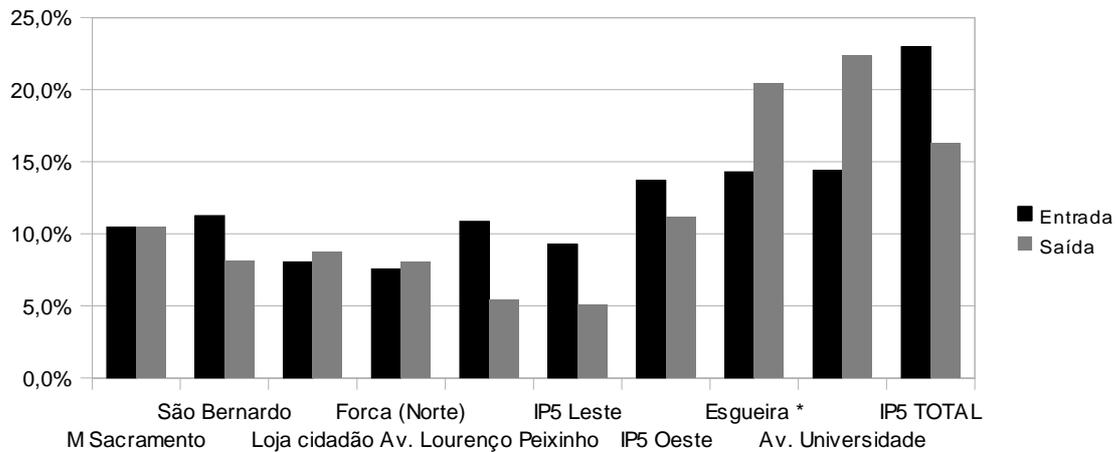


Figura 21: Distribuição relativa do tráfego nas principais entradas da cidade no período da hora de ponta (8h15-9h15)

A Figura 22 diz respeito a uma imagem obtida durante as filmagens da entrada da Rua Mário Sacramento.



Figura 22: Imagem obtida durante a monitorização de tráfego

4.2 Modelo do uso solo e transportes

Alguns resultados do modelo, nomeadamente a afectação de tráfego e o nível de serviço a cada via/sentido podem ser visualizadas graficamente. Outros indicadores de maior complexidade, como as características das viagens e matrizes origem-destino, são

Verifica-se que os maiores volumes de tráfego registam-se na EN109, principalmente na direcção Ílhavo, no troço entre o Nó de Esgueira e a Rotunda de Santa Joana (acesso Av. Lourenço Peixinho, e bairro da Forca (Norte) e no acesso à zona industrial. No interior da cidade observa-se maior volume de tráfego na Av. Doutor Lourenço Peixinho, na Av. Artur Ravara e Av. 5 de Outubro. Observa-se ainda que na maioria das entradas na cidade o volume de tráfego é superior no sentido do centro. A Tabela 24 apresenta a comparação entre os resultados obtidos pelo modelo e pela monitorização de tráfego (veículos ligeiros) para o total de entradas e saídas do núcleo urbano central. Verifica-se que o número de entradas do modelo é praticamente semelhante ao registado na monitorização UA (veículos ligeiros). As saídas apresentam-se sobrestimadas em cerca de 12%.

Tabela 24: Comparação entre contagens e valores modelados nas entradas da cidade de Aveiro na hora de ponta da manhã.

	TRANUS	Contagens	Diferença	Erro
Entradas	6829	6870	-41	-0,6%
Saídas	5646	5061	585	11,6%

O programa IMPTRA (módulo associado ao pacote TRANUS) calcula o nível de serviço numa determinada via, baseando-se na relação entre a velocidade inicial a fluxo livre e a velocidade em situação de congestionamento, como o especificado em *Highway Capacity Manual of the Federal Highway Administration of the USA*. A Tabela 25 ilustra a relação entre a velocidade a fluxo livre e em regime de congestionamento (VC/VL).

Tabela 25: Parâmetros e respectiva cor indicativa para cada nível de serviço

Nível de serviço	(VC/VL)
A	1.000 - 0.875
B	0.875 - 0.700
C	0.700 - 0.550
D	0.550 - 0.425
E	0.425 - 0.325
F	0.325 - 0.250
G	0.250 - 0.180
H	0.180 - 0.000

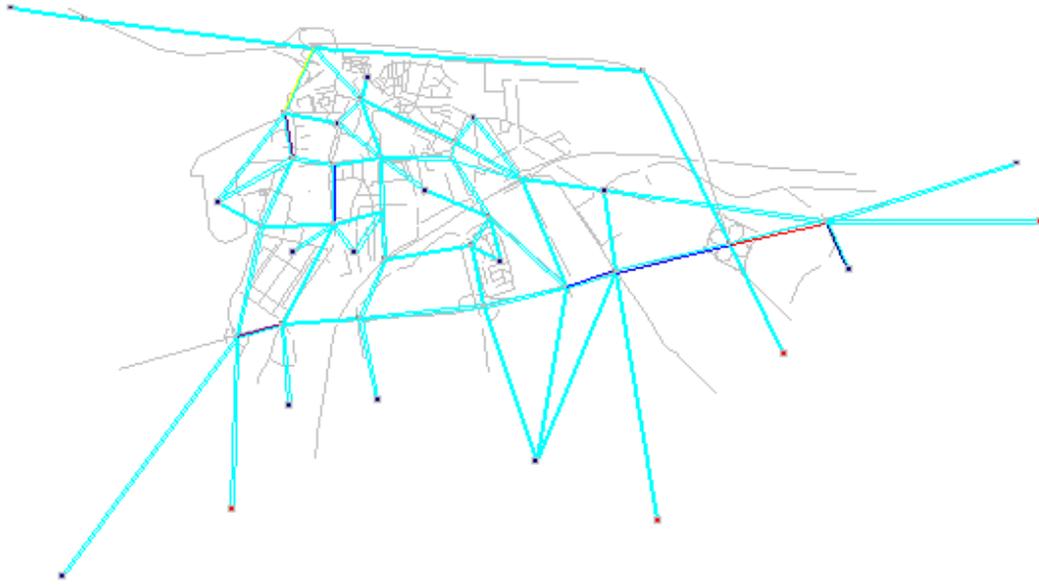


Figura 24: Nível de serviço por via

A quase totalidade da rede oferece uma qualidade de serviço de nível A. Contudo, duas das principais situações críticas da cidade como o fluxo de tráfego entre o nó das pirâmides e a Universidade, e a acesso Norte à Rotunda da EN109 (nó Santa Joana), apresentam níveis de serviço D e B no modelo. O troço norte da EN109 até à zona industrial apresenta nível E, o pior nível registado, aparentemente um nível exagerado face à realidade actual, tendo como comparação uma visão empírica do local. Apesar de ser o ponto de acesso a uma zona com grande número de empregos, as diferenças horárias nos turnos de trabalho podem justificar esta discrepância.

4.2.2 Características das viagens

Na primeira iteração o modelo de transporte faz a afectação na rede vazia, isto é sem congestionamento. À medida que o aumento de tráfego aumenta nas sucessivas iterações o número de viagens gerado diminui em função do parâmetro de elasticidade do modelo de geração de viagens. Consequentemente, a diferença entre o número de viagens gerada entre a primeira e última iteração corresponde ao número de viagens que não foram realizadas devido ao congestionamento de tráfego. Esta diferença denomina-se como procura suprimida, correspondendo a 0,1 % das viagens casa-trabalho e 0,3%

nas viagens casa-serviços. A distância média percorrida das categorias casa-trabalho é 5,4 km e 4,2 km na categoria de viagens casa-serviços.

O gráfico da Figura 25, permite avaliar comparativamente o propósito das deslocações.

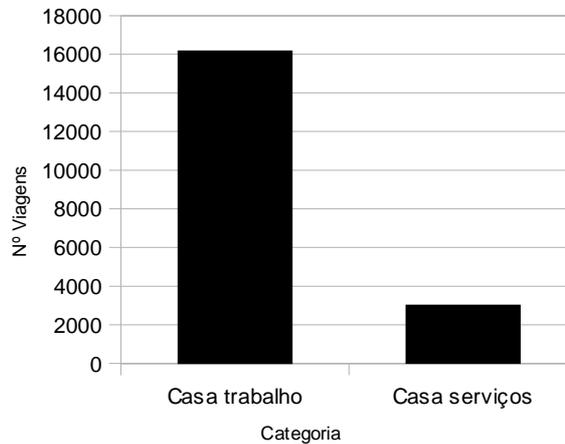


Figura 25: Comparação entre o número de viagens gerada para cada categoria

Verifica-se que aproximadamente 80% das deslocações tem como destino o emprego, o que parece ser um valor razoável na hora de ponta da manhã. Em termos de operadores o modelo atribuiu apenas 2% para as viagens a pé, aparentemente um valor reduzido face aos cerca de 10% apontados no plano de mobilidade de Aveiro no ano de 2001 (Soares et al, 2008). No entanto, o conceito do modelo de transportes baseia-se na interactividade entre as várias zonas definidas pelo que as curtas viagens efectuadas dentro da mesma zona não são simuladas, o que poderá justificar parte deste desvio.

4.2.3 Matrizes origem-destino

As matrizes da Figura 26 permitem identificar os fluxos de deslocações entre as zonas definidas no programa. Os valores são números decimais, visto que correspondem a valores médios, resultado do produto de várias matrizes.

Modelo do uso de solo para Aveiro: Impacto na mobilidade e qualidade do ar

Zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	17	Total
1 Beira-mar		23,06	14,56	21,38	40,41	62,78	12,49	39,03	17,88	9,65	80,63	5,54	21,94	12,9	26,72	8,83	397,8
2 Santiago	2,8		37,27	97,09	115,71	166	46,67	97,15	48,95	25,87	231,17	14,31	64,11	76,54	70,25	23,2	1117,09
3 Esigueira	11,9	59,55		100,23	105,85	161,41	51,5	101,46	49,21	24,54	209,88	14,27	60,94	36,54	67,72	21,83	1076,83
4 Praias – Gafanhas	1,31	60,62	36,39		120,15	170,9	52,11	103,97	48,73	26,14	221,63	15,07	62,97	38,89	72,14	24,93	1055,95
5 Universidade	0,81	17,24	10,71	31,4		48,31	14,3	32,5	14,89	7,69	54,71	4,8	19,11	10,82	20,57	6,99	294,85
6 Zona Industrial	0,59	13,56	7,72	21,82	22,77		11,27	24,11	10,95	5,73	50,26	3,39	13,98	8,66	12,63	5,25	212,69
7 Barrocas	1,48	31,22	20,71	55,15	57,24	92,38		55,55	25,76	13,98	112,45	6,63	33,83	19,81	39,43	12,33	577,95
8 Aradas	12,9	107,46	67,42	183,52	206,71	326,81	90,23		60,95	50,68	263,35	27,37	112,16	67,57	138,99	43,63	1759,75
9 São Bernardo	2,76	64,47	36,07	98,56	108,54	175,83	48,41	72,43		28,98	137,3	13,09	60,08	37,5	75	23,16	982,18
10 Santa Joana	4,77	109,21	61,01	175,7	195,09	293,25	86,92	193,08	93,3		386,89	26,94	115,03	69,04	122,73	40,74	1973,7
11 Ílhavo	3,16	75,9	40,91	116,85	135,38	203,32	54,65	80,19	35,22	30,18		17,33	75,63	41,99	85,91	26,56	1023,18
12 Forca	1,43	32,69	18,83	51,12	54,44	93,76	25,78	56,13	22,36	14,52	119,92		33,57	17,29	40,09	12,12	594,05
13 Bairro do Liceu	11,9	55,1	30,91	84,71	95,58	145,35	42,48	85,92	38,82	23,24	196,5	12,59		32,56	61,96	20,22	937,84
14 Antiga Feira	0,83	33,67	19,24	56,38	59,78	96,49	27,45	55,76	26,2	13,3	116,41	6,99	35,03		41,1	13,15	601,78
16 Cacia	3,72	86,84	46,79	141,24	148,5	187,18	73,5	155,94	71,01	35,91	322,42	22,12	90,9	56,14		34,09	1476,3
17 Marques Pombal	0,75	17,3	2,09	28,98	32,46	46,96	14,32	28,97	12,97	7,07	58,98	9,9	17,47	10,43	19,99		308,64
Total (Casa – Trabalho)	61,11	787,89	450,63	1264,13	1498,61	2270,73	652,08	1182,19	577,2	317,48	2562,5	200,34	816,75	536,68	895,23	317,03	14390,58

Zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	17	Total
1 Beira-mar		6,24	8,79	0,66	17,5	1,48	4,44	4,35	2,46	2,9	2,67	3,24	11,2	10,1	1,53	4,53	81,29
2 Santiago	1,54		23,86	2,52	51,62	4,12	15,61	24,45	7,4	5,92	7,8	8,97	33,1	15,63	4,24	7,2	213,42
3 Esigueira	1,52	18,76		2,86	53,32	4,52	18,2	13,24	7,7	6,27	8,12	9,78	18,46	17,4	4,67	7,43	191,9
4 Praias – Gafanhas	1,47	21,1	29,65		63,51	5,46	20,46	15,1	8,56	7,24	9,33	11,28	21,08	19,68	5,52	8,97	248,24
5 Universidade	0,42	9,31	6,47	0,72		10,09	4,29	3,43	1,94	1,6	1,85	2,34	4,7	4,2	1,13	1,92	45,43
6 Zona Industrial	0,45	4,96	6,88	0,76	13,97		4,78	3,62	2,3	1,7	2,23	2,69	5	4,66	1,18	2,7	56,97
7 Barrocas	0,92	9,94	14,52	1,58	28,93	2,59		7,23	4,1	3,48	4,39	4,92	10,19	9,25	2,68	1,4	108,88
8 Aradas	2,75	63,01	42,41	4,5	89,09	7,57	28,3		9,71	10,86	10,36	16,14	61,14	27,5	7,82	12,54	393,68
9 São Bernardo	1,56	18,22	24,01	2,57	49,85	4,33	16,09	9,9		6,39	5,84	8,48	33,71	15,98	4,48	7,7	208,5
10 Santa Joana	3,12	35,07	47,56	5,32	100,9	8,63	32,91	25,43	14,7		15,33	18,82	35,53	32,74	8,89	14,27	399,22
11 Ílhavo	2,22	25,66	34,03	3,82	74,16	6,43	23,02	14,55	8,5	8,53		13,33	25,43	22,5	6,58	10,18	278,49
12 Forca	0,92	10,2	14,11	1,54	28,4	2,63	9,53	7,3	3,86	3,56	4,54		10,2	8,69	2,72	4,13	112,3
13 Bairro do Liceu	2,42	27,88	19,39	2,5	40,55	3,35	13	19,98	11,22	4,92	6,3	7,29		12,84	3,46	5,69	180,35
14 Antiga Feira	0,76	20,52	14,46	1,63	30,2	2,7	10,01	7,4	4,22	3,69	4,56	5,16	20,6		2,8	4,39	113,1
16 Cacia	2,56	28,44	38,87	4,38	80,26	6,39	27,43	20,77	11,67	9,61	12,75	15,41	28,63	26,67		11,82	325,67
17 Marques Pombal	0,83	5,22	1,7	0,79	15,34	1,24	4,92	3,64	2,3	7,74	2,22	2,69	7,9	4,69	1,29		58,88
Total (Casa – Serviços)	23,44	294,44	332,18	35,68	737,6	62,55	232,98	180,29	99,29	77,63	98,29	130,55	314,03	232,17	59	106,18	3016,32

Figura 26: Matrizes origem destino para as duas categorias de viagem (casa-trabalho e casa-serviços)

Verifica-se que na hora de simulação o maior fluxo de passageiros se dirige para a zona industrial e seguidamente para a universidade no caso das viagens casa-trabalho. Regista-se ainda um fluxo significativo em direcção à zona norte do concelho de Ílhavo e ainda à zona de Santiago, (zona que alberga vários equipamentos escolares e o Hospital Distrital). No caso das viagens casa-serviços o maior fluxo de deslocações tem como destino a Universidade e zona das Barrocas no centro de Aveiro.

4.2.4 Comparação com monitorização de tráfego

A Tabela 26 apresenta a comparação dos resultados obtidos pelo programa de transportes e uso do solo, TRANUS e os resultados obtidos através da monitorização de tráfego. Todos os números dizem respeito ao número de veículos na hora de ponta.

Tabela 26: Desvio e percentagem de erro entre monitorização e os resultados do modelo

<i>Via</i>	<i>Contagem</i>	<i>TRANUS</i>	<i>Desvio</i>	<i>Erro</i>
38	495	493	-2	-0,4%
39	657	1177	520	79,1%
42	493	494	1	0,2%
43	570	788	218	38,2%
44	403	408	5	1,2%
45	760	1060	300	39,5%
51	481	645	164	34,1%
52	309	240	-69	-22,3%
53	973	917	-56	-5,8%
54	284	413	129	45,4%
55	914	658	-256	-28,0%
72	801	842	41	5,12%
73	484	810	326	67,4%
78	536	445	-91	-17,0%
79	476	253	-223	-46,9%
82	580	447	-133	-22,9%
83	487	820	333	68,4%
84	580	782	202	34,8%
85	942	1034	92	9,8%
88	805	771	-34	-4,2%
89	674	651	-23	-3,4%
90	523	697	174	33,3%
91	590	947	357	60,5%
112	595	441	-154	-25,9%
113	858	767	-91	-10,6%
116	743	777	34	4,6%
117	548	767	219	40,0%
118	305	521	216	70,8%
119	669	718	49	7,3%
161	789	544	-245	-31,1%
162	609	479	-130	-21,3%
188	1021	1030	9	0,9%
189	1167	842	-325	-27,9%

O maior desvio verifica-se na Av. Artur Ravara (79%), no sentido da rotunda do hospital. Verifica-se ainda que o modelo atribui mais tráfego que a realidade no acesso pela Av. Congresso Oposição Democrática (Força Norte) em detrimento do acesso da Av. da Loja do cidadão (Força Sul). Uma justificação plausível para este comportamento é o facto de na altura das medições estarem em desenvolvimento obras de requalificação no acesso (Força Norte) impondo uma diminuição do fluxo de tráfego neste eixo estruturante.

Modelo do uso de solo para Aveiro: Impacto na mobilidade e qualidade do ar

Para analisar as diferenças entre a monitorização e os resultados do modelo, calculou-se a percentagem do erro quadrado sistemático médio, método recomendado pela FHWA (1997) e utilizado por (Khattak e Wang, 2009) em estudo semelhante.

$$\%RMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{(\#O - 1)}}}{\frac{\sum_{i=1}^n O_i}{\#O}} 100$$

Eq. 6:

Onde:

O – Valores contagens

P – valores modelados

Observou-se uma %RMSE de 31,9% considerando todos os métodos de monitorização, e 25,9% considerando apenas as contagens através de filmagens (UA). Num estudo similar para a cidade de Charlotte o valor mínimo conseguido de RMSE foi de 53% considerando 86 segmentos de 17 vias (Khattak e Wang, 2009). A instituição *Montana Department of transportation* atribui o limite mínimo de 30 % de RMSE para validar um modelo (FHWA, 1997).

A partir da regressão linear apresentada na Figura 27, usando as contagens como variável dependente e o volume modelado como variável independente, verifica-se que o declive é inferior a 1, significando que o aumento de tráfego registado nas contagens é um pouco mais lento que o aumento observado no tráfego atribuído pelo modelo. Poder-se-á afirmar que o modelo em média sobrestima as viagens.

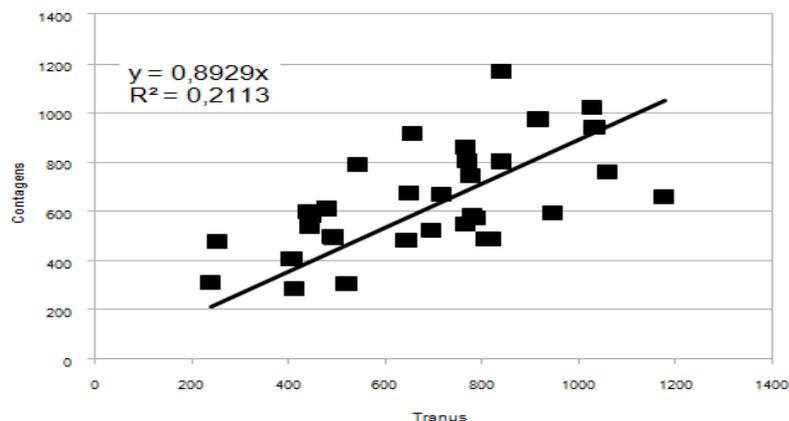


Figura 27: Comparação entre os resultados do modelo e das contagens

Saliente-se ainda o facto de a rede física apenas representar as vias estruturantes da cidade, pelo que o modelo tende a atribuir tráfego que pode circular em vias paralelas. O tráfego existente dentro da mesma zona definida tão-pouco é simulado como já foi referido anteriormente.

Apesar dos desvios que ocorrem entre modelação e as contagens julga-se que a relação entre os valores modelados e os observados é aceitável.

Não fazendo parte do objectivo centrar desta dissertação, em anexo encontram-se disponíveis mais alguns resultados relacionados com a relação procura-oferta do sector solo.

4.3 Modelo de emissões - TREM

Os resultados do modelo de emissões permitem conhecer detalhadamente por via a quantidade emitida de vários poluentes. No presente caso simulou-se a hora de ponta. A emissão total de CO₂ na hora de ponta para toda a rede é de 12 toneladas, correspondendo a um consumo de 7,8 toneladas de combustível. A Figura 28 permite visualizar as vias com maior consumo de combustível por unidade de distância. Multiplicando o comprimento de cada via pela quantidade emitida por unidade de distância (g.km⁻¹) obteve-se o gráfico da Figura 28a correspondendo à soma das emissões calculadas nos cerca de 100 quilómetros de rede simulada (dois sentidos).

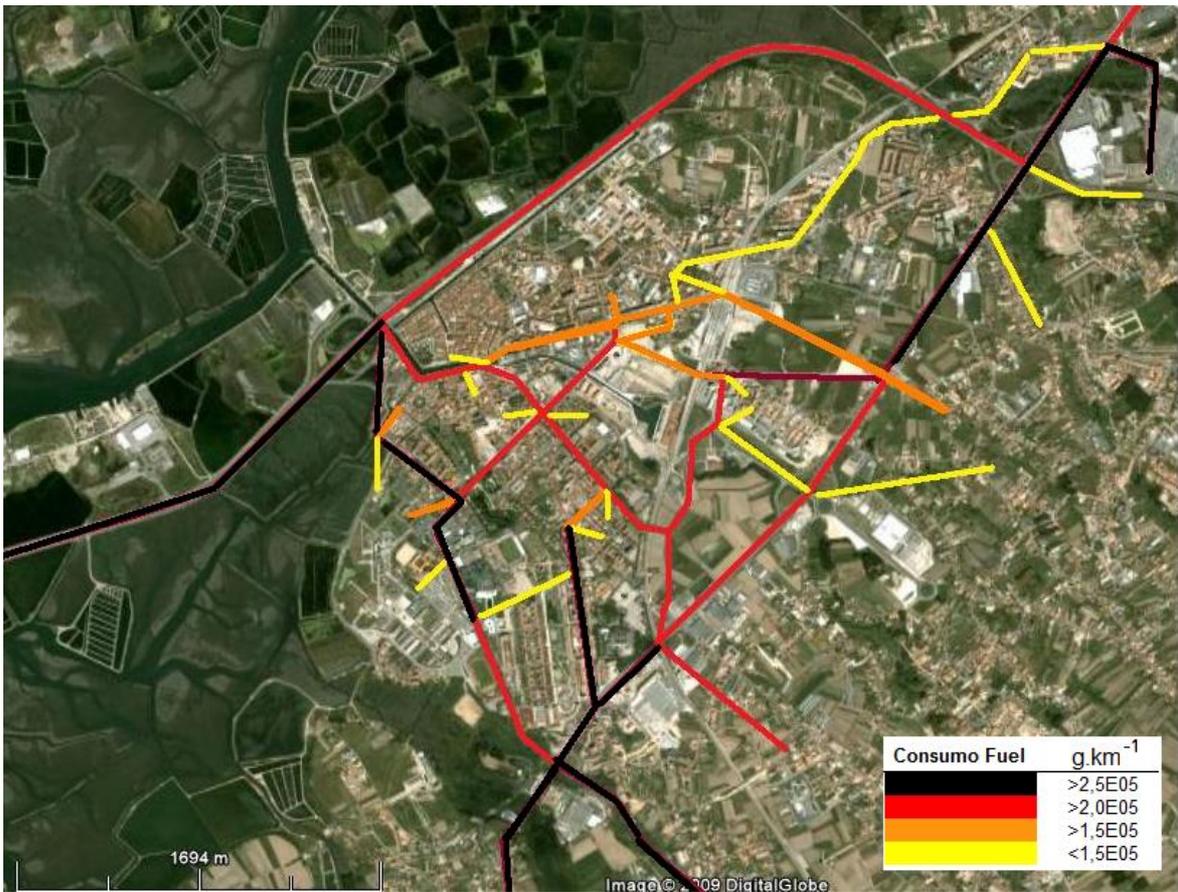


Figura 28: Distribuição espacial dos consumos registados por via (Adaptado Google Earth)

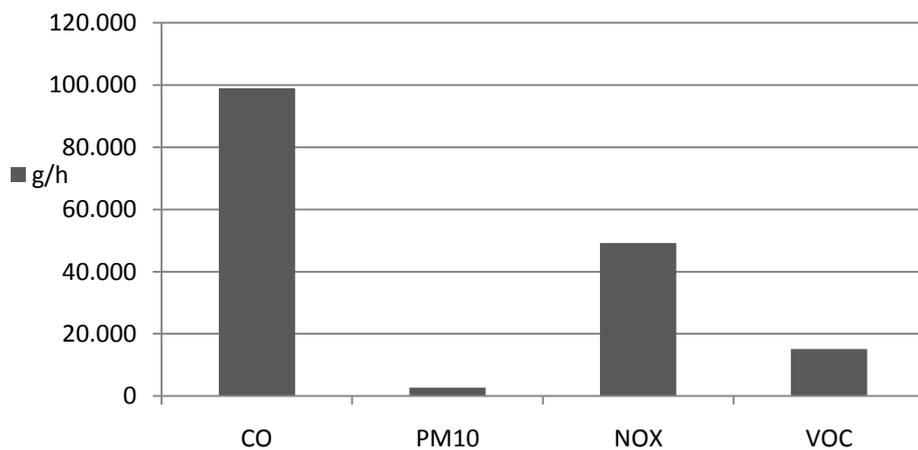


Figura 28a: Quantidade de emissões produzidas na hora de ponta

Os gráficos da Figura 29 indicam as emissões e consumos verificados em função do tipo de veículo. Em anexo encontram-se representados graficamente as quantidades emitidas de PM, correspondentes para todas as vias simuladas.

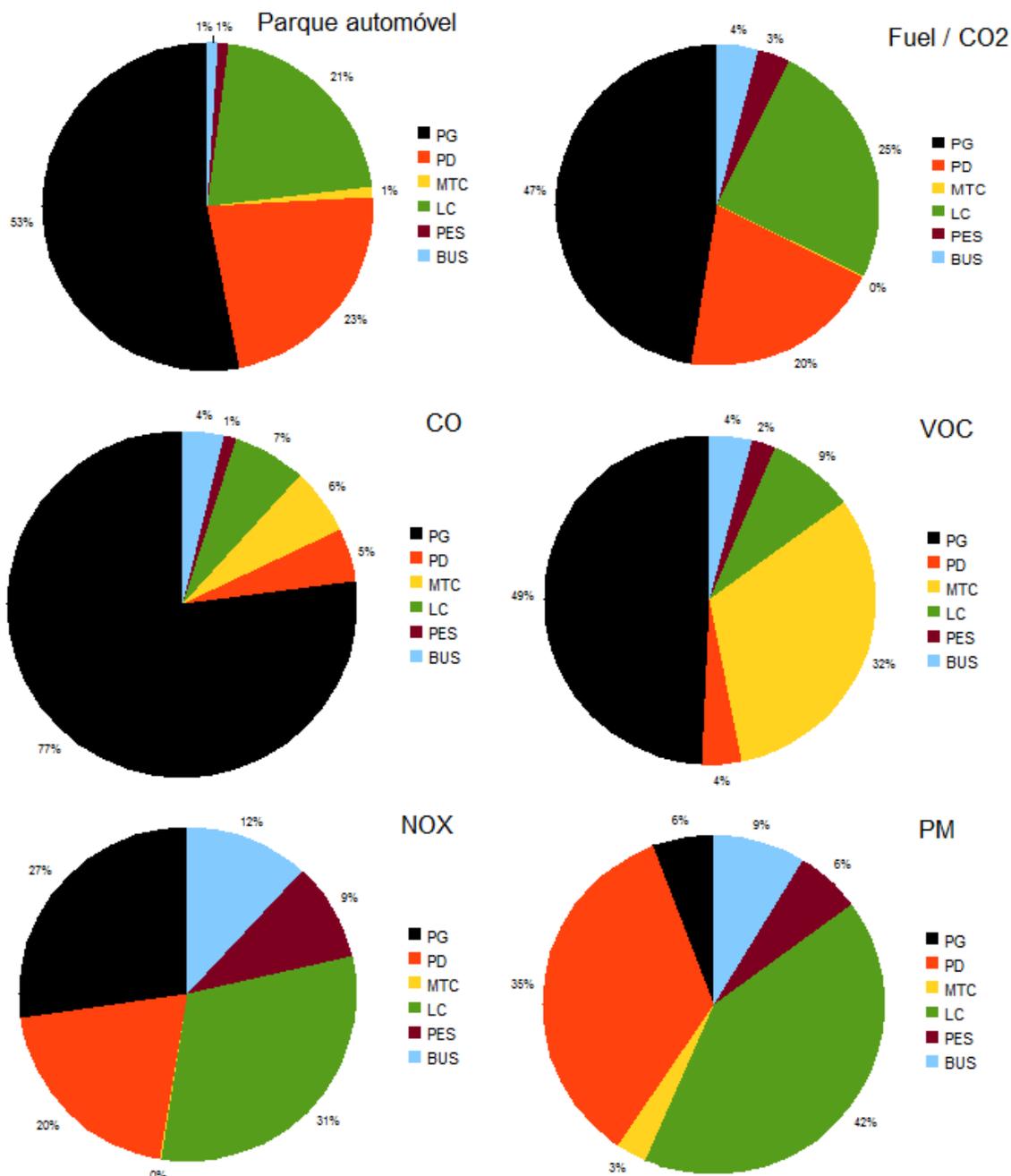


Figura 29: Distribuição relativa do parque automóvel por classes, consumos e emissões.

Como seria espectável, os consumos e as emissões de CO₂ são aproximadamente proporcionais à distribuição de veículos. Dadas as características do funcionamento de motor ciclo de Otto as emissões CO dos veículos a gasolina representam 77% das emissões totais. Relativamente às emissões de NO_x e partículas, os veículos a Diesel

apresentam um pior comportamento sendo que nas PM10 esta diferença é ainda mais notória, sobretudo tendo em consideração que os veículos a Diesel representam menos de metade do parque automóvel (47%). Os motociclos apesar de representarem apenas 1% do parque automóvel são responsáveis por 32% das emissões de COV.

A Tabela 27 resume os consumos energéticos registados na hora de ponta para todas as vias simuladas, baseando-se nos dados de PCI fornecidos pela Direcção Geral de Energia e Geologia (DGGE, 2008).

Tabela 27: Energia consumida na hora de ponta nas vias simuladas

	Consumo		Energia	
	(l)	(kg)	(MJ.kg ⁻¹)	(MJ)
Diesel	3185	3747	43	1,37E+005
Gasolina	2923	4059	45	1,30E+005
Total	6108	7806	--	2,67E+005

4.4 Modelo de qualidade do ar

Os dados referentes às concentrações de CO e PM10 são comparados com dados monitorizados da estação da qualidade do ar localizada na Av. 25 de Abril, no período de 1 de Novembro a 31 de Dezembro de 2005, optando-se por escolher um período que fosse climaticamente equivalente ao das contagens de tráfego efectuadas que permitiram a calibração do modelo do uso do solo e transportes. O ano de 2005 é o ano mais recente com informação meteorológica disponível na estação meteorológica da Universidade de Aveiro. Visto que a monitorização de tráfego se efectuou em 2008, assume-se que neste intervalo temporal não ocorreram alterações significativas na quantidade e no comportamento de tráfego na cidade.

4.4.1 Indicadores de qualidade de meteorologia

A componente meteorológica foi validada através da comparação entre os dados estimados pelo modelo e os valores medidos na estação meteorológica situada na Universidade de Aveiro. A Tabela 28 apresenta os resultados dos indicadores de qualidade obtidos para a componente meteorológica.

Tabela 28: Indicadores de qualidade para os parâmetros meteorológicos

	Referência	Velocidade do vento	Temperatura	Direcção do vento
r	1	0,53	0,92	0,81
IOA	>0,5	0,69	0,95	0,87
SKILL _R	<1	0,75	0,11	0,01

Os valores dos índices de qualidade para os parâmetros meteorológicos, (o factor de correlação r elevado, principalmente para temperatura e direcção do vento, IOA>0,5 , SKILL_R < 1) revelam que o modelo apresenta um bom comportamento nesta componente.

4.4.2 Concentrações de CO

A validação da componente de poluição atmosférica foi realizada pela comparação dos dados medidos e os dados pelo modelo. A Figura 30 apresenta o perfil de concentrações modelado e monitorizado na estação de qualidade do ar de Aveiro entre Novembro e Dezembro de 2005.

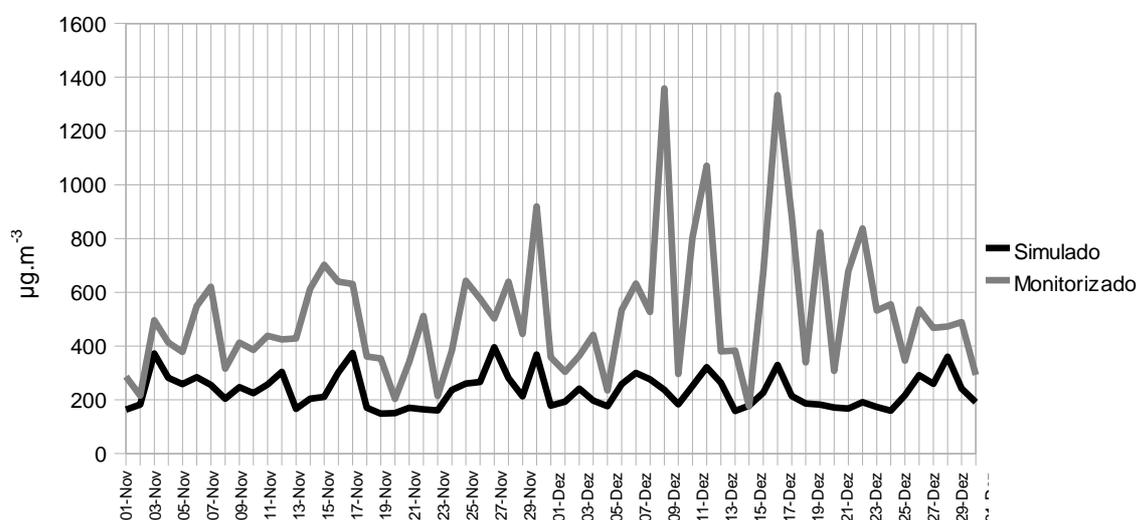


Figura 30: Comparação dos dados medidos com os dados simulados para concentrações de CO

Uma breve análise qualitativa demonstra que além das duas curvas apresentarem um comportamento distinto, o modelo prevê sempre concentrações menores que as

verificadas. A Tabela 29 apresenta os valores dos parâmetros de qualidade calculados para a presente simulação.

Tabela 29: Indicadores de qualidade do modelo para CO

Parâmetro	Referência	Valor
r	1	0,41
IOA	>0,5	0,47
SKILL_R	<1	1,48
Bias	0	-282,41

Confirma-se que o modelo não apresenta bons indicadores de qualidade em todos os indicadores. O índice BIAS permite verificar a tendência do modelo para seguir as variações das medições. No presente caso, o valor é negativo significando que o modelo subestima os dados. Saliente-se ainda o reduzido factor de correlação obtido de 0,41.

Uma justificação prévia para parte dos desvios observados deve-se às características do modelo mais precisamente à sua capacidade de resolução, ou seja a célula de maior resolução (1km x 1km) não permitir simular com a devida precisão as condições locais onde se situa a estação de qualidade do ar.

A outro nível, possíveis explicações para estes desvios passam também, pelo facto da inexistência de um conhecimento aprofundado das fontes emissoras pontuais e das concentrações de fundo, principalmente ao nível de CO. Outro factor que provavelmente influenciará os resultados é o facto de o factor de emissão poder ser subestimado, visto que as emissões de CO são simuladas considerando uma velocidade média. Sabe-se que as emissões de CO são fortemente condicionadas pelo regime de circulação, ou seja é nas travagens e nas acelerações que são emitidas as maiores quantidades. (Coelho, 2007). A estação de qualidade do ar fica localizada junto a um cruzamento semaforizado potenciador do fenómeno de pára-arranca. Outro aspecto relevante é que as concentrações de CO foram estimadas assumindo que este se comportava como um traçador, ou seja, não se simula qualquer tipo de reacção química associada à formação ou desaparecimento deste.

4.4.3 Concentrações de PM10

A Figura 31 descreve os resultados do modelo e os valores monitorizados.

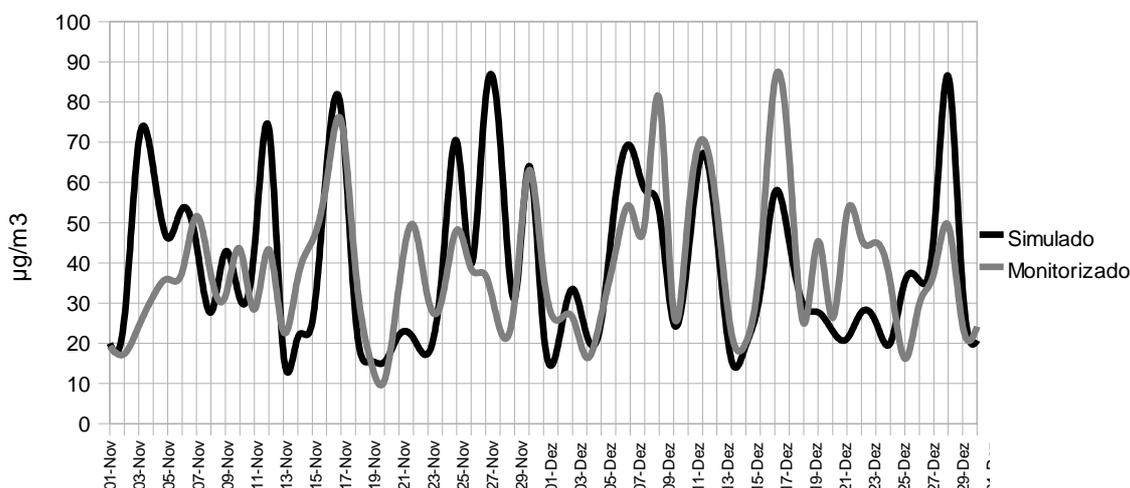


Figura 31: Comparação dos dados medidos com os dados simulados para concentrações de PM10

Uma breve análise qualitativa ao gráfico permite visualizar que comparativamente ao CO, é visível uma relação mais próxima entre os valores medidos e modelados que se traduz nos indicadores de qualidade presentes na Tabela 30.

Tabela 30: Indicadores de qualidade do modelo para PM10.

Parâmetro	Referência	Valor
r	1	0,52
IOA	>0,5	0,66
SKILL_R	<1	1,08
Bias	0	0,97

A análise estatística comparativa entre os valores modelados e monitorizados demonstra que o índice de discrepância é superior a 0,5 manifestando assim um bom desempenho. O índice de capacidade (1,08) situa-se próximo de 1, ligeiramente superior ao máximo recomendado 1. O valor de Bias de 0,97 demonstra que o modelo subestima ligeiramente os valores. Poder-se-á concluir que o modelo atinge resultados coerentes com as medições no que diz respeito à simulação da concentração de partículas.

4.4.4 Comparação com legislação

A norma sobre os limites de concentração de PM10 consiste em dois valores (Decreto-Lei nº 111/2002 de 16 de Abril – Anexo III)

- uma concentração de $50 \mu\text{g.m}^{-3}$, medida ao longo de um período de 24 horas; este valor não pode ser excedido mais de 35 dias por ano civil
- uma concentração de $40 \mu\text{g.m}^{-3}$, medida ao longo de um período de um ano civil; não é permitida qualquer excedência.

Verificam-se 12 excedências nos valores monitorizados e 17 nos valores modelados considerando o primeiro limite. Este facto corrobora que as concentrações de partículas são efectivamente uma fonte de preocupação a nível da qualidade do ar na cidade de Aveiro.

4.4.5 Concentrações médias anuais – Distribuição espacial.

As Figuras 32 e 33 representam os campos de concentrações médias anuais simuladas para CO e PM10, respectivamente. Os valores nos eixos representam as Coordenadas Militares Gaussianas (m) utilizadas no modelo.

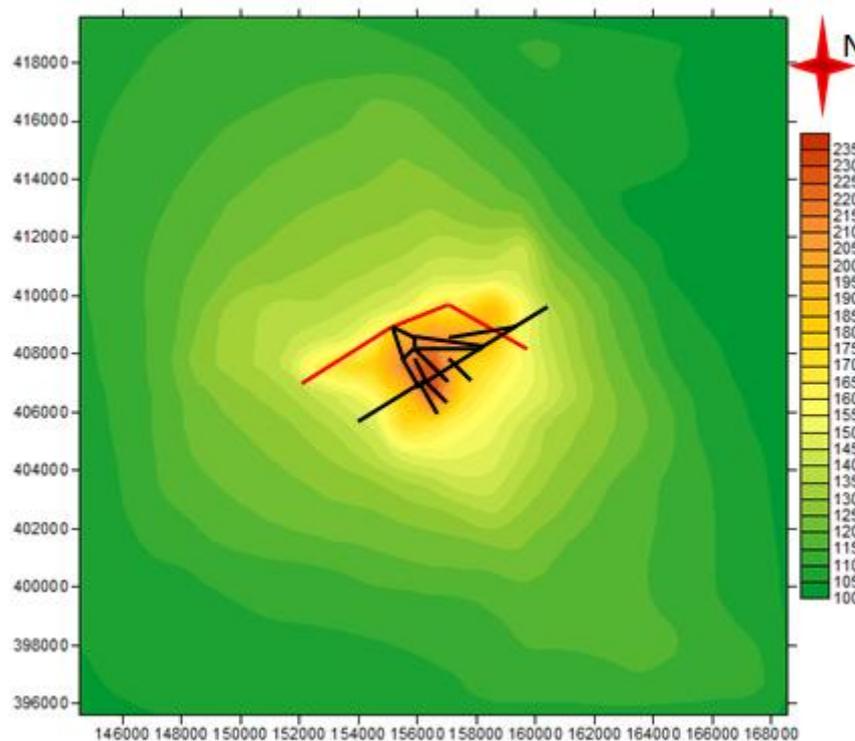


Figura 32: Concentrações médias anuais de CO ($\mu\text{g.m}^{-3}$)

No caso do CO verifica-se que as concentrações são mais elevadas no centro do núcleo urbano, onde a densidade de tráfego é superior. No centro de Aveiro a concentração média anual é de $235 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

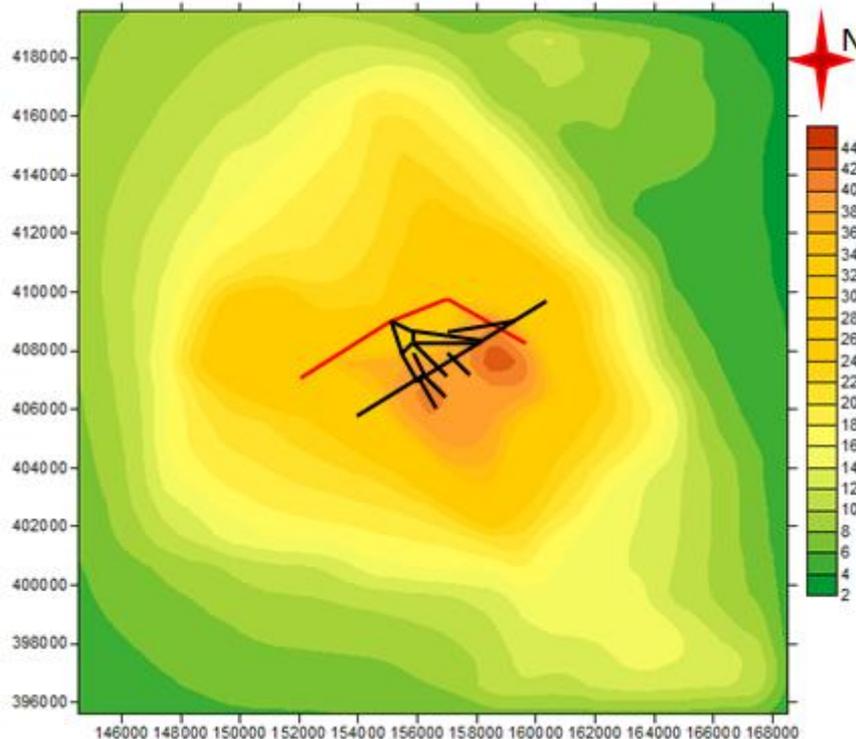


Figura 33: Concentrações médias anuais de PM10 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

Relativamente às partículas a concentração média anual atinge o seu valor máximo ($44 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) a Sudoeste do núcleo urbano central, perto da zona industrial.

4.5 Cenários alternativos

4.5.1 Cenário alternativo – Incremento da frequência de autocarros

Segundo (Soares et al, 2008), a quantidade média diária de utilizadores de transportes públicos no concelho de Aveiro é de 7937. Supondo que o período de ponta da manhã corresponde a 40% deste valor, estima-se que 3175 pessoas utilizem o transporte público neste período. Assumindo que um aumento para o dobro na frequência de autocarros provocaria um aumento de 25% na percentagem de utilizadores de transporte público verificar-se-ia um aumento de 793 pessoas. Este aumento induziria a uma redução de

Modelo do uso de solo para Aveiro: Impacto na mobilidade e qualidade do ar

529 carros, somente 4% do total de viagens geradas em veículo particular pelo programa TRANUS (14787) na hora de ponta, considerando uma taxa de ocupação média de 1,5 pessoas por veículo.

Devido à diminuta utilização dos transportes públicos municipais, um aumento significativo na percentagem de utilizadores, na hora de ponta, não se traduziria numa redução significativa do tráfego automóvel e das consequentes emissões de poluentes. Esta medida tomada isoladamente seria sobretudo eficaz no aumento de acessibilidade geral da cidade e qualidade de vida de população.

4.5.2 Cenário alternativo- Criação de novo nó na A25

A Figura 35 representa a afectação de tráfego gerada pelo modelo TRANUS após a criação de um novo nó de acesso à A25.

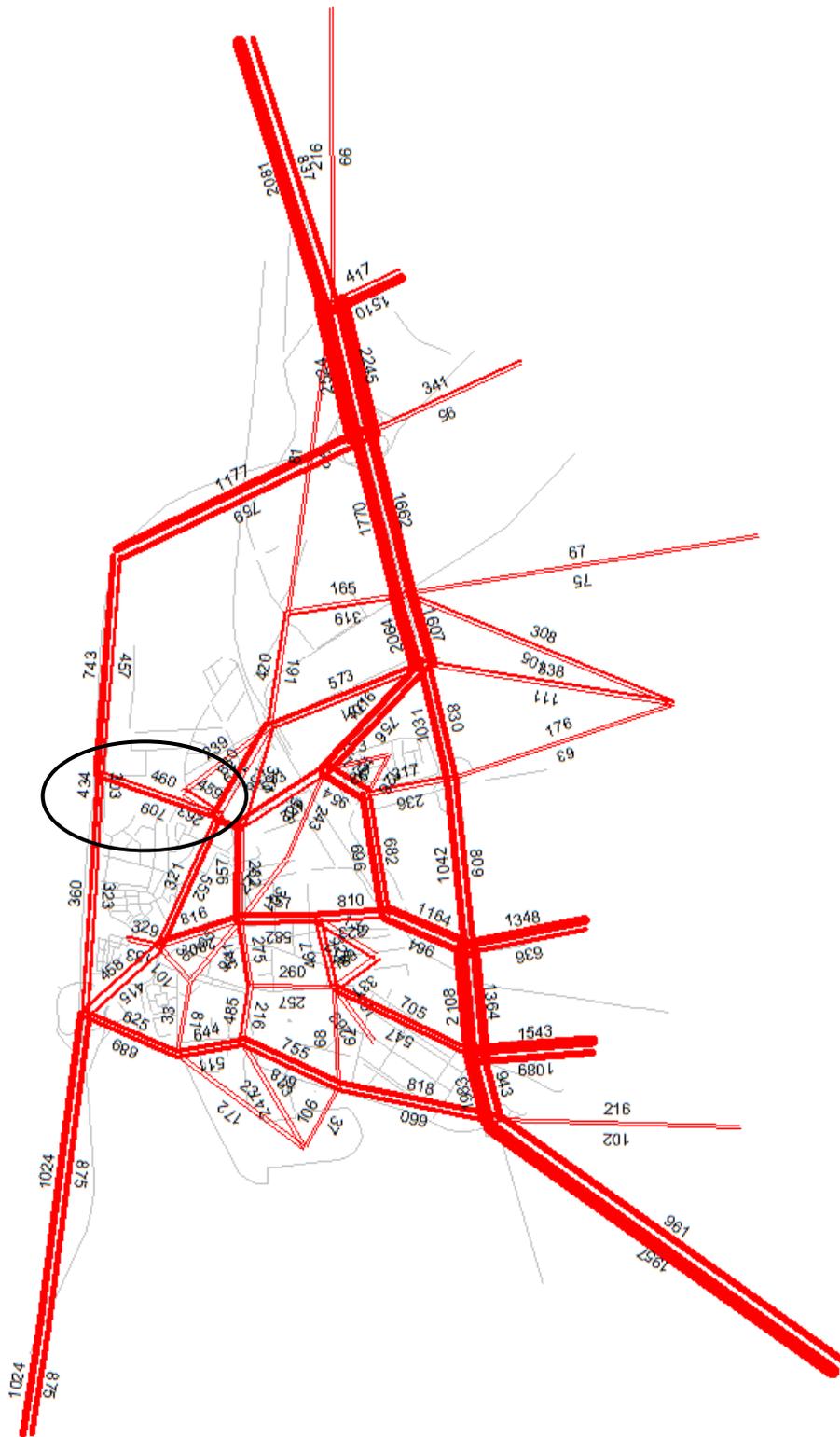


Figura 34: Distribuição de tráfego gerada considerando um novo nó na A25

Modelo do uso de solo para Aveiro: Impacto na mobilidade e qualidade do ar

Analisando qualitativamente os resultados do modelo, a criação de um novo nó na A25, não parece afectar significativamente a distribuição de tráfego no interior da cidade. Na entrada pelo túnel da Av. Lourenço Peixinho regista-se uma redução de 9%, visto que parte de tráfego da zona Barrocas / Esgueira é distribuído por novo acesso. Observa-se ainda, que o fluxo de tráfego de saída do centro da cidade, nesta nova ligação é bastante reduzido.

Dadas as reduzidas diferenças observadas não se considerou pertinente simular os seus efeitos na qualidade do ar.

4.5.3 Cenário alternativo – Car pooling

a) Modelo de uso do solo e transportes

Como foi descrito na secção 3.7 este cenário foi construído impondo uma taxa de ocupação média nos veículos ligeiros de 3 passageiros por veículo. Fruto deste aumento, e da conseqüente redução na alteração do custo de viagem simulado no programa, o número de deslocações será maior (mais passageiros, menor preço da viagem) mas menor número de veículos.

Globalmente, existe uma redução média por via de 45% do número total de veículos a circular na cidade no período da hora de ponta matinal. A Figura 35, representa esquemáticamente a nova distribuição de tráfego neste cenário. Seguidamente, na Tabela 31 são indicadas as vias com maior redução de tráfego.

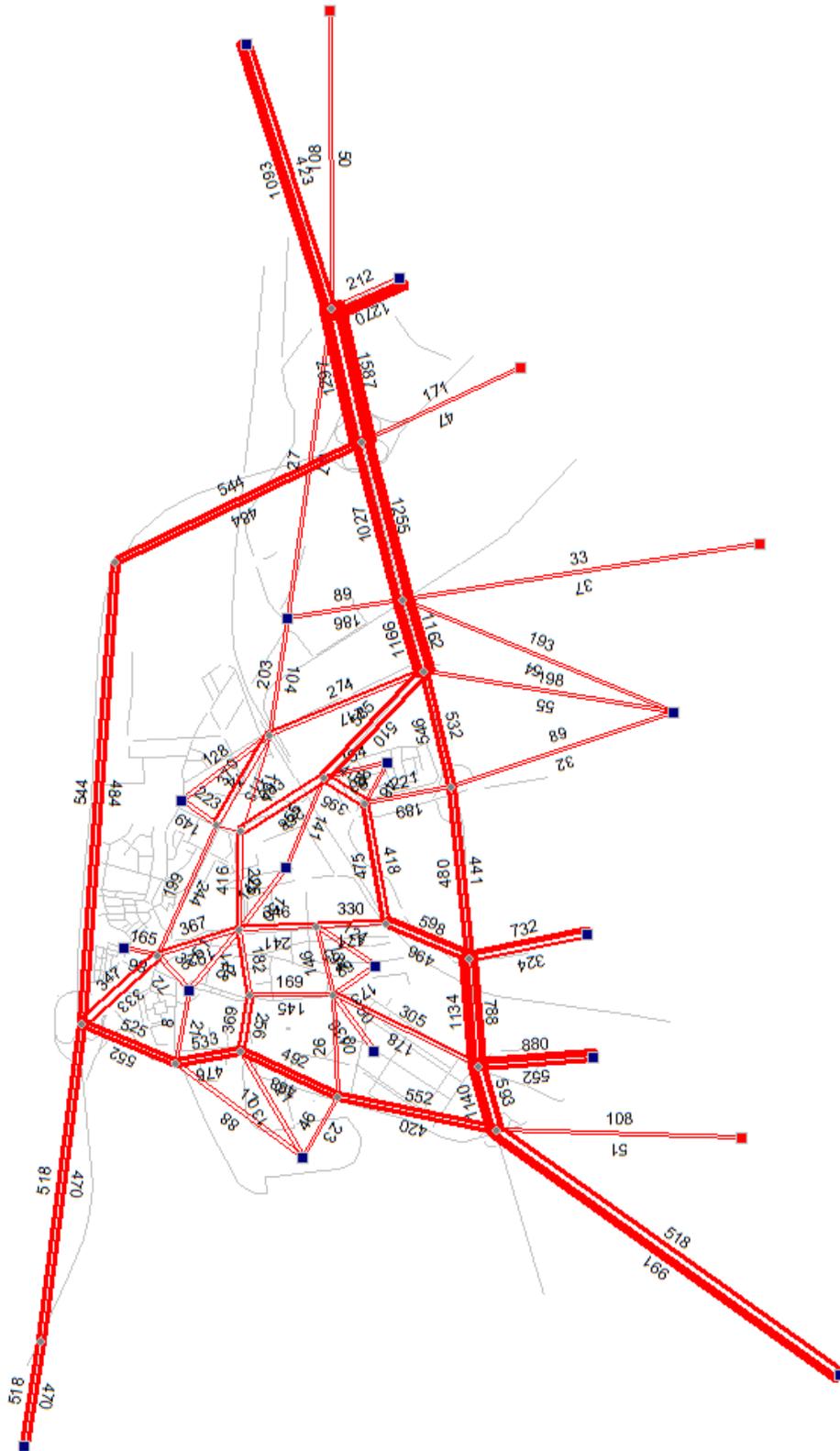


Figura 35: Distribuição de tráfego após a implementação do cenário de *car pooling*

Tabela 31: Vias com maior redução de tráfego no cenário *Car-pooling*

Origem	Destino	Via	Redução
Cruzamento Oita	Rotunda Oita	Rua Oudinot	57%
Rotunda sob LCF	Rotunda Forca	Av, Adelino Amaro Costa	57%
Bombeiros Velhos	Nó Aradas	Rua Mário Sacramento	55%
Pav. Beira Mar	Marquês de Pombal	Rua Santos Mártires	54%
ISCA	Universidade	Acesso UA-ISCA	53%
CP	Cruzamento Oita	Av, Lourenço Peixinho E	52%
Esgueira	CP	Rua Cândido dos Reis	52%
Marquês de Pombal	Sé	Acesso Marquês de Pombal	52%

As ruas com maior redução de tráfego situam-se no centro da cidade contudo, pelas características distintas das vias e das zonas de origem e destino, não é aparentemente visível um padrão de maior potencial de redução de tráfego através desta medida.

b) Modelo de emissões

O resultado global da simulação das emissões deste cenário considerando a alteração do comportamento de tráfego resultante do modelo TRANUS, é apresentado na Tabela 32. Verifica-se uma diminuição geral de todos os poluentes em cerca de 44% à excepção do CO que apresenta uma redução superior, justificada pelo facto da redução de veículos a gasolina apresentar a maior alteração.

Tabela 32: Valores de emissões e consumos globais na hora de ponta e comparação com o cenário base

Emissões (g.h ⁻¹)	CO	PM10	NO _x	VOC	CO ₂	FUEL
	4,52x10 ⁴	1,51x10 ³	2,77x10 ⁴	8,40x10 ³	6,60x10 ⁶	4,36x10 ⁶
Redução	54%	44%	44%	44%	44%	44%

Os gráficos da Figura 36 estabelecem a relação entre a redução das emissões de CO, PM10 e NO_x e a diminuição de tráfego específica de cada via.

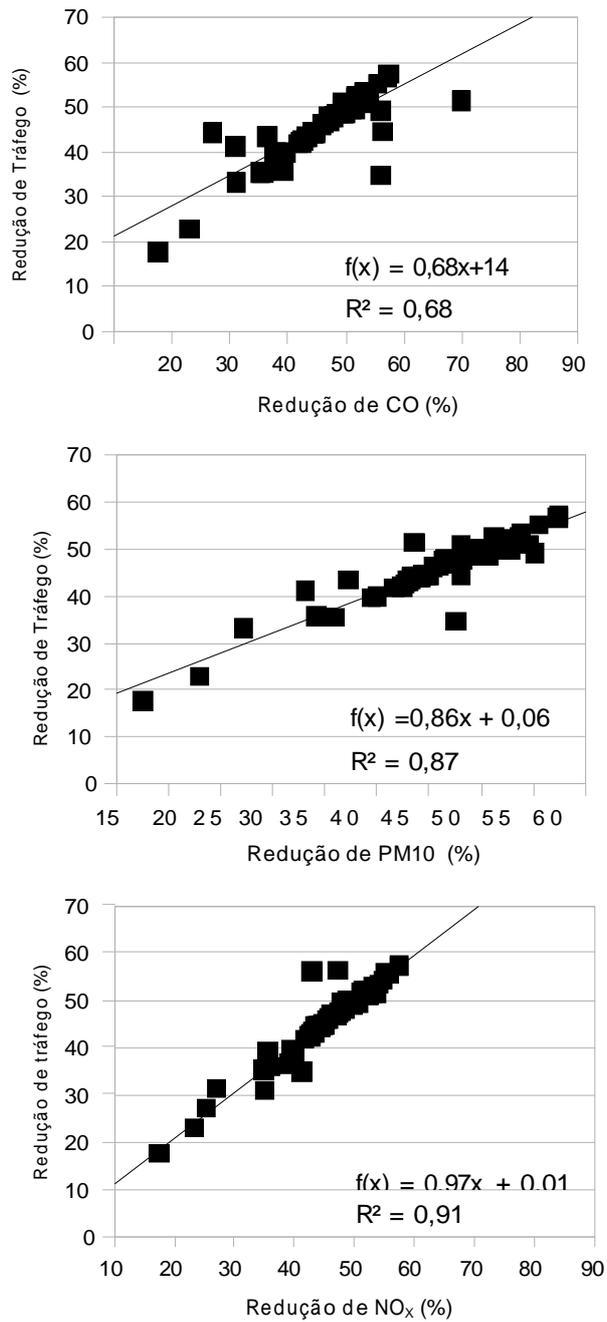


Figura 36: Relação entre diminuição de tráfego por via e o potencial de redução do factor de emissão, para CO, PM10 e NO_x

Verifica-se que existe uma relativa proporcionalidade entre a redução de tráfego associada à partilha de carro por cada via e a redução total de emissões. Este factor é mais evidente na emissão de PM10 e NO_x. As diferenças verificadas são justificadas pela

Modelo do uso de solo para Aveiro: Impacto na mobilidade e qualidade do ar

diferente distribuição na classe de veículos por via, devido ao facto de o programa aceitar apenas números inteiros nas percentagens relativas a cada classe. Nas vias com menor tráfego esta diferença é mais notória.

c) Modelo de qualidade do ar - TAPM

A análise deste cenário no que diz respeito à qualidade do ar baseia-se no potencial de redução da concentração dos poluentes na atmosfera, que este cenário permitiria nomeadamente nas concentrações médias anuais de CO e PM10. Verifica-se que segundo o modelo as reduções de emissões resultantes da diminuição de veículos possibilitariam uma redução de concentração de CO até $100 \mu\text{g.m}^{-3}$ no interior da cidade (Figura 37).

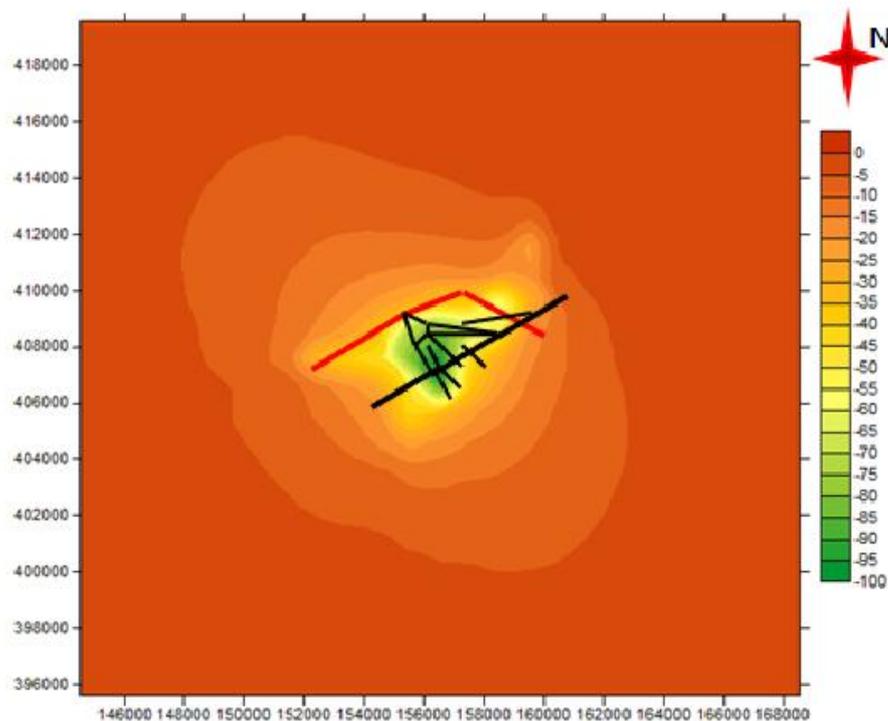


Figura 37: Mapa do diferencial das concentrações médias anuais de CO ($\mu\text{g.m}^{-3}$) no cenário *car-pooling*

A concentração média anual neste local, calculada pelo modelo, é de cerca de $250 \mu\text{g.m}^{-3}$. A avaliação destes resultados não deve descurar todas as condicionantes que já foram referidas anteriormente sobre a modelação das concentrações de monóxido de

carbono. No entanto, é possível observar o que o potencial de redução seria superior no centro da cidade onde a densidade de tráfego é maior.

A Figura 38 representa os diferenciais de redução nos campos de concentrações médias anuais de PM10.

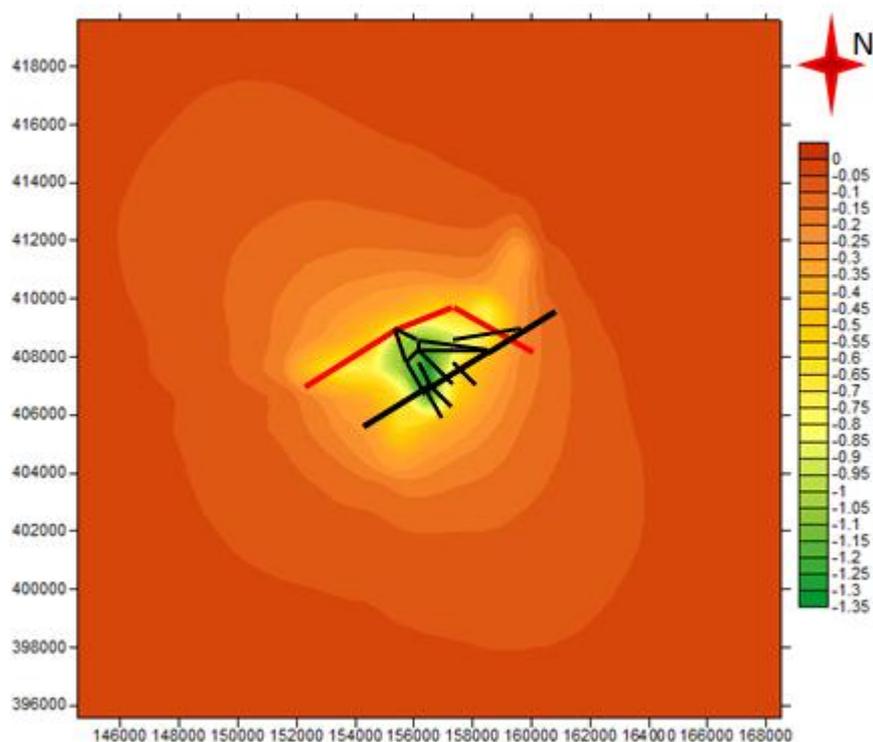


Figura 38: Mapa do diferencial das concentrações médias anuais de PM10 ($\mu\text{g.m}^{-3}$) no cenário car-pooling

Relativamente à concentração de partículas verifica-se que a alteração é diminuta. No centro da cidade a redução máxima seria de $1,35 \mu\text{g.m}^{-3}$ sendo a concentração média anual de $36 \mu\text{g.m}^{-3}$. As concentrações de fundo pré-existentes, no domínio analisado, e as concentrações existentes nas regiões fronteira podem justificar as reduzidas alterações registadas, neste cenário comparativamente com o cenário base.

4.5.4 Cenário – EURO 6

A análise deste cenário tem somente em consideração resultados simulados no modelo de emissões e no modelo de qualidade do ar, visto que se supõe que as características de tráfego na cidade se mantêm constantes.

a) Modelo de emissões

Verifica-se na Tabela 33 que todos os compostos sofrem uma redução muito substancial, sempre superior à redução verificada no cenário *Car-pooling*, apesar do maior número de veículos a circular (é igual ao simulado para a situação actual). O poluente em que se verifica um maior decréscimo de emissões é nas partículas com uma redução de 93%. Na Tabela 21, verifica-se que a norma EURO 6 é particularmente exigente no que diz respeito a este poluente impondo reduções até 97% relativamente à norma EURO 1.

Tabela 33: Valores de emissões totais para a hora de ponta para os diversos cenários e comparação com a situação actual

		CO	PM	NO _x	VOC
Actual	Emissões (g.h⁻¹)	9,90x10 ⁴	2,68x10 ³	4,92x10 ⁴	1,51x10 ⁴
Car pooling	Emissões (g.h⁻¹)	4,52x10 ⁴	1,51x10 ³	2,77x10 ⁴	8,40x10 ³
	Redução	54%	44%	44%	44%
Euro 6	Emissões (g.h⁻¹)	1,66x10 ⁴	1,37x10 ²	1,02x10 ⁴	1,90x10 ³
	Redução	83%	95%	79%	87%

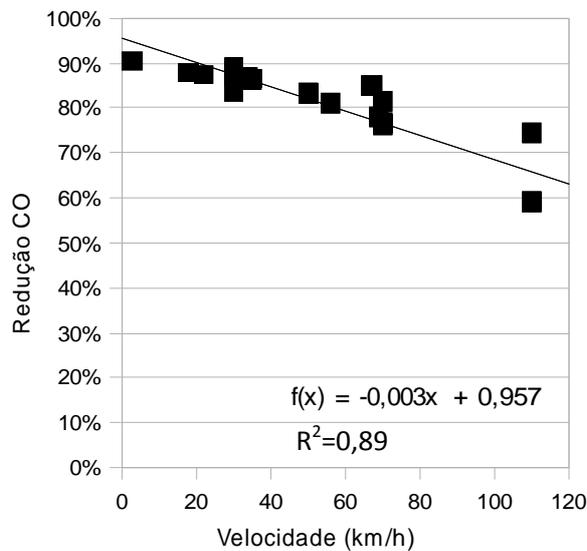


Figura 39: Efeito da velocidade no potencial de redução do factor de emissão de CO

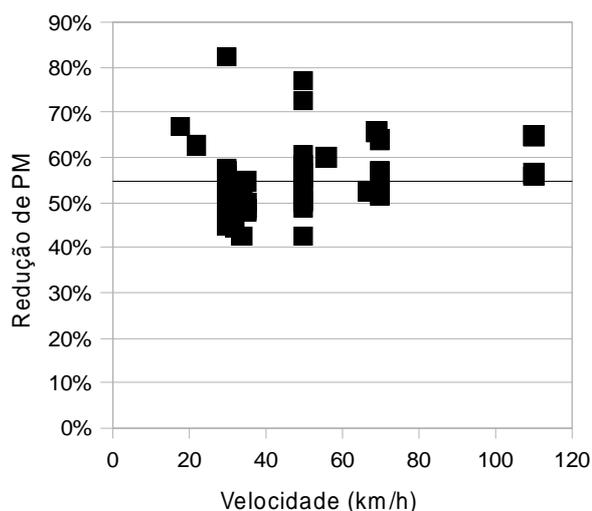


Figura 40: Efeito da velocidade no potencial de redução do factor de emissão de PM10

Observa-se na Figura 39 que a redução das emissões de CO é inferior a velocidades mais elevadas, ou seja fora do ambiente urbano onde as emissões à partida já são menores. No que diz respeito às emissões de PM10 (Figura 40) não existe qualquer correlação entre a velocidade e a respectiva redução. No entanto, verifica-se que nas velocidades intermédias a redução tende a ser inferior à média, onde no caso original a emissão já é mais reduzida.

Constata-se que a evolução da tecnologia automóvel desempenha um importante papel na qualidade do ambiente atmosférico. De facto, este cenário é bastante favorável do ponto de vista da qualidade do ar a nível local/regional, visto que as emissões de CO, NO_x e principalmente de PM10, (actualmente o poluente que ultrapassa frequentemente os valores limite legislados) seriam muito inferiores.

Contudo, a redução de consumos previstas e consequentes emissões de CO₂ não é tão significativa (apenas 1%), não contribuindo para a resolução de outros problemas de poluição à escala global como o efeito de estufa e o aquecimento global. Sublinhe-se que até que este cenário se torne realidade terão de decorrer alguns anos após 2015 até que todo o parque automóvel fabricado antes desta data deixe de circular. Não se deve descurar ainda possíveis dificuldades da indústria automóvel em conseguir cumprir as metas estabelecidas.

c) Qualidade do ar

Modelo do uso de solo para Aveiro: Impacto na mobilidade e qualidade do ar

Através da análise da Figura 41 observa-se que os diferenciais obtidos são praticamente semelhantes aos do cenário anterior, apesar de existir um decréscimo de 87% das emissões de CO neste cenário e uma redução de 57% no cenário de car-pooling.

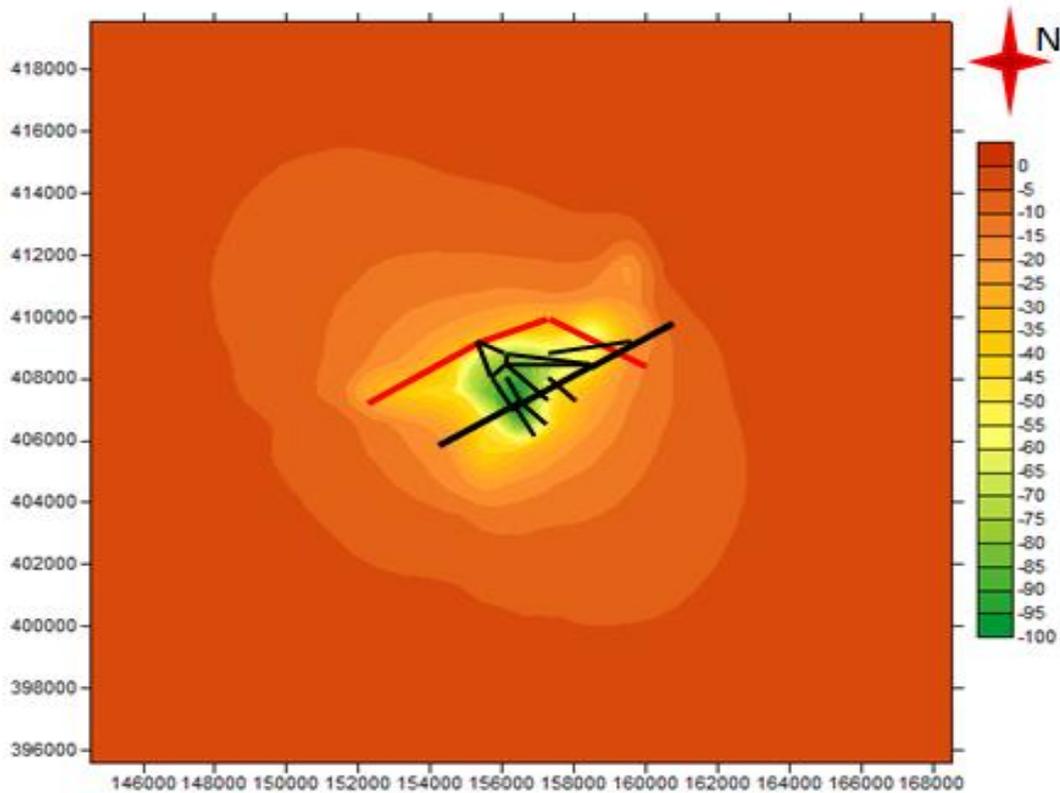


Figura 41: Mapa do diferencial das concentrações médias anuais de CO ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) no cenário EURO6

No caso das partículas (Figura 43) a redução atinge cerca de $2,7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ cerca do dobro da do atingido no cenário car-pooling. De facto a redução de emissões neste cenário é de 95% enquanto que no cenário anterior era de 44%.

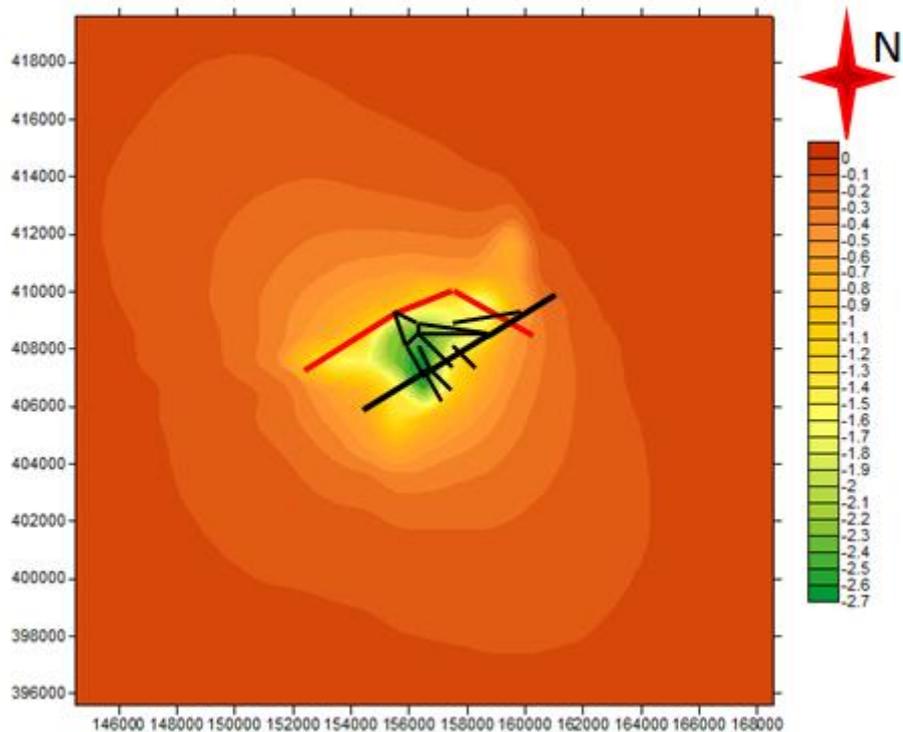


Figura 42: Diferencial das concentrações médias anuais de PM10 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) no cenário EURO6

Globalmente as reduções das concentrações dos poluentes para ambos os cenários não são tão significativas quanto seria previsível, principalmente no que diz respeito às concentrações de PM10. Ter-se-á que ter em conta contudo, que no modelo se altera as condições de uma pequena fracção do domínio e as restantes áreas mantêm as mesmas características, pelo que as condições meteorológicas, nomeadamente o vento podem condicionar a dispersão de poluentes para a área analisada. Seria interessante utilizar modelos de qualidade do ar com diferentes escalas de simulação e poder de resolução no sentido aferir a sensibilidade destas perante as alterações introduzidas.

5 Conclusões e trabalho futuro

O objectivo central deste trabalho consistiu em analisar uma nova metodologia visando integrar os domínios da modelação do uso do solo, transportes, emissões e qualidade do ar utilizando a cidade de Aveiro como caso de estudo.

No domínio da modelação do uso do solo e transportes, os objectivos principais foram alcançados na medida em que se obtiveram valores razoavelmente coerentes com as medições efectuadas. (31% de desvio médio quadrático, incluindo todos os tipos de contagens e 25% contabilizando somente as contagens efectuadas através de filmagens). O anel de controlo delimitado pelas vias EN109 e A25 permitiu avaliar o comportamento global do modelo de forma a avaliar a quantidade absoluta de tráfego que entra e sai do núcleo urbano na hora de ponta. Neste aspecto, os desvios verificados relativamente às medições foram bastante reduzidos (1% para as entradas e 12% para as saídas). Relativamente à afectação de tráfego o modelo confirmou artérias com níveis de tráfego elevados no centro da cidade, mas também nos acessos às freguesias de Aradas e São Bernardo (com mais de 1000 veículos por hora no acesso ao centro de Aveiro) casos típicos do fenómeno de dispersão.

O processo de construção do modelo de solo e transportes revelou-se particularmente difícil na recolha de informação à escala de um bairro urbano. De facto a transposição de informação para diferentes escalas é uma das principais fontes de erro nos processo de modelação de uso do solo (FHWA, 1997). No entanto, provou-se que baseando-se em factores empíricos e simplificando a estrutura do modelo no número de sectores envolvidos (apenas população, emprego de serviços e solo) é possível criar um modelo que traduza razoavelmente a situação actual.

A monitorização de tráfego no interior da cidade permitiu incrementar o conhecimento do volume e da distribuição horária de tráfego nas principais artérias da cidade, no entanto saliente-se que o método usado de monitorização por efeito de Doppler não é o mais indicado em situações de tráfego compacto. A avenida Lourenço Peixinho e a Avenida da Universidade foram as artérias que registaram maior volume de tráfego. As contagens de tráfego por filmagem nas principais entradas da cidade demonstraram que existe uma

utilização relativamente uniforme para todas as artérias que confluem com a EN109, sendo a entrada do nó das pirâmides (A25) a que regista maior afluência de tráfego com cerca de 1600 veículos na hora de pico, 1000 dos quais provenientes da zona Oeste, concelho de Ílhavo.

Relativamente à modelação de emissão de poluentes através do programa TREM, não é possível a comparação dos resultados devido à inexistência de estudos relacionados com emissões de poluentes nesta área. Durante a hora de ponta matinal nas vias simuladas estimou-se que serão emitidas aproximadamente 12 toneladas de CO₂, 100 kg de CO e 2,5 kg de PM10. Estimou-se ainda, que o consumo total de combustível nas vias simuladas é de 7,8 toneladas no mesmo período. As principais dúvidas neste campo prenderam-se com a escolha do parque automóvel representativo da cidade. Para além dos possíveis erros relacionados com a própria composição do parque automóvel da cidade (idades, cilindradas, tipo de combustível), existirão inevitavelmente ainda erros relacionados com a variabilidade natural do tipo de tráfego específico de cada via. O facto de no modelo de transportes se ignorar a distância e o tempo despendido pelos veículos na procura de estacionamento também poderá ser outra fonte de erros considerável, visto que neste tipo de circulação num regime de velocidade reduzido e inconstante é emitida uma percentagem considerável de poluentes, como CO.

Quanto à qualidade do ar, os dois poluentes analisados apresentarem resultados distintos. A simulação das concentrações de CO apresenta fracos índices de qualidade, justificáveis parcialmente pelo desconhecimento das concentrações de fundo e na dificuldade da simulação das condições locais. Os valores de concentração de PM10 modelados são relativamente coerentes com a realidade segundo os indicadores de qualidade analisados, confirmado a par da monitorização que o valor limite de 50 µg.m⁻³ é excedido frequentemente. Este facto deixa antever que a metodologia do trabalho é passível de ser desenvolvida e aplicável a outras áreas a uma escala semelhante.

Relativamente aos cenários apresentados, a primeira hipótese de aumento da frequência de autocarros municipais, possibilitou apenas salientar a reduzida taxa de utilização dos mesmos, no cenário actual. Os resultados da simulação em TRANUS da construção de um novo acesso à A25 demonstram que não são registadas alterações significativas no trânsito urbano. O cenário do aumento da taxa de ocupação de veículos para o dobro demonstra que existem reduções das seguintes ordens de grandeza: CO (54%) e de

Modelo do uso de solo para Aveiro: Impacto na mobilidade e qualidade do ar

NO_x, PM10, VOC e CO₂ (46%). Relativamente ao último cenário foram observados reduções superiores a 79% para CO, NOX, VOC e PM10. No entanto, os consumos e as consequentes emissões de CO₂ não sofrem reduções significativas. Resumindo, a nível de poluição local à escala urbana, a potencial evolução tecnológica permitirá melhorar os índices de qualidade do ar. Para uma redução de poluição à escala global (controlo do efeito de estufa) é necessário a implementação conjunta de medidas que imponham uma redução efectiva do número e da distância percorrida do tráfego.

Trabalho futuro

Existe um leque considerável de possibilidades, tendo em vista o desenvolvimento do trabalho desenvolvido até agora. A realização de uma base de dados, com informação socioeconómica, rede de transportes, dados de tráfego, tipologia de intersecções, e qualidade do ar suportada num sistema de informação geográfica permitiria mais facilmente e com um nível de exactidão superior a introdução e o manuseamento de dados no programa de modelação de uso do solo. Os próprios dados de saída dos vários modelos utilizados neste trabalho poderiam ser inseridos nessa base de dados, sendo posteriormente, uma óptima ferramenta para futuras calibrações, validações de novos modelos e até avaliação de projectos nos campos do planeamento do território, planeamento e ambiente.

Após uma prévia organização de informação, seria desejável, alargar a rede física do modelo e introduzir outros operadores nomeadamente transportes públicos. Seria interessante verificar ainda se um aumento no detalhe da divisão por sectores socioeconómicos e um aumento da escala de modelação seria uma efectiva vantagem na coerência dos modelos.

Inquéritos de mobilidade deveriam ser realizados a fim de se conhecer a matriz de deslocações da cidade e aferir até que ponto os dados das matrizes de deslocações origem destino, fornecida pelo modelo são próximos da realidade.

Aproveitando as dezenas de horas de filmagens realizadas em várias cruzamentos e rotundas da cidade seria interessante avaliar alguns fenómenos no comportamento de tráfego nestes pontos específicos.

A nível de qualidade do ar seria interessante avaliar o comportamento de outros poluentes, efectuar medidas em vários pontos da cidade bem como testar a utilização de outros modelos de simulação da qualidade do ar com diferentes capacidades de resolução espacial. O estudo de factores de emissão para situações específicas de tráfego poderá incrementar o rigor das simulações.

Referências

ACAP, 2007. Associação Automóvel de Portugal, <http://www.acap.pt> - Acedido em Fevereiro de 2009.

ACEA, 2007. European Automobile Manufacturers' Association, <http://www.ACEA.be> - Acedido em Fevereiro de 2009.

APA, 2009. *Qualidade do ar em análise*. Agência Portuguesa do Ambiente, <http://www.apa.org.pt>, Acedido em Maio de 2009.

Almeida B., Marques H. e Pina L., 2008. *Caracterização da qualidade do Ar de Aveiro, Ílhavo e Estarreja* - Relatório final de projecto do curso de eng. do ambiente, Universidade de Aveiro.

Almeida D. Tavares J., Rodrigues S., 2008. *Análise da qualidade do ar na Avenida 25 de Abril em Aveiro*. Relatório final de projecto do curso de eng. do ambiente, Universidade de Aveiro.

Button K. e Hensher D., 2003. *Handbook of transportation and the environment*, Elsevier Science, Series Handbooks in Transport, Volume 4.

CE, 2009. Comissão Europeia. Síntese Legislação UE
http://europa.eu/legislation_summaries/ - Acedido em Abril de 2009

CEPA, 2005. *Air quality and land use handbook: a community health perspective*. California Environmental Protection Agency California Air Resources Board.
<http://www.arb.ca.gov/> - Acedido em Janeiro de 2009.

CMA, Câmara Municipal de Aveiro, URL: <http://www.cm-aveiro.pt> – Acedido Jan. de 2009

Coelho M., Tiago L. Farias & Nagui M. Rouphail, 2005. *Impact of Speed Control Traffic Signals on Pollutant Emissions*, Transportation Research Part D: Transport and Environment , Elsevier, Volume 10 (4), pp. 323-340

DAO, 2007. *Modelo de Emissões dos Transportes para Fontes em Linha – Metodologia. Relatório técnico - Intelligent Energy for Europe. Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.*

de la Barra T., Brown F., Rickaby P., Turner J. and Steadman P., 1998. *An Integrated Land Use and Transport Model for the City of Swindon*, Modelistica. Sustainable Cities Programme, Project Outline.

- de la Barra T., 1999. *Asignación probabilística multimodal*, Modelística, Instituto de Urbanismo, Universidad Central de Venezuela, <http://www.modelistica.com>. - Acedido em Março de 2009.
- Domingues, A., *Cidade e Democracia 30 anos de transformação urbana em Portugal*, Argumentum, pp. 200-209, 2006.
- DGGE - Direcção-Geral de Energia e Geologia Aviso n.º 18670/2008, <http://www.dre.pt/> - Acedido em Maio de 2009.
- EUKN, 2007. *Towards a new culture for urban mobility – Green Paper on urban transport*, European Urban Knowledge Network. <http://www.eukn.org/eukn> - Acedido Dezembro de 2009.
- EEA, 2006. *Urban sprawl in Europe - The ignored challenge*, European Environment Agency, Comissão Europeia.
- FHWA, 1997. *Model Validation and Reasonableness Checking Manual*, Barton-Aschman Associates, Inc. and Cambridge Systematics, Travel Model Improvement Program Federal Highway Administration.
- GET, 2004 Ministério do Trabalho e Solidariedade Social - *Inquérito aos Ganhos e Duração do Trabalho*, <http://www.dgeep.mtss.gov.pt>, Acedido em Fevereiro de 2009.
- Hurley P., Physic L., Luhar A., e Edwards M., 2007. *The AirPollution Model (TAPM) - Version 3*, CSIRO – Marine and Atmospheric Research, <http://www.cmar.csiro>. - Acedido em Maio de 2009.
- INE Instituto Nacional de Estatística, <http://www.ine.pt>, Acedido em Fevereiro de 2009.
- INE, 2005, *Atlas das Cidades de Portugal*. <http://www.ine.pt>, Acedido em Março de 2009.
- Johnston R., de la Barra T., 1999. *Comprehensive regional modeling for long-range planning: linking integrated urban models and geographic information systems*, Elsevier Transportation Research, part A, Volume 34, pp 125-136.
- Kahn, 2002, Kahn M. : *A review of Travel by design: The influence of urban form on Travel*, El Sevier, Regional Science and Urban Economics, Volume 32, nº 2, pp. 275-277.
- Khattak A. e Wang W., 2009. *Tranus Validation/Calibration of base year flows*, Old Dominion University, USA. (Relatório preliminar)

Khattak J., Rodriguez D., Song Y. , Morton B. , Shay Roupail N., Frey C., 2008. *Impacts of Regional Development, Travel Behavior, and Spatial Pattern of Emissions in United States*, WorkShop - Fundação Luso Americana, Transportation Systems Impacts in USA and Portugal,

Modelística, 2007. Manual de usuario Interfaz Gráfica y Base de Datos de TRANUS - TUS
URL: <http://www.modelística.com> Acedido em Setembro de 2008.

Morton B., Rodríguez D., Song Y. e Cho E. J., 2007. *Using TRANUS to Construct a Land Use-Transportation-Emissions Model of Charlotte, North Carolina*, Transportation Land Use Planning and Air Quality Congress 2007 pp.206-218.

Rodriguez D. e Joo W., 2004. *The relationship between no motorized mode choice and the local physical environment*, Elsevier, Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 9, nº 2, pp. 151-173.

RQA, 2005. *Relatório da Qualidade do Ar em Aveiro*, <http://sig.cm-aveiro.pt/ambiria/>
Acedido em Maio de 2009.

Sá e Calado, 2007, Sá M. E., Calado D. Aplicação de um modelo de qualidade do ar para a região litoral centro. Relatório final de projecto do curso de eng. do ambiente, Universidade de Aveiro.

Soares A., Lopes P., Loureiro A., 2008. *Plano de Mobilidade para a cidade de Aveiro*, (Documento cedido pela Câmara Municipal de Aveiro).

ANEXO A

Tabela A: Composição do parque automóvel simulado no modelo de emissões

Passageiros Gasolina							
Cilindrada (cm ³)	ECE 15-03	ECE 15-04	EURO1	EURO 2	EURO3	EURO4	(%) Total
<1400	1	4	13	18	8	5	
1400-2000	1	5	13	18	8	5	53
>2000	0	0	0	1	0	0	
Passageiros e Comerciais Diesel							
Cilindrada (cm ³)	Conv.	EURO1	EURO 2	EURO3	EURO4	(%) Total	
<2000	10	26	36	17	10	23	
>2000			1				
Comerciais	5	20	44	19	12	21	
Pesados de mercadorias							
Tipo	Toneladas	Conv.	EURO1	EURO 2	EURO3	EURO4	(%) Total
Rígido	<7,5	4	5	5	2	1	
Rígido	7,5 – 12	6	5	5	2	1	
Rígido	12-14	5	4	5	2	1	
Rígido	14-20	3	2	2	1	1	
Rígido	20-26	3	3	3	1	1	
Rígido	26-28	1	1	1	0	0	1
Rígido	28-32	1	0	1	0	0	
Rígido	>32	0	0	0	0	0	
Articulado	14-20	3	2	2	1	1	
Articulado	20-28	3	3	3	1	1	
Articulado	28-34	1	0	1	0	0	
Autocarros							
Tipo	Toneladas	Conv.	EURO1	EURO 2	EURO3	EURO4	(%) Total
Urbano	<15	17	11	14	7	5	
Urbano	15-18	6	4	4	2	2	1
Urbano	>18	9	5	7	4	3	
Motociclos							
Cilindrada (cm ³)	Conv.	EURO1	EURO 2	EURO3	EURO4	(%) Total	
<50	50	15	25	10	0	1	

ANEXO B

Parâmetros e domínios do modelo TAPM

NUMBER OF GRIDS= 4

GRID CENTRE (cx,cy)=(156529 , 407584) (m)

GRID DIMENSIONS (nx,ny,nz)=(25 , 25 , 25)

GRID SPACING 1 - (delx,dely)=(30000 , 30000) (m)

GRID SPACING 2 - (delx,dely)=(10000 , 10000) (m)

GRID SPACING 3 - (delx,dely)=(3000 , 3000) (m)

GRID SPACING 4 - (delx,dely)=(1000 , 1000) (m)

BACKGROUND APM = 1.00000000 (ug/m3)

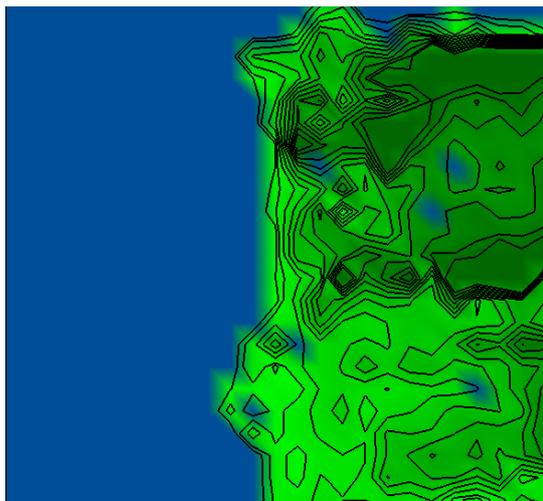
BACKGROUND NOX&NO2= 0.200000003 (ppb)

BACKGROUND O3 = 20.00000000 (ppb)

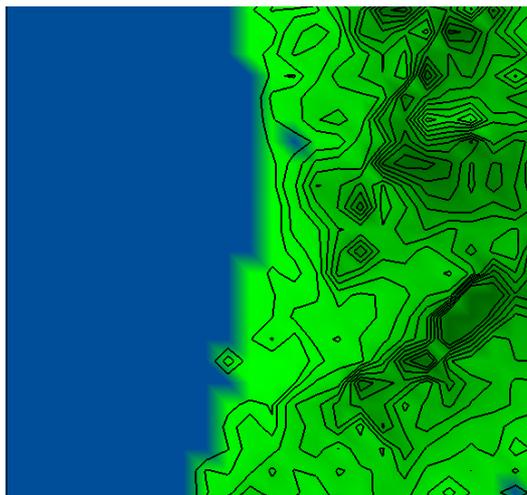
BACKGROUND Rsmog = 0.500000000 (ppb)

BACKGROUND SO2 = 0.200000003 (ppb)

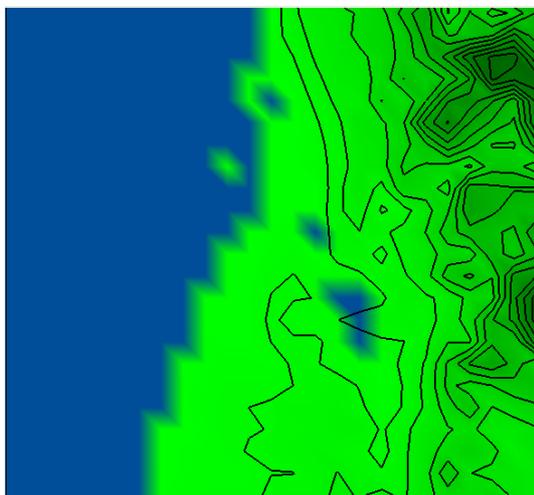
BACKGROUND FPM = 0.00000000E+00 (ug/m3)



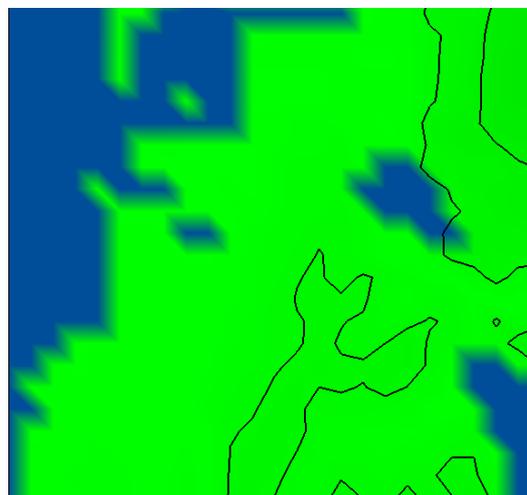
Domínio 1



Domínio 2



Domínio 4



Domínio 3

ANEXO C

Resultados do modelo de uso de solo TRANUS

O programa IMPLOC é um módulo associado ao programa TRANUS que produz tabelas de resultados sobre a localização e o uso de solo. As colunas das tabelas que se apresentam seguidamente, representam os seguintes conceitos, explicados no manual do programa:

Produção total (PT): Produção total de cada sector em cada zona, corresponde à soma da produção exógena com a produção induzida. No caso do emprego básico, toda a produção é exógena, deste modo o modelo apenas repete os dados que foram introduzidos. Nos restantes sectores a produção é totalmente induzida e portanto é simulada pelo modelo. Estes resultados podem comparar-se com os dados originais para confirmar se o modelo os reproduziu aproximadamente.

Procura Total (PrT): Procura total de cada sector em cada zona. No caso do sector Emprego básico, não existe procura, já que como se referiu anteriormente, nenhum outro sector procura Emprego básico, visto que toda a sua produção é exógena, Por sua vez, o emprego de serviço, é solicitado pela população. Por exemplo no Bairro do Liceu (Z13) a procura de emprego de serviço é maior que a produção porque é uma zona residencial. No caso do solo como se trata de um sector não transportável, toda a produção deve ser consumida na mesma zona, ou seja procura e oferta são sempre iguais.

Custo de Produção (CP): Para os sectores não restringidos (todos menos solo) o preço é calculado pelo modelo como a soma dos “insumos” mais os valores agregados mais os custos de transporte. Assim por exemplo, produzir um emprego básico na zona industrial (Z6) tem um custo de aproximadamente €2100. Este custo depende do que o emprego básico consome naquela zona, neste caso consome população e solo em determinadas quantidades.

Preço (P): Para os sectores não restringidos, o preço é igual ao custo de produção. Para o caso do solo o preço é um dado e portanto aparece igual ao custo de produção, já que foi assim que se introduziram os dados. Em cenários futuros o preço do solo pode variar.

Ajuste (A): Para poder igualar os resultados simulados aos dados, o modelo de uso do solo calcula, no ano base, factores de ajuste dos preços. Se o modelo fosse perfeito todos os factores de ajuste seriam zero. No caso de emprego básico, toda a produção é um dado exógeno e portanto o modelo não é obrigado a fazer nenhum ajuste. No caso dos sectores induzidos e transportáveis o valor absoluto dos factores de ajuste não é relevante, já que se trata de uma distribuição. O importante é que os factores de ajuste sejam similares entre eles, caso contrário a distribuição estaria a ser dominada pelos factores de ajuste e não pela função de utilidade. Confirma-se que em todos os casos os factores de ajuste são semelhantes entre si. No caso do solo, não existe uma distribuição, e portanto cada factor de ajuste deve aproximar-se a zero. À excepção das zonas Universidade e Santa Joana, e Beira Mar que apresentam factores de ajuste exagerados os restantes variam entre 5 e 22% o que se pode considerar razoável.

Emprego básico						População					
Zona	PT	PrT	CP	P	A	Zona	PT	PrT	CP	P	A
1	0	0	2301	2301	0,00%	1	593,94	47,53	833,56	833,56	-74,40%
2	281	0	2030,05	2030,05	0,00%	2	1717,31	1157,82	508,27	508,27	-71,60%
3	0	0	2231,77	2231,77	0,00%	3	1708,3	728,03	783,22	783,22	-73,90%
4	1000	0	2249,95	2249,95	0,00%	4	1887,01	1980,85	666,98	666,98	-77,90%
5	281	0	2244,75	2244,75	0,00%	5	505,74	2034,18	724,27	724,27	-73,20%
6	2795	0	2201,39	2201,39	0,00%	6	437,74	5632,76	658,17	658,17	-72,70%
7	224	0	2398,86	2398,86	0,00%	7	908,64	905,9	933,6	933,6	-74,40%
8	812	0	2126,66	2126,66	0,00%	8	3081,99	1973,68	635,45	635,45	-73,50%
9	338	0	2151,81	2151,81	0,00%	9	1588,59	861,93	649,09	649,09	-73,90%
10	178	0	2119,73	2119,73	0,00%	10	3023,53	520,67	653,78	653,78	-73,30%
11	2000	0	2191,71	2191,71	0,00%	11	2207,38	4024,16	661,82	661,82	-77,40%
12	0	0	2374,75	2374,75	0,00%	12	896,08	268,89	919,27	919,27	-74,50%
13	281	0	2290,84	2290,84	0,00%	13	1481,29	1177,3	811,64	811,64	-73,90%
14	112	0	2342,56	2342,56	0,00%	14	933,78	688,5	877,17	877,17	-74,10%
16	700	0	2209,29	2209,29	0,00%	16	2456,99	1468,67	667,12	667,12	-74,90%
17	112	0	2405,49	2405,49	0,00%	17	469,84	427,28	963,01	963,01	-74,40%

Emprego Serviços						Solo					
Zona	PT	PrT	CP	P	A	Zona	PT	PrT	CP	P	A
1	26,41	89,74	2136,75	2136,75	-72,70%	1	5,76	5,76	50000	50000	53,80%
2	346,62	267,85	1899,53	1899,53	-71,90%	2	10,75	10,75	30000	30000	-82,10%
3	404,46	257,7	2083,9	2083,9	-72,70%	3	20,45	20,45	40000	40000	17,90%
4	44,92	289,53	2115,92	2115,92	-73,40%	4	30,63	30,63	25000	25000	-16,30%
5	833,49	77,14	2069,9	2069,9	-72,60%	5	7,47	7,47	60000	60000	389,00%
6	179,03	66,94	2069,89	2069,89	-70,10%	6	31,97	31,97	25000	25000	-15,30%
7	266,83	134,95	2220,08	2220,08	-72,80%	7	11,75	11,75	60000	60000	36,40%
8	239,38	476,96	1998,72	1998,72	-71,80%	8	43,42	43,42	25000	25000	-5,80%
9	122,07	246,25	2023,21	2023,21	-72,30%	9	21,96	21,96	25000	25000	-22,80%
10	101,37	466,86	1981,66	1981,66	-72,30%	10	29,79	29,79	30000	30000	180,50%
11	124,53	332,41	2061,01	2061,01	-73,60%	11	44,3	44,3	25001	25001	-22,70%
12	149,38	133,65	2205,05	2205,05	-72,90%	12	9,85	9,85	55000	55000	10,70%
13	357,45	223,43	2125,69	2125,69	-72,10%	13	17,7	17,7	50000	50000	77,40%
14	264,28	139,62	2179,7	2179,7	-72,80%	14	12,11	12,11	50000	50000	9,70%
16	77,04	383,82	2077,79	2077,79	-71,80%	16	34,79	34,79	25000	25000	-26,00%
17	119,15	69,56	2206,07	2206,07	-72,60%	17	4,95	4,95	75000	75000	102,00%

ANEXO D

Resultados do modelo de transportes TRANUS

Tabela B: Identificação das vias e respectivos sentidos de circulação

<i>l</i>	<i>Origem</i>	<i>Destino</i>	<i>Rua</i>
3	PSP	Sé	Av Santa Joana
4	Sé	PSP	Av. Santa Joana
9	Nó Santa Joana	Nó Feira	EN 109
10	Nó Feira	Nó Santa Joana	EN 109
11	Nó Feira	Nó São Bernardo	EN 109
12	Nó São Bernardo	Nó Feira	EN 109
32	Nó São Bernardo	Nó Aradas	EN 109
33	Nó Aradas	Nó São Bernardo	EN 109
34	Nó Aradas	Nó Oiã	EN 109
35	Nó Oiã	Nó Aradas	EN 109
38	Rotunda Hospital	PSP	Av. Artur Ravara
39	PSP	Rotunda Hospital	Av. Artur Ravara
42	Pontes	Sé	Rua Batalhão Caçadores
43	Sé	Pontes	Rua Batalhão Caçadores
44	Sé	Rotunda Oita	Av. 5 de Outubro
45	Rotunda Oita	Sé	Av. 5 de Outubro
48	Pontes	Beira Mar	Acesso Rossio Beira Mar
49	Beira Mar	Pontes	Acesso Rossio Beira Mar
51	Cruzamento Oita	Rotunda Oita	Rua Oudinot
52	Cruzamento Oita	CP	Av. Lourenço Peixinho E
53	CP	Cruzamento Oita	Av. Lourenço Peixinho E
54	CP	Nó Santa Joana	Av. Túnel CP
55	Nó Santa Joana	CP	Av. Túnel CP
56	CP	Esgueira	Peixinho Esgueira
57	Esgueira	CP	Peixinho Esgueira
58	Nó Santa Joana	Nó Esgueira	EN 109
59	Nó Esgueira	Nó Santa Joana	EN 109
60	Nó Esgueira	Nó A25 EN 109	EN 109
61	Nó A25 EN 109	Nó Esgueira	EN 109
62	Praias – Gafanhas	Nó Pirâmides	A25
63	Nó Pirâmides	Nó Praias	A25
66	Curva A25	Nó A25 EN 109	A25
67	Nó A25 EN 109	Curva A25	A25
68	Nó Praias	Praias	Acesso Praias Gafanhas
69	Praias	Nó Praias	Acesso Praias Gafanhas
70	Nó Esgueira	Esgueira	Acesso Esgueira Via 109
71	Esgueira	Nó Esgueira	Acesso Esgueira Via 109
72	Nó São Bernardo	Av. 25 Abril XR, Bourges	Rua de Bourges
73	Av.25 Abril XR, Bourges	Nó São Bernardo	Rua de Bourges
76	Av.25 Abril XR, Bourges	Rotunda Forca	Av. Sá Cameiro
77	Rotunda Forca	Av. 25 Abril XR, Bourges	Av. Sá Cameiro
78	Nó Feira	Rotunda Forca	Av. Loja cidadão
79	Rotunda Forca	Nó Feira	Av. Loja cidadão
80	Rotunda Forca	Rotunda sob LCF	Av. Adelino Amaro Costa
81	Rotunda sob LCF	Rotunda Forca	Av. Adelino Amaro Costa
82	Rotunda Oita	Rotunda sob LCF	Av. Congresso Oposição Democrática □
83	Rotunda sob LCF	Rotunda Oita	Av. Congresso Oposição Democrática □
84	Rotunda sob LCF	Nó Santa Joana	Av. Congresso Oposição Democrática □
85	Nó Santa Joana	Rotunda sob LCF	Av. Congresso Oposição Democrática □
86	Rotunda Hospital	Universidade	Acesso UA
87	Universidade	Rotunda Hospital	Acesso UA
88	Pontes	Nó Pirâmides	Rua dos Galitos

89	Nó Pirâmides	Pontes	Rua dos Galitos
90	Pav. Beira Mar	Rotunda Hospital	Rua Caloust Gulbenkian □
91	Rotunda Hospital	Pav. Beira Mar	Rua Caloust Gulbenkian □
92	Pav. Beira Mar	Nó Pirâmides	Rua Caloust Gulbenkian
93	Nó Pirâmides	Pav. Beira Mar	Rua Caloust Gulbenkian
94	Pav. Beira Mar	Universidade	Rua Pega
95	Universidade	Pav. Beira Mar	Rua Pega
96	Nó A25 EN 109	Nó ZI	EN 109
97	Nó ZI	Nó A25 – EN 109	EN 119
98	Esgueira	Nó ZI	Circular de Esgueira
99	Nó ZI	Esgueira	Circular de Esgueira
100	Nó ZI	ZI	Acesso Zona Industrial
101	ZI	Nó ZI	Acesso Zona Industrial
102	Cruzamento Oita	Barrocas	Acesso Barrocas
103	Barrocas	Cruzamento Oita	Acesso Barrocas
104	Nó Aradas	Aradas	Acesso Aradas
105	Aradas	Nó Aradas	Acesso Aradas
106	Santa Joana	Nó Santa Joana	Acesso SJ Centro
107	Nó Santa Joana	Santa Joana	Acesso SJ Centro
108	Santa Joana	Nó Esgueira	Acesso SJ NORTE
109	Nó Esgueira	Santa Joana	Acesso SJ NORTE
110	Nó Oiã	Ílhavo	Acesso Ílhavo
111	Ílhavo	Nó Oiã	Acesso Ílhavo
112	Nó São Bernardo	São Bernardo	Acesso São Bernardo
113	São Bernardo	Nó São Bernardo	Acesso São Bernardo
114	Rotunda Forca	Forca	Acesso Forca
115	Forca	Rotunda Forca	Acesso Forca
116	Nó Aradas	Bombeiros Velhos	Rua Mário Sacramento
117	Bombeiros Velhos	Nó Aradas	Rua Mário Sacramento
118	Sé	Liceu	Av. 25 Abril Centro
119	Liceu	Sé	Av. 25 Abril Centro
120	Liceu	Bombeiros Velhos	Lig, MS – 25 Abril
121	Bombeiros Velhos	Liceu	Lig, MS – 25 Abril
122	Liceu	Av.25 Abril XR, Bourges	Av. 25 Abril
123	Av.25 Abril XR, Bourges	Liceu	Av 25 Abril
124	Bombeiros Velhos	PSP	Av. D. Afonso V
125	Bombeiros Velhos	Santiago	Acesso Santiago
126	Santiago	Bombeiros Velhos	Acesso Santiago
127	Bairro do Liceu	Bombeiros Velhos	Acesso Bairro Liceu
128	Bombeiros Velhos	Bairro do Liceu	Acesso Bairro Liceu
129	Sé	Antiga Feira	Acesso Antiga Feira Forum
130	Antiga Feira	Sé	Acesso Antiga Feira Forum
131	Rotunda sob LCF	Antiga Feira	Acesso Antiga Feira Forum
132	Antiga Feira	Rotunda sob LCF	Acesso Antiga Feira Forum
133	Nó A25 – EN 109	Leste	A25
134	Albergaria	Nó A25 EN 109	Acesso Albergaria
135	Cacia	Nó ZI	EN 109
136	Nó ZI	Cacia	EN 109
137	Nó Feira	Santa Joana	Acesso SJ Sul
138	Santa Joana	Nó Feira	Acesso SJ Sul
139	Sé	Marquês de Pombal	Acesso Marquês de Pombal
140	Marquês de Pombal	Sé	Acesso Marquês de Pombal

159	Pontes	Marquês de Pombal	Acesso Marquês de Pombal
160	Marquês de Pombal	Pontes	Acesso Marquês de Pombal
161	Pontes	Cruzamento Oita	Av. Lourenço Peixinho O
162	Cruzamento Oita	Pontes	Av. Lourenço Peixinho O
165	Marquês de Pombal	Pav. Beira Mar	EN 230
166	Pav. Beira Mar	Marquês de Pombal	Rua Santos Mártires
169	Nó Oiã	Oliveira Bairro	EN 235
170	Oliveira Bairro	Nó Oiã	EN 235
171	Nó ZI	Estarreja	EN 109
172	Estarreja	Nó ZI	EN 109
179	PSP	Bombeiros Velhos	Av. D, Afonso V
180	Nó Pirâmides	Curva A25	A25
181	Curva A25	Nó Pirâmides	A25
182	Águeda	Nó Esgueira	EN 230
183	Nó Esgueira	Águeda	EN 230
184	Bombeiros Velhos	ISCA	Rua do ISCA
185	ISCA	Bombeiros Velhos	Rua do ISCA
186	Nó Oiã	ISCA	Av. Universidade
187	ISCA	Nó Oiã	Av. Universidade
188	ISCA	Rotunda Hospital	Av. Universidade
189	Rotunda Hospital	ISCA	Av. Universidade
190	Universidade	ISCA	Acesso UA-ISCA
191	ISCA	Universidade	Acesso UA-ISCA

Tabela C: Característica da via, distancia (km), velocidade (km.h-1) e afectação de tráfego

Id	Tipo	Dist	LinkCap	Vel	Veic/hora	Id	Tipo	Dist	LinkCap	Vel	Veic/hora
3	2	0,54	2000	50	447	104	6	0,58	inf	30	864
4	2	0,54	2000	50	945	105	6	0,58	inf	30	1330
9	3	0,59	2000	70	855	106	6	0,53	inf	30	624
10	3	0,59	2000	70	716	107	6	0,53	inf	30	102
11	3	0,87	2000	70	991	108	6	0,45	inf	30	563
12	3	0,87	2000	70	718	109	6	0,45	inf	30	94
32	3	0,54	2500	66	1846	110	3	3	inf	70	1774
33	3	0,54	2500	70	1278	111	3	3	inf	70	868
34	3	0,33	2000	40	1941	112	6	0,5	inf	30	441
35	3	0,33	2000	70	918	113	6	0,5	inf	30	767
38	2	0,41	2000	50	493	114	6	0,33	inf	30	134
39	2	0,41	2000	50	1177	115	6	0,33	inf	30	242
42	5	0,34	1000	35	494	116	5	0,72	1000	32	777
43	5	0,34	1000	32	788	117	5	0,72	1000	32	767
44	2	0,49	2000	50	408	118	5	0,39	2000	35	521
45	2	0,49	2000	50	1060	119	5	0,39	2000	35	718
48	6	0,24	inf	30	344	120	5	0,4	1500	35	569
49	6	0,24	inf	30	297	121	5	0,4	1500	35	509
51	5	0,13	1000	34	645	122	5	0,35	2000	35	541
52	2	0,52	2000	50	240	123	5	0,35	2000	35	764
53	2	0,52	2000	50	917	124	5	0,42	700	24	644
54	2	0,85	3000	50	413	125	6	0,34	inf	30	635
55	2	0,85	3000	50	658	126	6	0,34	inf	30	904
56	5	0,47	1500	35	282	127	6	0,26	inf	30	358
57	5	0,47	1500	35	444	128	6	0,26	inf	30	328
58	3	0,37	2000	62	1625	129	6	0,39	inf	30	334
59	3	0,37	2000	56	1739	130	6	0,39	inf	30	312
60	3	0,82	2000	59	1687	131	6	0,49	inf	30	310
61	3	0,82	2000	69	1225	132	6	0,49	inf	30	246
62	7	2	4000	110	869	133	7	0,88	4000	110	95
63	7	2	4000	110	867	134	7	0,88	4000	110	341
66	7	2	4000	110	620	135	3	2	3000	70	1201
67	7	2	4000	110	685	136	3	2	3000	70	636
68	6	3	inf	30	867	137	6	0,88	inf	30	68
69	6	3	inf	30	869	138	6	0,88	inf	30	395
70	6	0,49	inf	30	211	139	6	0,4	inf	30	126
71	6	0,49	inf	30	327	140	6	0,4	inf	30	91
72	2	0,46	1700	50	842	141	6	0,36	inf	30	308
73	2	0,46	1700	50	810	142	6	0,36	inf	30	342
76	2	0,56	2000	50	655	147	5	0,5	2000	35	366
77	2	0,56	2000	50	847	149	6	0,55	inf	30	282
78	2	0,5	2000	50	545	150	6	0,55	inf	30	186
79	2	0,5	2000	50	353	151	6	0,33	inf	30	151
80	2	0,24	2000	50	770	152	6	0,33	inf	3	229
81	2	0,24	2000	50	662	159	6	0,27	inf	30	168
82	2	0,5	2000	50	447	160	6	0,27	inf	30	106
83	2	0,5	2000	50	820	161	2	0,72	2000	50	544
84	2	0,74	2000	50	782	162	2	0,72	2000	50	479
85	2	0,74	2000	50	1034	165	6	0,38	inf	30	68
86	6	0,48	inf	30	716	166	6	0,38	inf	30	53
87	6	0,48	inf	30	94	169	3	2	inf	70	102
88	5	0,51	1000	32	771	170	3	2	inf	70	216
89	5	0,51	1000	34	651	171	3	1,49	inf	70	99
90	5	0,36	1000	34	697	172	3	1,49	inf	70	216
91	5	0,36	1000	22	947	179	5	0,42	700	34	458
92	5	0,5	1000	31	801	180	7	2,32	4000	110	620
93	5	0,5	1000	18	990	181	7	2,32	4000	110	685
94	6	0,66	inf	30	501	182	3	2	inf	70	67
95	6	0,66	inf	30	48	183	3	2	inf	70	75
96	3	0,67	2000	27	2072	184	5	0,52	1500	35	367
97	3	0,67	2000	67	1429	185	5	0,52	1500	35	182
98	2	1,55	2000	50	85	186	2	0,78	2000	50	988
99	2	1,55	2000	50	34	187	2	0,78	2000	50	757
100	6	0,39	1000	30	1556	188	2	0,57	2000	50	1030
101	6	0,39	1000	30	180	189	2	0,57	2000	50	842
102	6	0,2	inf	30	492	190	6	0,36	inf	30	115
103	6	0,2	inf	30	394	191	6	0,36	inf	30	343

ANEXO E

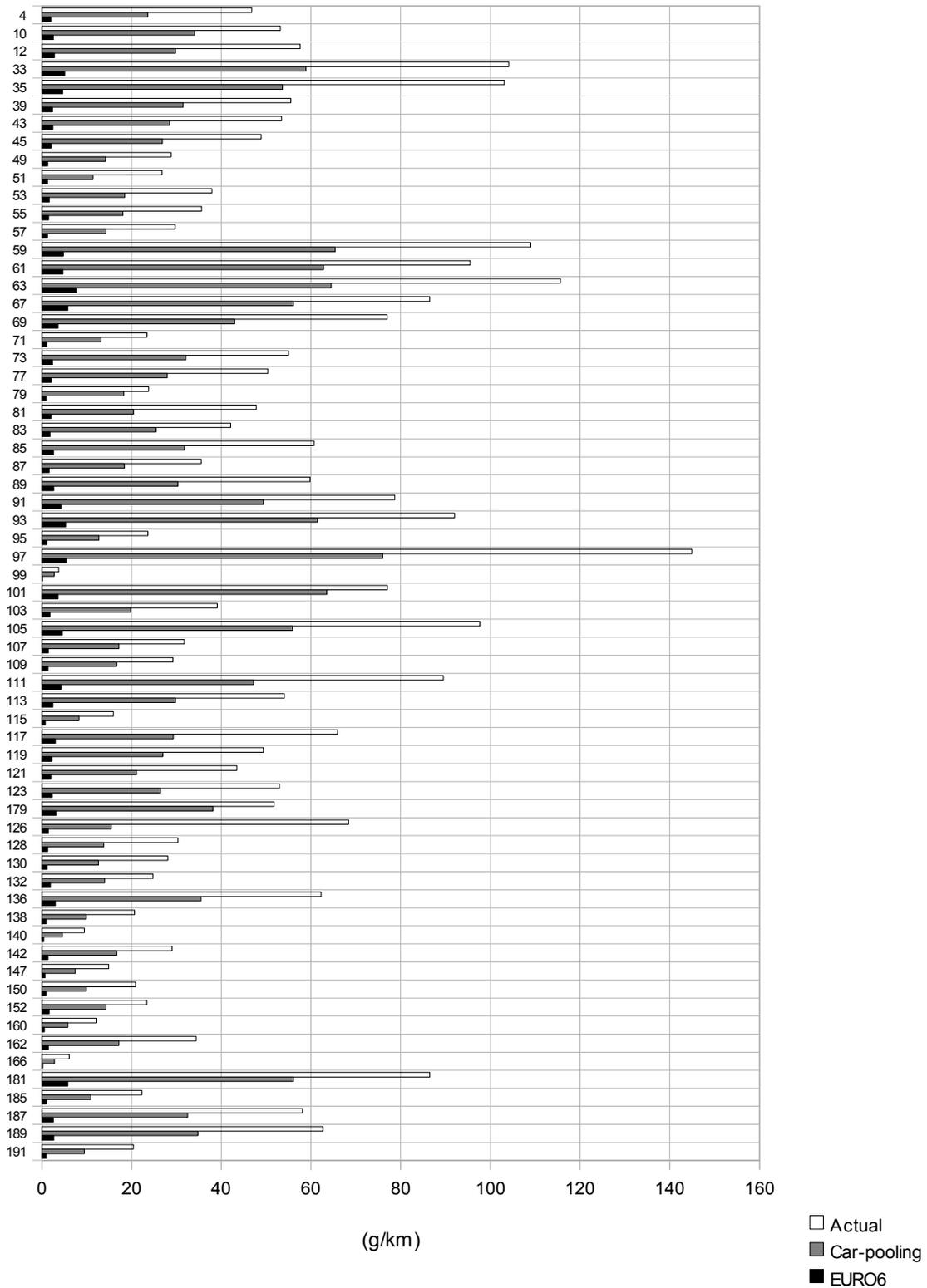


Figura A: Factores de emissão de PM por via para os vários cenários

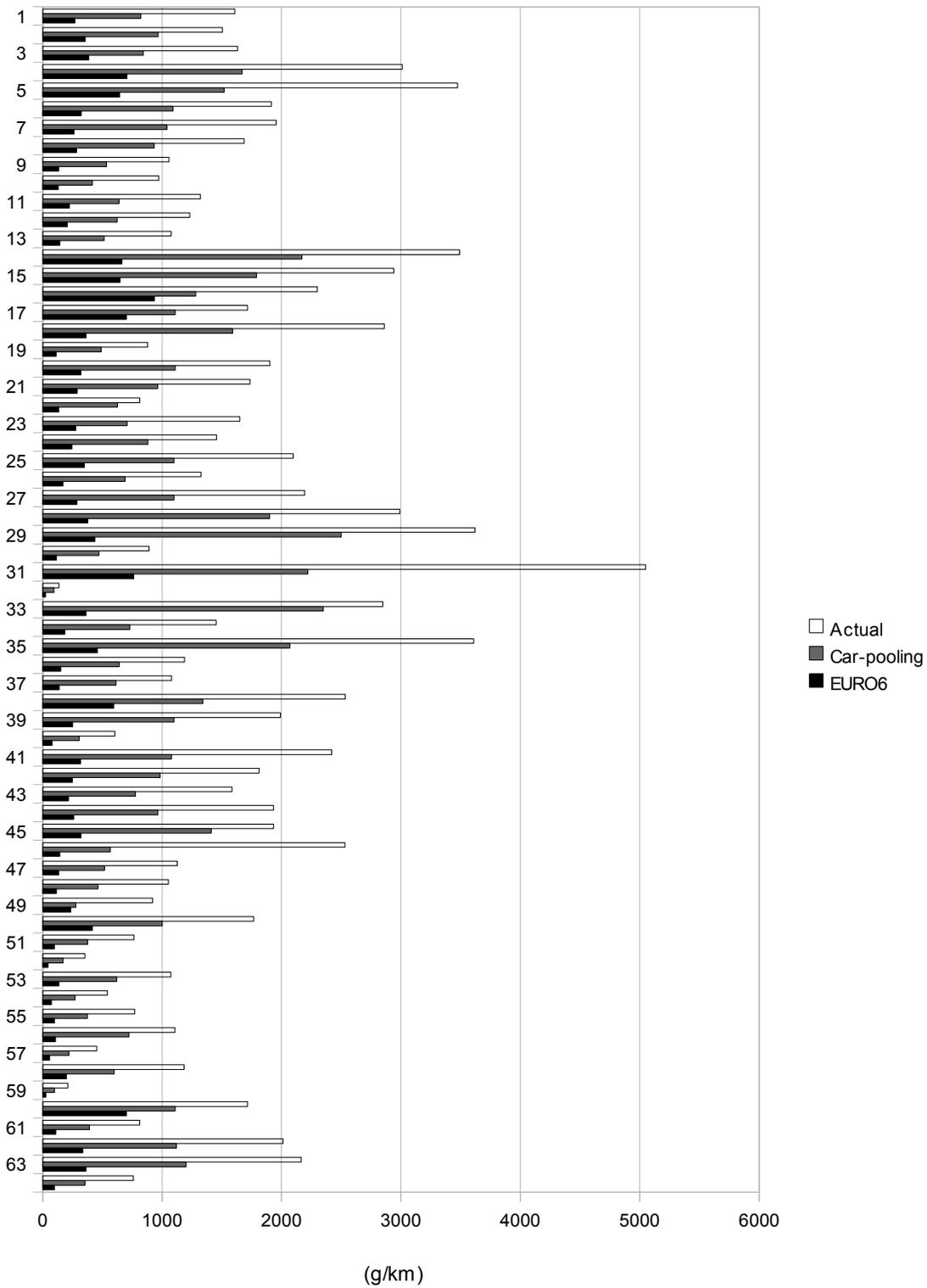


Figura B: Factores de emissão de PM por via para os vários cenários