

DETERMINANTES DA EVOLUÇÃO DO TRÁFEGO RODOVIÁRIO. ANÁLISE DA SUA EVOLUÇÃO EM PORTUGAL CONTINENTAL

João de Abreu e Silva^{1,2}, Luís Caetano²

¹ CESUR/DECIVIL, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1049-001 Lisboa, Portugal

email: joao.abreu@civil.ist.utl.pt

² Way2Go, Consultores Associados, Lda, Praça Gonçalo Trancoso, n° 5 3° Esq., 1700 – 220 Lisboa, Portugal

Sumário

O crescimento da procura de tráfego depende de um conjunto de factores que se encontram em grande medida interrelacionados. Dentre estes factores incluem-se o rendimento, medido normalmente através do PIB (Produto Interno Bruto), custos associados á utilização dos modos rodoviários (em grande medida os custos dos combustíveis), assim como da população.

No presente trabalho são apresentados um conjunto de modelos de previsão do crescimento do tráfego em função destas variáveis com o objectivo de se estimarem elasticidades do tráfego face a estas variáveis e estabelecer o peso relativo das influencias de cada uma delas.

Como não existem dados do tráfego total (medidos em veículosxKm,) tanto ao nível regional como nacional, utilizar-se-á como uma proxy do tráfego nacional e regional as vendas de combustíveis para o sector rodoviário, uma vez que existe uma relação directa entre as estas e os veículosxkm. Para além destes modelos nacionais e regionais (estimados ao nível de NUTS III) serão também estimados modelos de previsão da evolução do tráfego para as travessias do Tejo em Lisboa.

Os vários modelos são relevantes para estimar o impacte relativo dos efeitos conjugados da actual crise económica e do aumento dos preços dos combustíveis e consequentemente analisar potenciais impactes resultantes de diferentes cenários de evolução da situação económica.

Palavras-chave: Vendas de combustível; TMDA; Modelos de Regressão Linear; Modelos de Painel.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da procura de tráfego depende de um conjunto de factores, os quais estão muitas vezes correlacionados entre si. As variáveis mais comumente utilizadas incluem o rendimento, os custos operacionais associados á utilização dos modos rodoviários, a taxa de actividade económica, as taxas de motorização, assim como a população e a provisão de infraestrutura.

Os indicadores de procura rodoviária, são bastante relevantes para o desenvolvimento de políticas de transporte. Dentre estes destacam-se os veículos*km (veickm), os quais se destacam enquanto informação fundamental acerca dos níveis de utilização do sistema rodoviário, providenciando informação relativa á sua eficiencia (1). São também um indicador muito importante para determinar os impactes associados ao tráfego: ambientais, segurança, planeamento e alocação de fundos (2). Os veickm são um indicador que mede o produto entre o número de veículos e a distância transportada (3). Este é um indicador difícil pois não é medido directamente mas sim estimado (3).

Os métodos de estimação dos veickm podem ser classificados em duas categorias os que se baseiam em métodos de medição do tráfego e os baseados noutros dados, sendo que os primeiros são preferíveis, pois são baseados em dados dos movimentos reais dos veículos (4, 3). Os métodos baseados na medição de tráfego consistem em leituras de odómetros e em contagens de tráfego (4, 3). Os métodos não baseados na medição de tráfego incluem inquéritos domiciliários e vendas de combustível (4, 3).

As estimativas de veickm com base nas vendas de combustível foram usadas pela primeira vez em 1957 (4). A equação a partir da qual podem ser estimados os veickm com base nas vendas de combustível é a seguinte (5):

$$\text{Veickm} = \text{Total combustível vendido} \times \text{Consumo específico/km}$$

O maior problema associado a este método reside na estimativa dos consumos específicos médios da frota (5). Este factor depende da idade média da frota, do seu mix de veículos, dos hábitos de condução, condições climáticas, topografia e da evaporação e desperdícios durante a venda e o uso (4). O facto de o combustível comprado numa região ser utilizado noutra pode ser um problema para a correcção das estimativa. Outro aspecto que pode ter impactes na transformação das vendas de combustíveis em veickm reside na intensidade da penetração de tecnologias de motorização (4).

Na ausência de dados relativos as distâncias percorridas, os métodos baseados nas vendas de combustíveis podem ser bastante úteis (1). Mais importante ainda, na ausência de séries temporais relativas á evolução dos veickm, as vendas de combustível, quando tomados os devidos cuidados, podem ser bastante úteis analisar tendências de evolução do tráfego e seus principais drivers, assim como ajustar funções de projecção de tráfego.

Vários estudos têm sido desenvolvidos para determinar os drivers da evolução dos veickm e das vendas de combustível. Recentemente o Bureau of Infrastructure, Transport and Regional Economics (BITRE) (2), levou a cabo um estudo sobre a evolução dos veickm em 25 países. A evolução dos veickm per capita foi modelada em função dos preços reais dos combustíveis, flutuações na economia e efeitos de saturação. As conclusões deste estudo apontam para o seguinte (2):

- Verifica-se que a maior parte dos países se encontra perto da saturação do tráfego per capita, o que significa que o crescimento futuro do tráfego, em muitos países, dependerá da taxa de crescimento da população. Por isso é expectável que o tráfego cresça futuramente a taxas semelhantes ás da população;
- O crescimento do tráfego tem sido função dos preços dos combustíveis e da taxa de desemprego. Em todos os países se verificou uma redução do tráfego em virtude da crise de 2008;
- Paradoxalmente, os países com maiores níveis de taxação face aos combustíveis estão mais protegidos face a alterações relativas (percentuais) dos preços dos produtos petrolíferos, ou seja, nestes casos as variáveis relativas ao preço do petróleo terão menos influência no trafego per capita.

Também vários estudos têm divulgado elasticidades da procura de tráfego e das vendas de combustíveis em vários países. Espey (6) realizou uma meta análise sobre as elasticidades das vendas de gasolina em vários países, tendo concluído que estas variam de país para país e dependem das técnicas de modelação utilizadas. A procura de gasolina parece estar a ficar mais elástica relativamente ao preço e menos elástica relativamente ao rendimento (6).

- Os valores obtidos apontam para uma elasticidade de curto prazo face ao preço a variar entre 0 e -1.36, com média de -0.26 (e mediana de -0.23). A elasticidade de longo prazo varia de 0 a -2.72 com uma média de -0.58 (mediana de -0.43);
- A elasticidade de curto prazo face ao rendimento varia entre 0 e 2.91, com média de 0.47 (mediana de 0.39), no longo prazo esta varia entre 0.05 e 2.73, com média de 0.88 (mediana 0.81).

dos Santos e Faria (7) utilizaram modelos de painel com correlação espacial para estimarem a procura de gasolina e etanol e respectivas elasticidades no Brasil. Os resultados apontam para uma elasticidade ao preço de -0.25. O etanol, pelo contrário apresenta elasticidades muito mais elevadas ao preço (-1.113). A elasticidade ao rendimento possui a mesma ordem de magnitude em ambos os modelos 0.145 gasolina e 0.138 no etanol.

Graham e Glaister (8) fizeram uma revisão de várias elasticidades relacionadas com a procura rodoviária, níveis de motorização, tráfego de mercadorias e preços de combustíveis.

- Os valores médios da elasticidade da procura de combustível face ao preço são -0.25 (curto prazo) e -0.77 (longo prazo), já para o tráfego (veickm), as elasticidades face ao preço de combustível possuem uma menor magnitude (-0.15 no curto prazo e -0.31 no longo prazo).
- A elasticidade das vendas de combustível face ao rendimento é respectivamente de 0.47 (curto prazo) e 0.93 (longo prazo). Já os valores da elasticidade da procura de tráfego relativamente ao rendimento são menores: 0.3 (curto prazo) e 0.73 (longo prazo).

Goodwin et al. (9) reviram também um conjunto elevado de estudos tendo concluído que:

- A razão por que o consumo de combustíveis cai mais que o tráfego está associada a um maior uso de veículos mais eficientes que é desencadeado por um aumento do preço dos combustíveis, assim como por mudança de hábitos de condução e redução dos níveis de congestionamento. O que aponta para aumentos de eficiência de 1.5%/ano e 4% num horizonte de 5 anos, por cada aumento de 10% nos preços dos combustíveis.
- As elasticidades de consumo de combustíveis tendem a ser maiores que as do tráfego, em factores da ordem de 1.5 a 2. As elasticidades de longo prazo tendem a ser maiores que as elasticidades de curto prazo, normalmente em factores da ordem de 2 a 3. As elasticidades face ao rendimento tendem a ser maiores do que as face ao preço, em factores da ordem de 1.5 a 3.
- Apenas as elasticidades ao preço tendem a declinar com a evolução temporal.
- Existem evidências, embora não muito firmes, de que a eficiência dos veículos pode ter um impacte significativo nos níveis de tráfego.

2 CASO DE ESTUDO

No presente trabalho fois utilizadas séries temporais das vendas de combustível (1995-2010) e do tráfego de um troço relevante da rede rodoviária (as travessias do Tejo em Lisboa) (2003-2010) para se estudar a influência de um conjunto de variáveis na procura de tráfego e nas vendas de combustível. As variáveis utilizadas compreendem os preços dos combustíveis, o PIB, a população e a densidade populacional e a taxa de desemprego. Os dados utilizados provêm das estatísticas oficiais da Direcção Geral de Energia e Geologia (www.dgeg.pt) e do Instituto Nacional de Estatística (www.ine.pt).

Esta análise foi feita com recurso a modelos do tipo log-log (transformação logaritmica tando das variáveis independentes como da variável dependente). Os modelos utilizados foram modelos de regressão linear multivariada (10), para estimar a evolução da procura nacional de combustíveis e a evolução da procura rodoviária das travessias do Tejo em Lisboa, e modelos lineares de painel com efeitos fixos (11), para estimar a evolução da procura regional (ao nível de NUTS III) de combustíveis.

2.1 Evolução global nacional

Ao nível nacional verifica-se que com excepção da gasolina super, durante a década de 1990 e até sensivelmente a 2002/2003 a procura agregada de combustíveis cresceu ininterruptamente. Também se verifica que é essencialmente a partir de 2001 que os preços dos combustíveis começam a crescer fortemente. As taxas médias anuais de aumento dos preços foram entre 1991 e 2001 de 2.8% para a gasolina e de 1.4% para o gasóleo. Já no decénio seguinte (2001-2011) a evolução média anual foi bastante mais elevada 5.5% para a gasolina e 7.4% para o gasóleo.

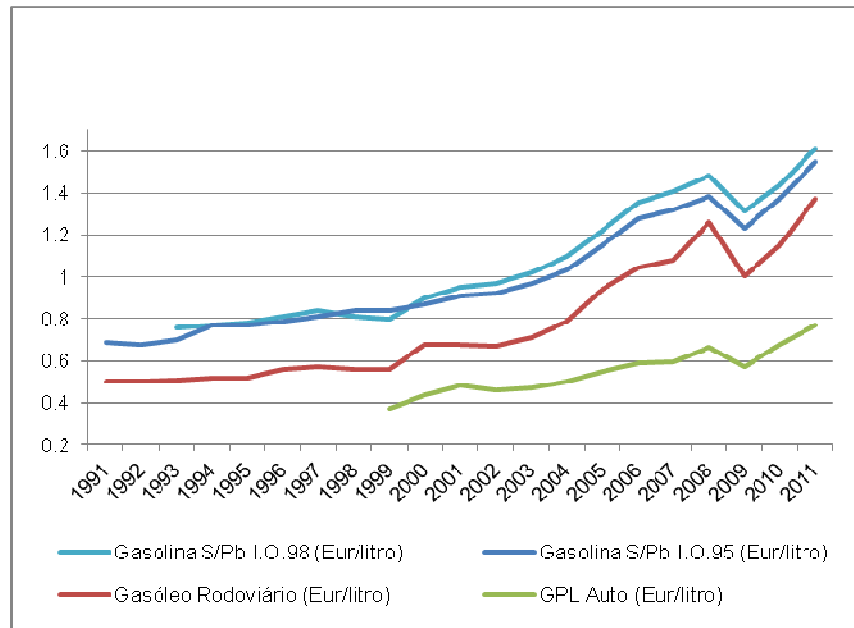


Fig 1 Evolução dos preços dos combustíveis em Portugal

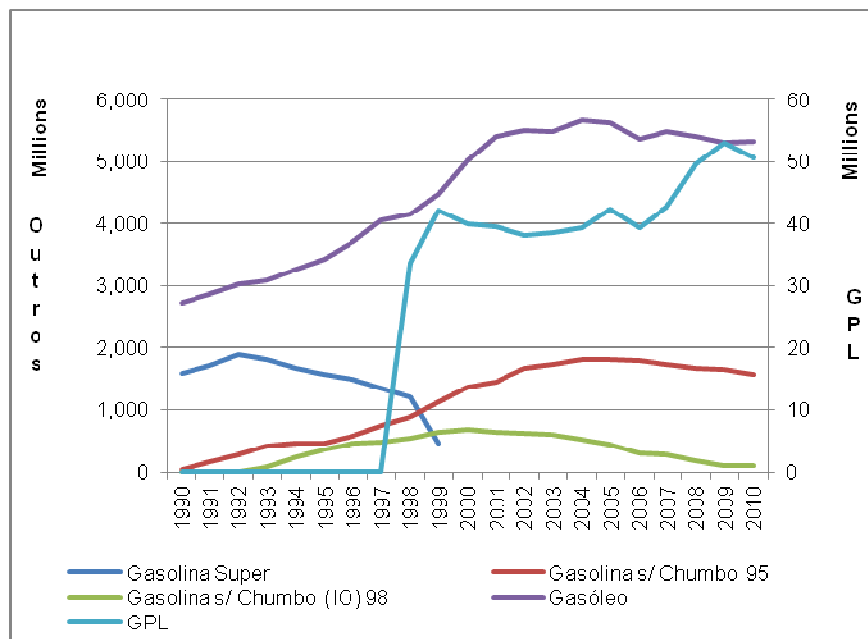


Fig 2 Evolução das vendas de combustíveis em Portugal Continental (Milhões de Litros)

Comparando agora a evolução das vendas de combustíveis com o PIB per capita e com o preço médio combinado (considerando a média ponderada dos vários tipos de combustível), verifica-se um alinhamento muito próximo entre a evolução do PIB e das vendas dos combustíveis até 2002. A partir dessa data a evolução

destes dois indicadores começa a divergir, e ao mesmo tempo os preços de venda dos combustíveis aumentam muito significativamente chegando a representar em 2008 1,71 vezes o preço médio de 2001.

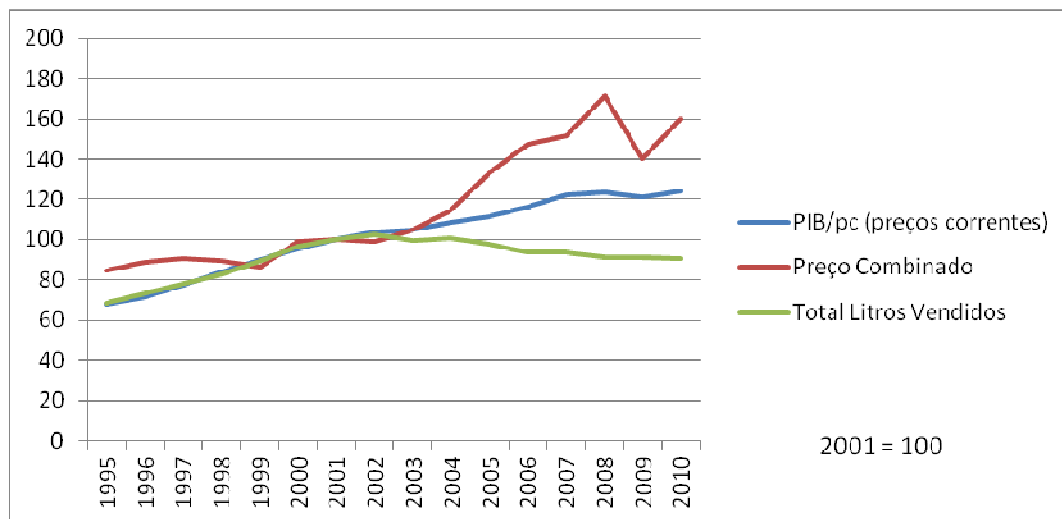


Fig. 3 Variação das vendas globais de combustíveis, do seu preço global e do PIB per capita

O modelo agregado construído para o continente é apresentado no Quadro 1

Quadro 1 Resultados do modelo global de estimação de vendas de combustível

	Coefficiente	T-stat	Sig
Ln(preço)	-0.464	-11.485	0.000
Ln(PIB/pc)	0.936	742.661	0.000
R ² Ajustado	0.929		

O modelo apresenta um muito bom ajustamento, sendo que as duas variáveis incluídas são significativamente diferentes de zero para $\alpha=1\%$. Como o modelo tem uma formulação do tipo log-log as elasticidades extraídas do mesmo são iguais aos coeficientes. Tal significa que as vendas de combustível são mais sensíveis a variações percentuais do PIB do que do preço.

2.2 Modelos regionais

Considerando as 28 NUTS III de Portugal continental foram construídos modelos painel de efeitos fixos para 3 grupos distintos de subregiões. O primeiro considera todas as NUTS III de Portugal Continental, o segundo apenas as NUTS III que possuem fronteira com Espanha e o terceiro incluindo apenas as NUTS III que não possuem fronteira com Espanha. Com esta divisão pretende-se verificar a existência de evidências de uma maior redução das vendas de combustíveis devido à proximidade com Espanha. Os modelos estimados são apresentados no Quadro 2:

Quadro 2 Modelos de painel de estimação das vendas de combustível

Variáveis	Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3	
	Coefficiente	Tstat (Sig)	Coefficiente e	Tstat (Sig)	Coefficiente	Tstat (Sig)
Ln(Preço)	-0,587	-9,483 (0,000)	-0,813	-8,666 (0,000)	-0,481	-5,983 (0,000)
Ln(Densidade)	2,172	9,259 (0,000)	1,888	5,852 (0,000)	2,347	7,237 (0,000)
LN(PIB/pc)	0,865	11,949 (0,000)	1,154	11,006 (0,000)	0,702	7,331 (0,000)
R ² Ajustado	0,973		0,955		0,813	
Lagrange Multiplier	2466,99		898,80		1488,94	
Hausman	53,03		18,36		34,64	

Os resultados dos testes dos Multiplicadores de Lagrange e de Hausman (ver 12) indicam que o modelo de painel com efeitos fixos é superior tanto ao modelo de regressão linear ignorando os efeitos de painel como ao modelo de painel com efeitos aleatórios.

Os três modelos consideraram 3 variáveis, a saber: preços dos combustíveis, densidade populacional (que mede o grau de urbanização da região) e o PIB per capita. Os resultados apontam claramente para o facto de que nas NUTSIII que fazem fronteira com Espanha a elasticidade ao preço é sensivelmente 1,7 vezes superior á das restantes regiões. Aliás a diferença entre as duas elasticidades é significativamente diferente de zero com um grau de confiança de 99%.

Por outro lado verifica-se também que nas regiões que fazem fronteira com Espanha a elasticidade ao PIB tem também uma magnitude bastante mais elevada que no caso das restantes regiões. Já os efeitos da densidade são mais reduzidos. Os efeitos desta última variável podem ser interpretados como os resultados do efeito positivo que o nível de urbanização tem nos níveis de actividade económica e na mobilidade, contribuindo por isso para um aumento do tráfego. Por outro verifica-se que existe uma muito maior variabilidade ao nível da densidade populacional do que no caso do PIB per capita. Logo, essa maior variabilidade acaba por influenciar a magnitude dos coeficientes do modelo (Para a globalidade das NUTS III o coeficiente de variação da densidade é de 168% e o do PIB é de apenas 35%). Já no caso das NUTS III que fazem fronteira com Espanha essa variabilidade reduz-se substancialmente.

2.3 Trafego nas travessias do Tejo

Foi contruído um modelo para estimar o efeito de um conjunto de variáveis semelhantes às utilizadas nos modelos anteriores para estimar o seu impacte na evolução do TMDA nas travessias do Tejo em Lisboa. As variáveis analisadas consistiram em para além da evolução dos preços dos combustíveis e do PIB per capita a taxa de desemprego. Na Figura 4 apresenta-se a evolução destas variáveis entre 2003 e 2010.

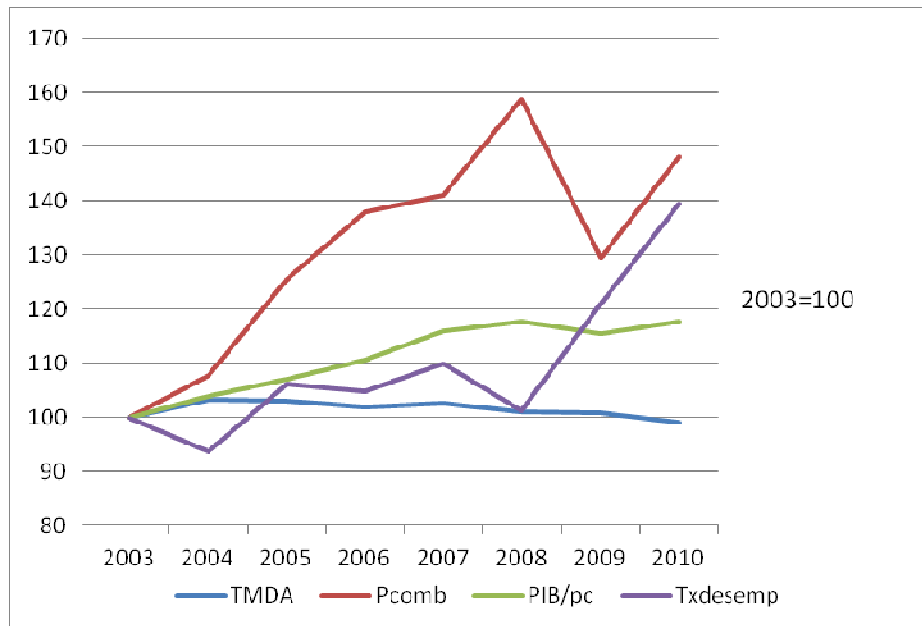


Fig 4 Evolução do TMDA nas travessias do Tejo, dos preços dos combustíveis, do PIB/pc e da taxa de desemprego

Verifica-se que o tráfego no período em análise praticamente estagnou, crescendo apenas entre 2003 e 2004. Posteriormente, a partir de 2004 iniciou-se uma tendência decrescente. O TMDA de 2010 era cerca de 99% do TMDA de 2003. Relativamente às restantes variáveis, verifica-se que os preços dos combustíveis apresentam uma tendência de crescimento forte, apenas quebrada no ano de 2009, devido aos efeitos da crise internacional, no entanto a taxa de crescimento entre 2009 e 2010 aproximou-se das verificadas nos anos imediatamente anteriores (em particular entre 2007 e 2008). O PIB per capita apresentou uma tendência crescente, com uma pequena quebra em 2009 (no entanto, é importante ter em conta que o indicador PIB está medido em preços correntes, logo as suas quebras aparecem bastante menos acentuadas). Quanto à taxa de desemprego, esta apresenta um crescimento bastante forte a partir de 2008.

Os modelos desenvolvidos, consistiram mais uma vez em modelos do tipo log-log e os seus resultados são apresentados no quadro seguinte.

Quadro 2 Modelos de estimação do TMDA nas travessias do Tejo em Lisboa

Modelo 1			
	Coefficiente	T-stat	Sig
Ln(preço combustíveis)	-1.105	-4.585	0.006
Ln(PIB/pc)	3.552	19.111	0.000
Ln(taxa desemprego)	-0.564	-2.376	0.063
R ² Ajustado	0.799967		
Modelo 2			
	Coefficiente	T-stat	Sig
Ln(preço combustíveis)	-1.487	-6.217	0.001
Ln(PIB/pc)	3.993	330.145	0.000
R ² Ajustado	0.833275		

Verifica-se que para a série temporal considerada, a taxa de desemprego não possui um coeficiente significativamente diferente de zero, para um nível de significância de 95%. Consequentemente, foi estimado um segundo modelo, incluindo apenas o PIB per capita e o preço dos combustíveis.

Os resultados deste modelo indicam que a procura rodoviária, nas vias em questão é elástica face á preço dos combustíveis e ao PIB, sendo o impacte do PIB muito superior em termos absolutos.

Estes resultados apontam para uma muito maior magnitude dos efeitos do preço dos combustivel na procura rodoviária do que na venda de combustíveis. No entanto, estes resultados podem decorrer de um conjunto de vários factos, alguns relacionados com os métodos de análise, outros relacionados com os dados utilizados e, finalmente, outros relacionados com as características do local em análise.

Em primeiro lugar, verifica-se que a variabilidade do tráfego durante o periodo em análise é relativamente reduzida, o que condiciona a adequabilidade do modelo utilizado, uma vez que o termo de intercepção (num modelo considerando a sua existência) passa a ser a única variável estatisticamente significativa. Removendo o termo de intercepção do modelo, os coeficientes do preço e do PIB/pc passam a ser estatisticamente significativos mas e a sua magnitude aumenta fortemente. Por outro lado, tendo em consideração as características das vias em análise, poderá ser recomendável a utilização de modelos mais complexos, nomeadamente que tenham em conta as características dos modos que competem com a rodovia nas travessias do Tejo.

3 CONCLUSÕES

No presente trabalho foram construídos um conjunto de modelos que procuraram explicar a evolução de um dos determinantes mais relevantes da procura de tráfego, as vendas de combustível. Os modelos construídos apontam para elasticidades face aos preços e ao PIB per capita que se encontram dentro dos valores indicados pela bibliografia. No entanto, devido às especificações dos modelos construídos, não é possível diferenciar entre elasticidades de curto e longo, prazo. Os modelos construídos também indicam claramente que o efeito do diferencial de preço dos combustíveis entre Portugal e Espanha faz com que as NUTS III fronteiriças possuam uma elasticidade face ao preço superior á média nacional. Tal implica que a utilização de modelos de previsão das vendas de combustível para orientar projecções de tráfego nessas NUTS pode conduzir a subestimações do tráfego.

Por outro lado, os modelos de painel construídos são passíveis de serem melhorados quer com a introdução de novas variáveis que capturem os efeitos da renovação do parque automóvel, nomeadamente a adopção de novas

tecnologias, quer com a definição de especificações mais sofisticadas que incluam possíveis efeitos de correlação espacial.

Finalmente, e tendo em consideração o modelo construído para estimar o tráfego nas travessias do Tejo em Lisboa, considera-se que o mesmo não será muito adequado para suportar previsões de evolução do tráfego. Estas conclusões apontam para a falibilidade deste tipo de modelos em situações em que as séries estatísticas possam ser reduzidas e a evolução do tráfego (crescimento ou redução) se encontra praticamente estagnada.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Azevedo, C L and Cardoso, J (2009) Estimation of annual traffic volumes: A model for Portugal *Papers of the Young Researchers Seminar 2009* Torino Italy 3–5 June 2009
- (2) Bureau of Infrastructure, Transport and Regional Economics (BITRE), 2012, Traffic Growth: Modelling a Global Phenomenon, Report 128, Canberra ACT.
- (3) Hossain, Afzal and Gargett, David (2011), Road vehicle-kilometres travelled estimated from state/territory fuel sales, presented at the Australasian Transport Research Forum 2011, 28-30 September, Adelaide, Australia
- (4) Fricker, Jon D. and Kumapley Robert K. (1996), Review of Methods for Estimating Vehicle Miles Traveled, Transportation Research Record 1551, 59-66
- (5) Fricker, J. D., and R. K. Kumapley (2002). Updating Procedures to Estimate and Forecast Vehicle-Miles Traveled. Publication FHWA/IN/JTRP-2002/10. Joint Transportation Research Program, Indiana Department of Transportation and Purdue University, West Lafayette, Indiana, 2002. doi: 10.5703/1288284313337.
- (6) Espey, Molly (1998) Gasoline demand revisited: an international meta-analysis of elasticities, *Energy Economics* 20, pp 273-295
- (7) dos Santos, Gervásio F. and Faria, Weslem R. (2012), Spatial Panel data models and fuel demand in Brazil, TD Nereus
- (8) Graham, Daniel J. and Glaister, Setphen (2004) Road Traffic Demand Elasticity Estimates: A Review, *Transport Reviews*, 24(3), 261-274
- (9) Goodwin Phil, Dargay, Joyce and Hanly, Mark (2004) elasticities of road traffic and fuel consumption with respect to price and income: a review, *Transport Reviews*, 24(3), 275-292
- (11) Greene, William (2008), *Econometric Analysis*, Sixth Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River.
- (12) Greene, William (2007), LIMDEP version 9.0. *Econometric Modeling Guide*, Econometric Software, Inc, Plainview.
- (10) Washington, Simon P., Karlaftis, Mathew G. e Mannering (2003) “Statistical and econometric Methods for Transportation Data Analysis”, CRC, Boca Raton.