

O MODELO NACIONAL DE TRÁFEGO E A SUA EVOLUÇÃO NATURAL PARA UM MODELO NACIONAL MULTIMODAL DE TRANSPORTES

José Alexandre Narigueta Maçarico¹, Bruno Miguel de Aldeia Correia² e Idalina Ofélia Peres Ruivo da Conceição Nunes³

¹Infraestruturas de Portugal, Departamento de Mobilidade e Transportes, Praça da Portagem, 2809-013 Almada, Portugal

email: jose.macarico@infraestruturasdeportugal.pt <http://www.infraestruturasdeportugal.pt>

²Infraestruturas de Portugal, Departamento de Mobilidade e Transportes, Praça da Portagem, 2809-013 Almada, Portugal

³Infraestruturas de Portugal, Departamento de Mobilidade e Transportes, Praça da Portagem, 2809-013 Almada, Portugal

Foi desenvolvido um Modelo Rodoviário com o objetivo de produzir estimativas da procura na rede sob jurisdição IP, configurando inteligência à fundamentação da decisão, avaliando os efeitos da construção de novas ligações, da introdução de portagens, da caracterização dos utilizadores das infraestruturas, para além da dotação de uma metodologia para responder aos seus compromissos contratuais (TRIR e Níveis de Serviço HCM).

Deverá igualmente ser caracterizado todo o sistema de transporte público, identificando os principais problemas (cobertura, bilhética, frequência), e propondo as melhores soluções de otimização e interoperação multimodal, em termos de tempo, segurança, economia e meio ambiente.

Palavras-chave: Modelação de Transportes; Matrizes Origem-Destino; Funções Volume-Atraso; Capacidade; Afetação em Equilíbrio.

1 INTRODUÇÃO

Considerando o atual modelo económico e financeiro de gestão da IP – Infraestruturas de Portugal, S.A., num contexto em que esta ainda não detém a concessão da totalidade da rede rodoviária nacional, nomeadamente dos troços com maior tráfego médio diário e explorados em regime de portagem, num País em que o modo rodoviário se assume claramente como suporte dominante da mobilidade de pessoas e bens, facto a que também não serão alheias as opções tomadas nos últimos anos ao nível do desenvolvimento da rede, é fundamental que a instituição conheça profundamente e objetivamente as características da procura.

Há que ter em conta, por um lado, as obrigações contratuais, no que se refere aos deveres de fornecimento de informação estatística para o regulador, bem como as necessidades internas para o cumprimento dos objetivos das diversas Unidades Orgânicas, mas o seu conhecimento revela-se decisivo no domínio da maximização da performance de todo o sistema, seja em termos estruturais, acautelando os efeitos globais da gestão técnica e política da rede, seja em termos conjunturais, para atuação racional na gestão operacional do tráfego pendular ou sazonal, associado aos fins de semana ou às épocas estivais e festivas.

É com este enquadramento que tem vindo a ser concebido, desenvolvido e implementado o Modelo Nacional de Tráfego, o qual vem dotar a empresa da capacidade não só do conhecimento da procura atual em qualquer troço da rede rodoviária nacional ou sob sua responsabilidade, o que não era, de todo, anteriormente possível, como também antever os efeitos na procura, decorrentes dos diversos cenários alternativos de intervenção na rede, ou de identificar a origem e o destino dos utilizadores de determinada infraestrutura, permitindo assim o “splitting” integrado do modelo (tempos de viagem, destinos correspondentes a uma determinada origem, etc.).

O referido modelo, assenta em software desenvolvido pela INRO, denominado EMME, software este amplamente adotado por empresas do ramo de planeamento e gestão de transportes em mais de 80 países. A

principal aplicabilidade do EMME é o de estimar volumes de tráfego, tanto de veículos ligeiros como de pesados, em secções onde estas não existem, complementando, desta forma a arquitetura do Sistema de Monitorização Global de Tráfego, ilustrado na figura seguinte.



Fig.1. Arquitetura do Sistema de Monitorização de Tráfego

2 CARATERIZAÇÃO DA PROCURA

A procura começa por ser caracterizada a partir da estrutura de mobilidade captada no último Inquérito à Mobilidade Rodoviária, realizado em 2005, de acordo com a estrutura e em 54 locais estrategicamente colocados ao longo da rede rodoviária nacional, como a seguir se apresenta.

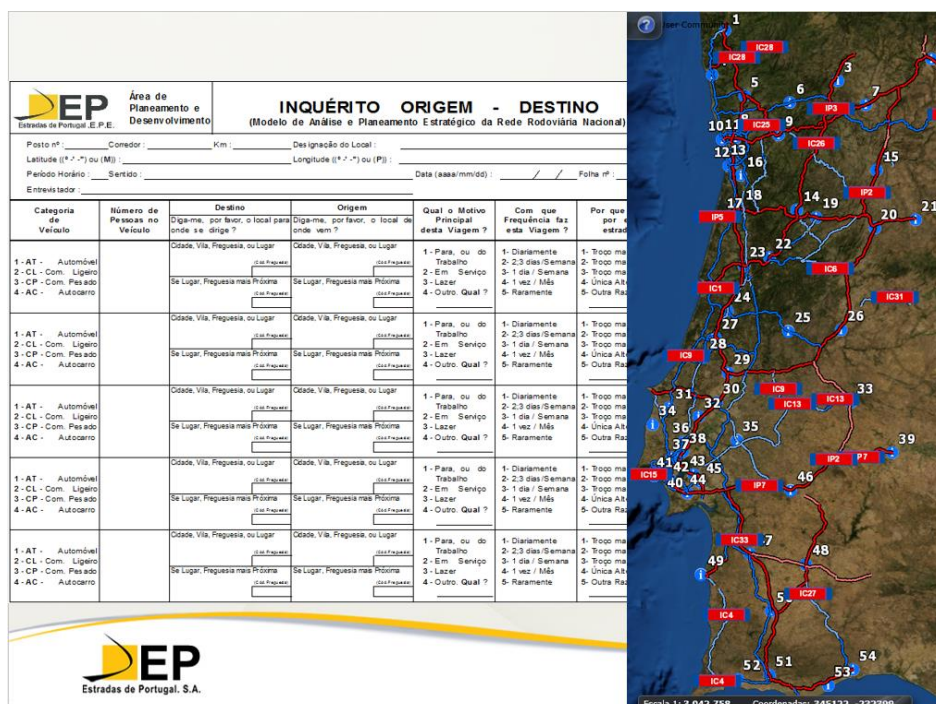


Fig.2. Inquérito Nacional à Mobilidade Rodoviária

A partir de 2010, o Modelo de Tráfego evoluiu do sistema de zonamento ao concelho, para um sistema de zonamento à freguesia, incluindo também as principais fronteiras, apresentando atualmente 4084 zonas que definem matrizes origem e destino para veículos ligeiros e pesados com cerca de 17 milhões de células.

Tendo estas sido inicialmente preenchidas pelos dados do inquérito, as mesmas são anualmente e periodicamente atualizadas a partir dos dados publicados pelo INE relativos à partição modal das viagens realizadas pela população residente por freguesia que trabalha ou estuda dentro da própria freguesia, noutra freguesia do mesmo município, ou noutra freguesia de outro município. Em complemento, são igualmente desenvolvidos modelos de geração e distribuição de viagens (Fig.3.), baseados na população residente, na população empregada e no parque automóvel, para além, obviamente, das variáveis relativas à distância, ao tempo, e ao custo de portagem transformado em tempo a partir dos valores económicos unitários do tempo para veículos ligeiros e pesados publicados por diversas entidades, nomeadamente pela HEATCO.

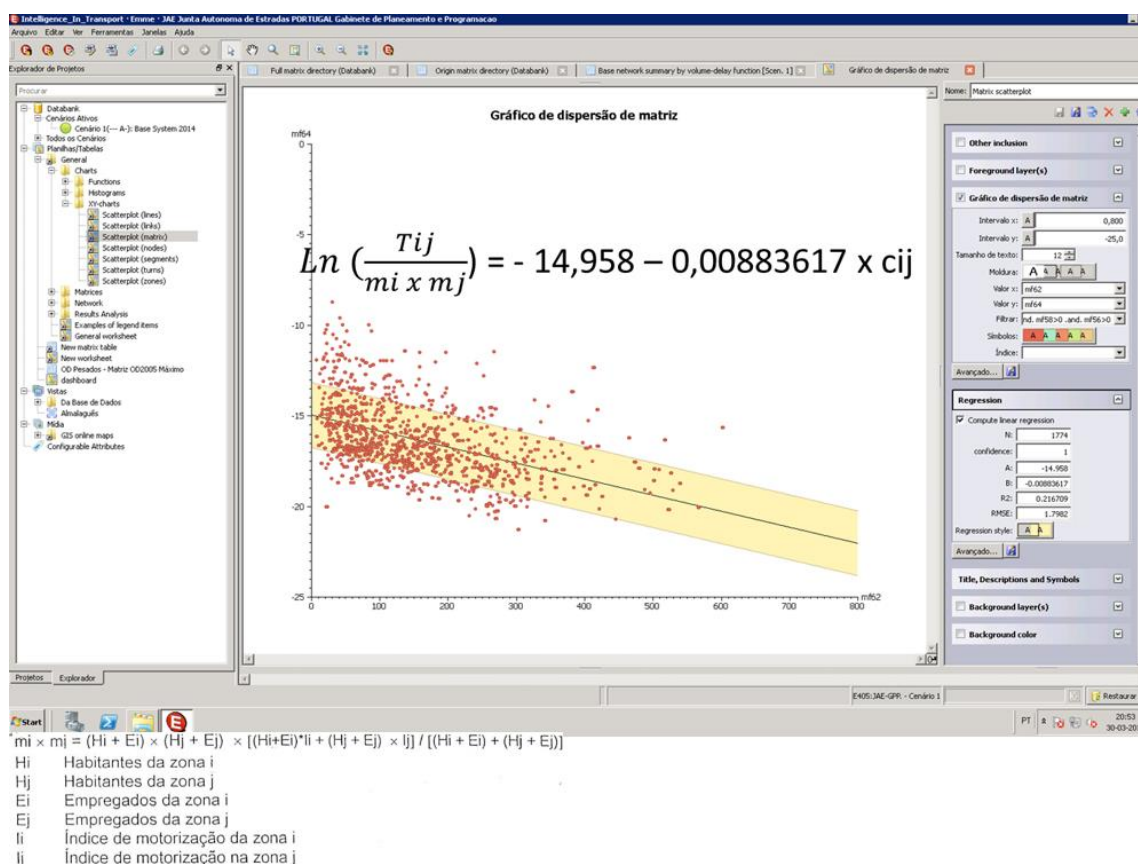


Fig.3. Modelo de Geração e Distribuição de Viagens

Onde, na expressão apresentada na imagem anterior, T_{ij} é o Número de Viagens Médias Diárias Anuais entre as zonas i e j e C_{ij} o respetivo custo global generalizado. Como já referido, $m_i \times m_j$ é um indicador sintético que visa a mensuração acumulada da população, do número de empregados e do parque automóvel entre as duas zonas ou freguesias visadas. Este tipo de modelo é inspirado no Modelo Gravitacional de Newton e tenta, tão só, interpretar ou descrever o facto matemático e intuitivo de que, por exemplo, o número de viagens realizado entre Lisboa e Porto deverá ser superior ao número de viagens realizado entre Lisboa e Bragança, pois não só Lisboa está mais próxima do Porto do que está de Bragança, como também o produto das suas “massas” deverá ser significativamente maior no par origem destino Lisboa-Porto. Na figura seguinte apresenta-se um mapa à escala nacional com o resultado obtido a partir dos modelos anteriormente apresentados para as matrizes de atração e de produção de veículos ligeiros e de veículos pesados.

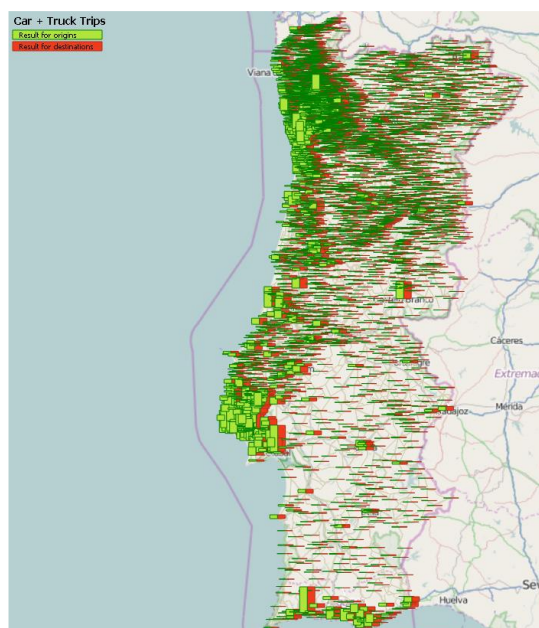


Fig.4. Atração e Produção das Viagens Médias Diárias de Veículos Ligeiros e Pesados

3 CARATERIZAÇÃO DA OFERTA

O desenvolvimento do modelo foi iniciado com uma extensa e detalhada caracterização da rede rodoviária existente em Portugal Continental. Para tal, foi adquirido, em meados de 2010, a informação vetorial da rede de navegação da TeleAtlas e encetado todo um processo de atualização e caracterização alfanumérica da oferta de infraestruturas rodoviárias. A caracterização da Oferta não se cingiu apenas ao desenho georreferenciado da rede, com base no sistema de georreferenciação ETRS89, tendo sido introduzida na base de dados geográfica a seguinte informação alfanumérica: N° de vias unidirecionais; Tipo de via (função volume atraso - apresentada mais à frente); Velocidade do arco em vazio; Informação de portagens para cada arco; Modo de transporte suportado em cada arco; Volume de tráfego contado para os arcos monitorizados (com contador). Atualmente, a oferta é caraterizada por cerca de 45 000 nós regulares (pontos de ligação entre as infraestruturas nos quais é possível a transferência da procura de um arco para outro) e por cerca de 105 000 arcos ou links unidirecionais que representam a infraestrutura rodoviária. Em resultado, foi atingida uma cobertura de cerca de 50000 km. Na figura seguinte procede-se à ilustração da rede modelada na região de Lisboa, enquadrada geograficamente com os ortofotomapas.

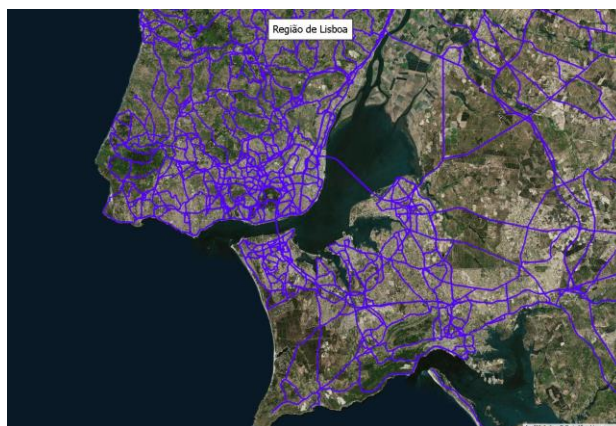


Fig.5. Rede Modelada na Região de Lisboa

4 FUNÇÕES VOLUME - ATRASO

Por definição, as funções volume atraso devolvem o custo, em minutos (m), de atravessamento da infraestrutura e devem refletir duas componentes. A primeira refere-se ao tempo inicial, t_0 , que depende da velocidade em vazio e da extensão do arco ou do link. A segunda componente refere-se à degradação da velocidade em vazio em função do aumento do volume de tráfego antes e depois da capacidade dessa mesma secção da infraestrutura. Antes do volume atingir a capacidade, a degradação é muito residual. Quando for atingida a capacidade, a velocidade em vazio é degradada para metade. Quando for excedida a capacidade, o fator de degradação da velocidade, isto é, o fator de crescimento do tempo de atravessamento deverá tender para o infinito, aumentando o tempo de viagem de forma exponencial, como ilustrado na Fig.7.

No Modelo desenvolvido, foram adotadas as seguintes funções volume-atraso:

Número	Tipo de Estrada	Ligeiros	Pesados
5	AE com Portagem	Volume Diário= Ligeiros + 1.75 x Pesados Capacidade Diária (c) = 26000 (vle) x NVias Tempo Inicial (To) = (Extensão x 60)/Velocidade (m) Penalização Equivalente Portagem (m) = Tarifa x 3,20	Volume Diário = 1.75 x Pesados Capacidade Diária (c) = 26000 (vle) x NVias Tempo Inicial (To) = (Extensão x 60)/Velocidade (m) Penalização Equivalente Portagem (m) = Tarifa x 1,17
2	AE sem Portagem	Volume Diário = Ligeiros + 1.75 x Pesados Capacidade Diária (c) = 26000 (vle) x NVias Tempo Inicial (To) = (Extensão x 60)/Velocidade (m) Penalização Equivalente Portagem (m) = 0	Volume Diário = 1.75 x Pesados Capacidade Diária (c) = 26000 (vle) x NVias Tempo Inicial (To) = (Extensão x 60)/Velocidade (m) Penalização Equivalente Portagem (m) = 0
3	Multivias	Volume Diário= Ligeiros + 1.75 x Pesados Capacidade Diária (c) = 24000 (vle) x NVias Tempo Inicial (To) = (Extensão x 60)/Velocidade (m) Penalização Equivalente Portagem (m) = 0	Volume Diário = 1.75 x Pesados Capacidade Diária (c) = 24000 (vle) x NVias Tempo Inicial (To) = (Extensão x 60)/Velocidade (m) Penalização Equivalente Portagem (m) = 0
4	1 Faixa de Rodagem	Volume Diário = Ligeiros + 1.75 x Pesados Capacidade Diária (c) = 16000 (vle) x NVias Tempo Inicial (To) = (Extensão x 60)/Velocidade (m) Penalização Equivalente Portagem (m) = 0	Volume Diário = 1.75 x Pesados Capacidade Diária (c) = 16000 (vle) x NVias Tempo Inicial (To) = (Extensão x 60)/Velocidade (m) Penalização Equivalente Portagem (m) = 0

Fig.6. Descritivo das funções volume – atraso

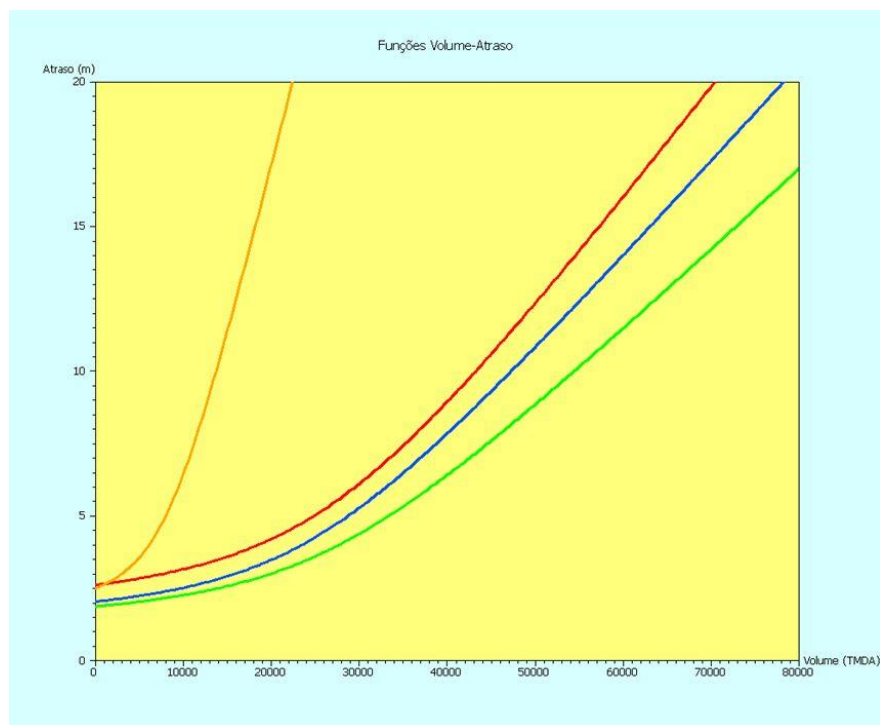


Fig.7. Gráfico das funções volume – atraso

No gráfico anterior, a função laranja corresponde às estradas com uma faixa de rodagem. A função azul às multívias e as restantes às autoestradas com portagem (vermelho) e sem portagem (verde).

A adoção deste tipo de funções é essencial para assegurar o comportamento matemático do Modelo no sentido de ser atingido o equilíbrio no final de cada processo de afetação de tráfego, isto é, no final do processo de lançamento ou de cruzamento da procura contida em cada uma das matrizes origem destino, nos caminhos mais atrativos proporcionados pela oferta caracterizada pela modelação da rede de infraestruturas. Tal equilíbrio pode ser caracterizado pelo facto de, no final de um conjunto de iterações, nenhum utilizador da rede ganhar qualquer vantagem na sua deslocação da origem para o destino pelo facto de mudar de caminho. Este facto ou comportamento matemático serve para modelar a situação presente na vida real correspondente à aprendizagem do melhor caminho pela experiência proporcionada pelo dia-a-dia e pelas informações recolhidas através dos colegas, das notícias, das plataformas digitais de navegação, etc.

5 CALIBRAÇÃO

O Modelo Nacional de Tráfego conta com um total de 1523 arcos ou links unidireccionais sujeitos a monitorização automática e permanente, representados a azul nos dois extratos da rede modelada ilustrados nas figuras seguintes. O processo de calibração consiste, basicamente, em alterar toda a estrutura de modelação a partir do conteúdo da procura, por forma, a que, nos links com contagem, o erro entre o volume contado e o volume simulado seja mínimo. Trata-se atualmente de um processo muito moroso, iterativo, complexo, automático, constituído por um algoritmo matemático aceite e proposto internacionalmente, que corre num computador com 40 processadores durante 24 horas. No final, os resultados obtidos configuram uma solução matemática estável para a estimação do TMDA em toda a rede modelada. Na figura 9 procede-se à análise de regressão linear entre os volumes contados (variável independente X) e os volumes homólogos simulados (variável dependente Y) para a categoria de veículos ligeiros durante o ano de 2017.

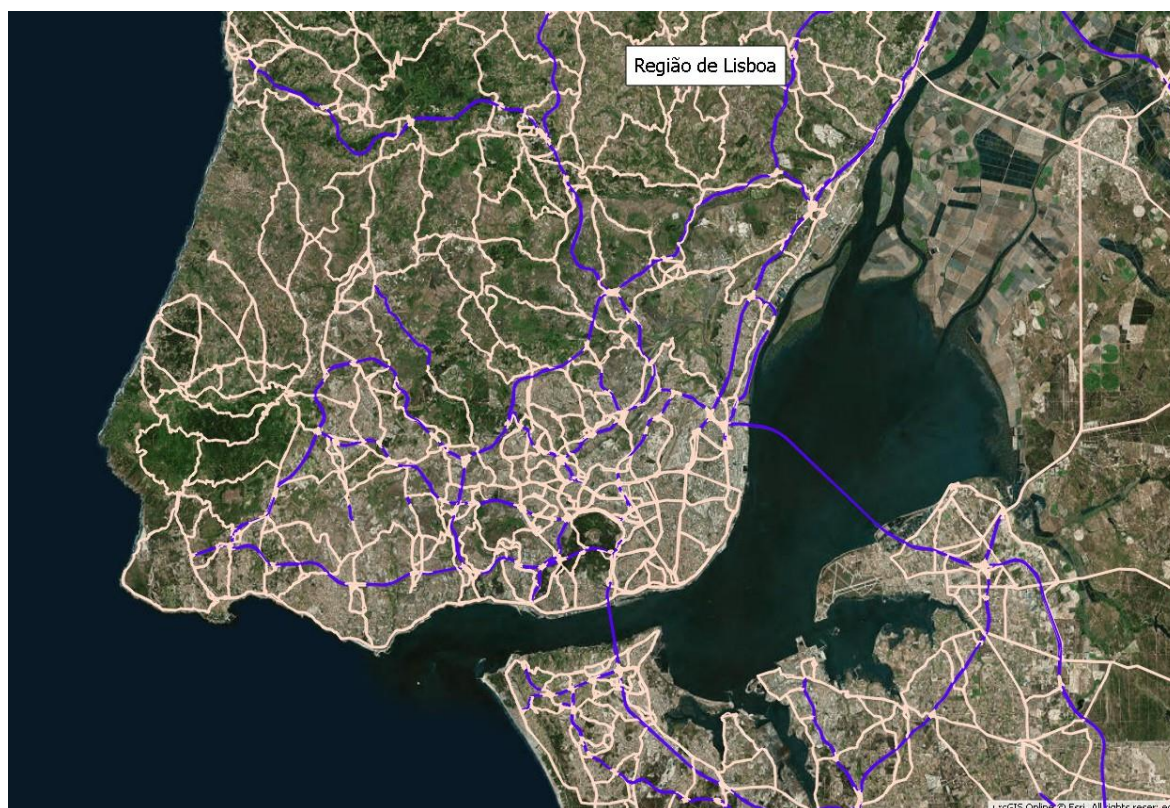


Fig.8. Rede de Lisboa com contador (azul)

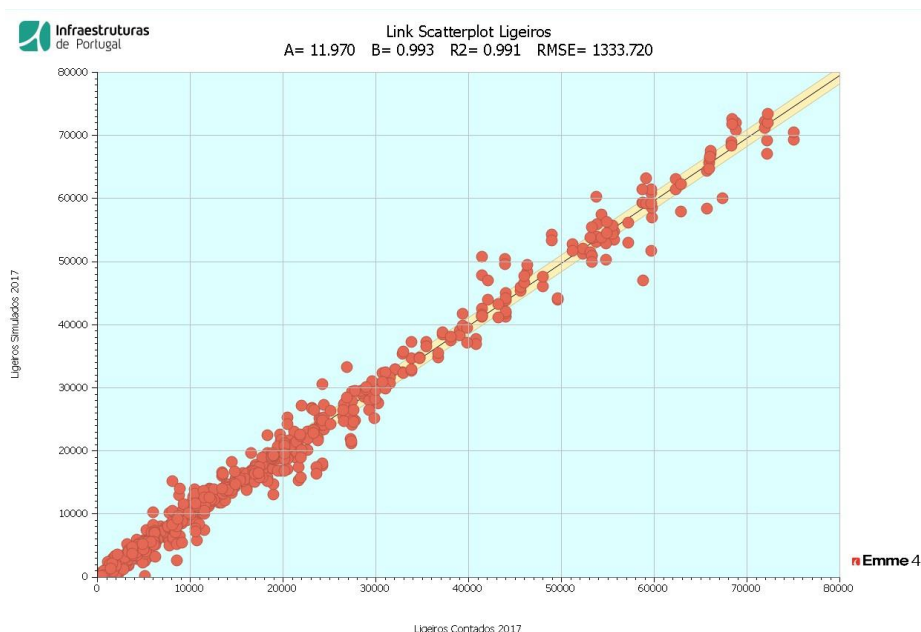


Fig.9. Análise de Regressão do Ajustamento de Ligeiros

6 DIAGRAMAS DE CARGA E CAPACIDADE DE MICRO SIMULAÇÃO

Entre outros importantes resultados, produtos e indicadores que ficam disponíveis após a etapa de calibração ou de ajuste do modelo à realidade, leia-se, aos volumes apurados nos contadores, devem ser destacados, obviamente, os diagramas de carga (Fig.10.), que ilustram a intensidade da procura, de uma forma contínua, em toda a rede modelada, o que constitui, no fundo, o grande objetivo do modelo: estimar a procura na globalidade dos arcos que representam a infraestrutura.

Muito recentemente, há cerca de 6 meses, o Modelo foi igualmente dotado da capacidade da geração, em tempo real, de projetos de micro simulação de tráfego para qualquer área da rede modelada e calibrada, o que se tem revelado de grande relevância no que concerne à avaliação de estudos de tráfego no âmbito dos projetos de licenciamento, no apoio à definição dos ciclos e das fases das interseções semaforizadas, na otimização do desenho e dimensionamento das rotundas, no dimensionamento das caixas de viragem, etc. Na Fig.11., a título de exemplo, é apresentada uma foto de um projeto de grandes dimensões realizado para a região do Porto.

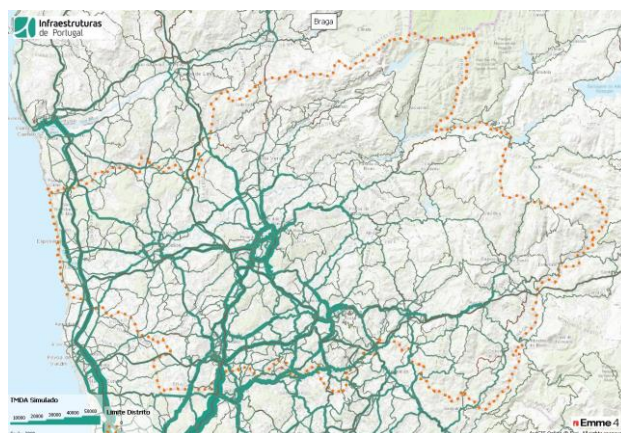


Fig.10. Diagrama de Carga

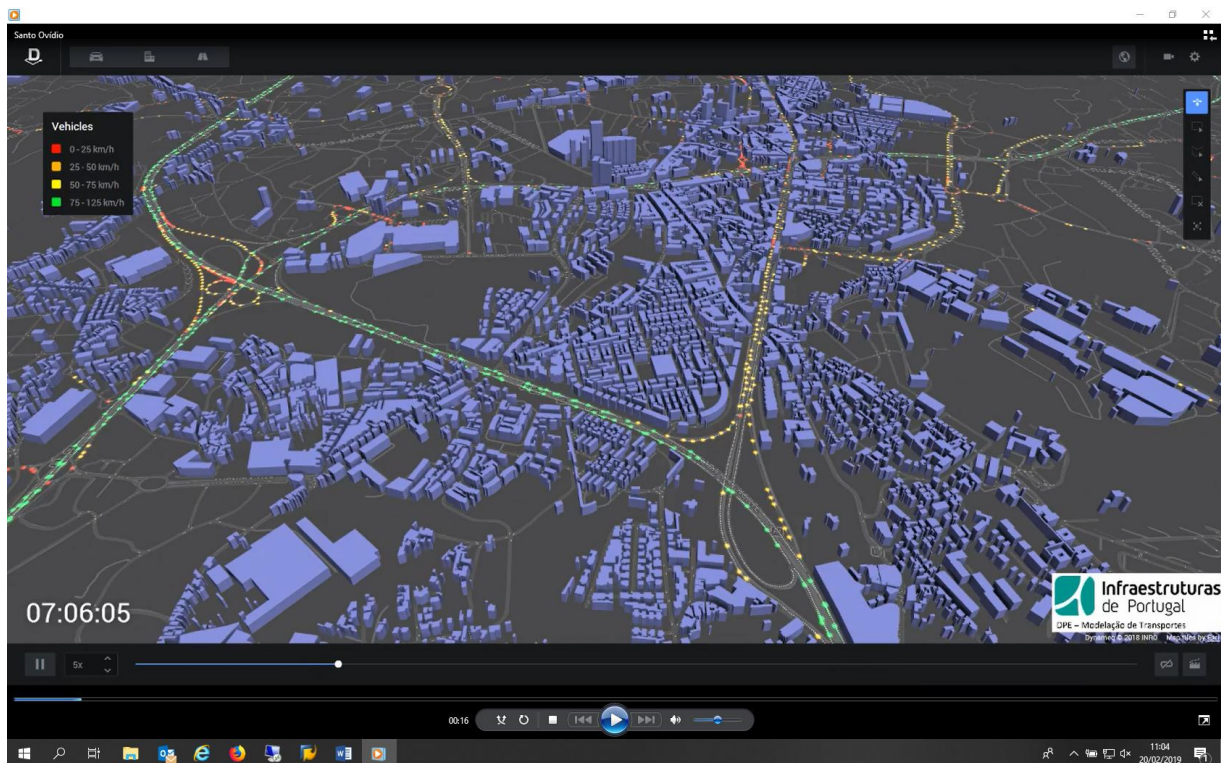


Fig.11. Micro simulação de tráfego no Porto

7 EVOLUÇÃO PARA O MODELO DE TRANSPORTES

A presença de elevados níveis de congestionamento de tráfego rodoviário, resultante da utilização maioritária do transporte individual, implica a necessidade de caracterizar todo o sistema de transporte público, a fim de não só identificar os principais problemas (cobertura, bilhética, frequência), como também de propor as melhores soluções para a respetiva otimização e interoperação multimodal, alcançando um melhor nível de desempenho de todo o sistema de transportes em termos de tempo, segurança, economia e meio ambiente.

Por outro lado, considerando a necessidade de alargar o Processo de Planeamento Estratégico ao modo ferroviário, torna-se evidente a prioridade de fazer evoluir este Modelo de Tráfego para um Modelo Nacional Multimodal de Transportes, passando da variável resposta TMDA para a variável resposta População Móvel. Passar a modelar os cenários de ponta e não apenas o período médio diário anual das 24 horas. Passar a contemplar um modelo de transportes que integre a capacidade de antever as migrações intermodais em função da oferta e dos custos dos serviços de transporte público e da disponibilização do transporte rodoviário. Na figura seguinte apresenta-se a arquitetura do Modelo Nacional de Transportes que está a ser implementado atualmente na IP. O sistema de zonamento passará a ser ao nível da subseção estatística e a rede modelada garantirá a total cobertura do território nacional e será atualizada continuamente através do OpenStreetMap.

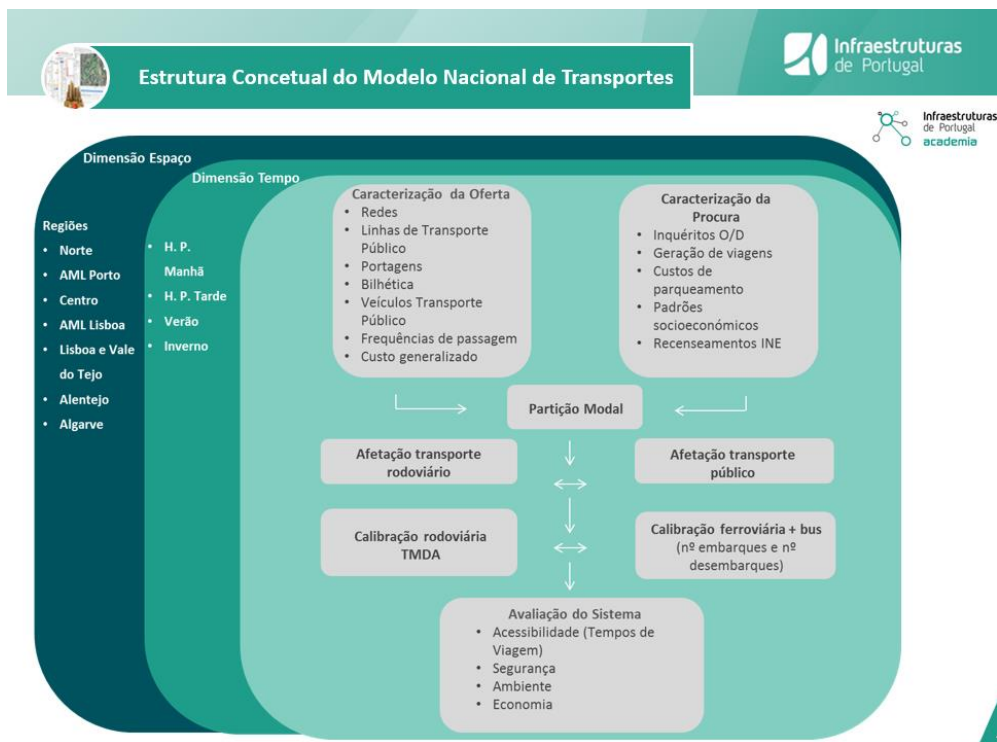


Fig.12. Arquitetura concetual do Modelo Nacional de Transportes

Neste contexto, foi atribuída prioridade máxima ao desenvolvimento e à implementação da Modelação da cidade de Lisboa, para a qual estamos já em condições não só de apresentar um mapa relativo às linhas de transporte público da Carris (Fig. 13.), como também de uma foto do protótipo, em ambiente de micro simulação de transportes, e não apenas de tráfego, de toda a cidade em simultâneo e em 3D! (Fig.14.).

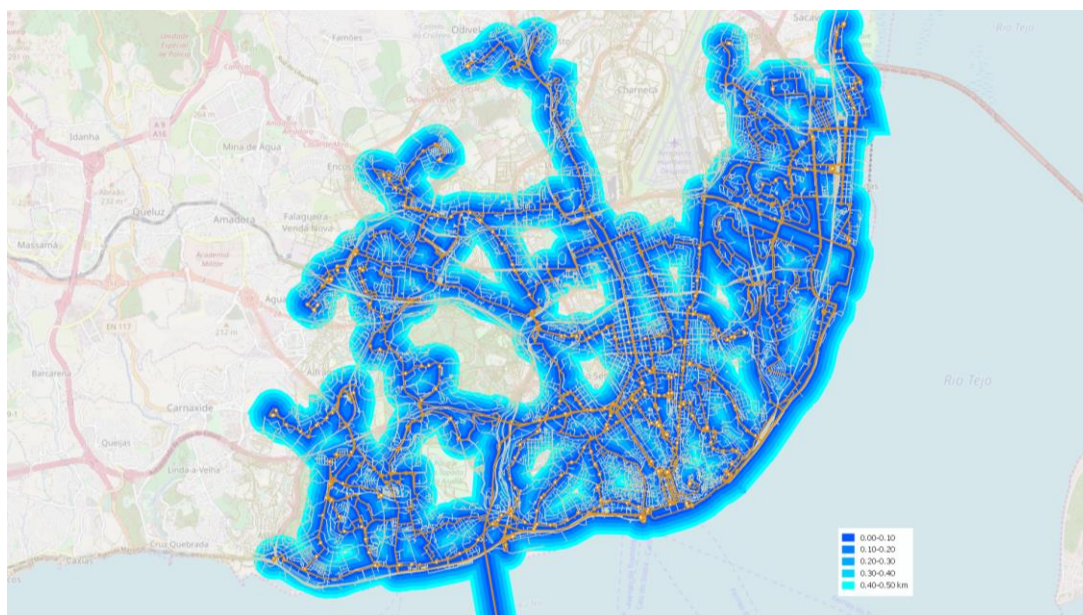


Fig.13. Distância às linhas de transporte público da CARRIS

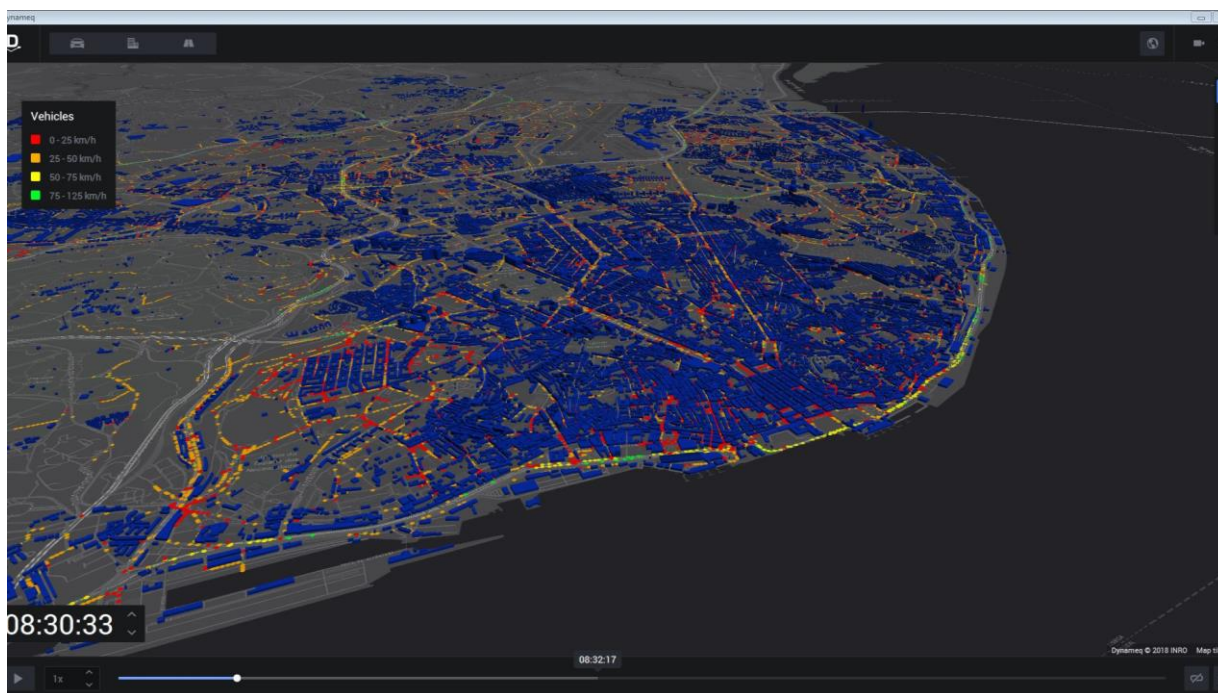


Fig.14. Protótipo do Modelo Multimodal de Transportes da Cidade de Lisboa

8 AGRADECIMENTOS

Todo este trabalho só tem sido possível graças ao apoio incondicional, de longa duração, do Professor Michael Florian, da Universidade de Montreal, e Presidente da INRO (www.inro.ca), que não só tem sido o grande orientador para as questões mais complexas de índole científica, como também se tem sempre predisposto a que se utilizem gratuitamente as grandes inovações do software dentro do mais estrito relacionamento comercial definido pelo contrato de licenciamento.

Um agradecimento também muito especial ao Engº Pedro Barros, que integrou recentemente a nossa equipa da Unidade de Modelação de Transportes, o qual tem vindo a desenvolver, entre outros, um trabalho muito relevante no domínio da codificação das linhas de transporte público.

9 REFERÊNCIAS

1. Juan de Dios Ortúzar, Luis G. Willumsen, *Modelling Transport*, Wiley, Washington, 2004.