

Acção do tráfego rodoviário em Portugal – Comparação com a regulamentação actual



João Freitas¹



A. Abel Henriques²

RESUMO

Este trabalho apresenta o estudo efectuado na caracterização das acções do tráfego rodoviário nacional com base em dados recolhidos em 2006 em dois troços de estrada pertencentes à rede rodoviária portuguesa em duas zonas de elevado movimento de tráfego pesado (zonas de fronteira com Espanha): o primeiro, com uma extensão de 900 metros e integrado na auto-estrada A3, entre a vila portuguesa de Valença e a Ponte Internacional de Valença; o segundo, com uma extensão de 2234 metros e pertencente à auto-estrada do Algarve A22, entre Castro Marim e a Ponte Internacional do Guadiana. Apresenta-se ainda a análise dos padrões de comportamento do tráfego, centrando-se o estudo nos veículos que influenciam de forma mais significativa as solicitações em estruturas, isto é, os veículos pesados.

A comparação dos dados obtidos com valores obtidos em estudos semelhantes efectuados em outros países europeus permite fazer o enquadramento apropriado do tráfego nacional no contexto da União Europeia. Deste estudo destaca-se a comparação dos resultados da distribuição do tráfego com base em dados recolhidos em Auxerre, na auto-estrada Paris-Auxerre, e que serviu de base à calibração dos modelos propostos no Eurocódigo 1 e a comparação com a situação obtida na auto-estrada M4 na República da Irlanda que, tal como Portugal, é um país periférico em termos de localização no continente europeu.

Com base na formulação do modelo apresentado no Eurocódigo 1, propõe-se o ajuste de parâmetros desse modelo com base numa calibração efectuada recorrendo aos dados recolhidos nas estradas portuguesas. É feita uma comparação do modelo ajustado, proposto neste trabalho, com os modelos definidos no Eurocódigo 1 e no Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes, com base na aplicação dos diferentes modelos de sobrecarga a pontes de pequeno e médio vão. Os diferentes níveis de segurança obtidos permitem a discussão dos resultados obtidos com os vários modelos.

PALAVRAS-CHAVE

Modelos de acções, tráfego rodoviário, pontes, eurocódigos.

¹ Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, 4200-465 Porto, Portugal. joao.miguel@fe.up.pt

² Universidade do Porto, LABEST-Departamento de Engenharia Civil, 4200-465 Porto, Portugal. aarh@fe.up.pt

1. INTRODUÇÃO

Tendo em conta que a segurança e a funcionalidade são factores de extrema importância num projecto de uma ponte, o objectivo fundamental é criar uma estrutura que resista de uma forma eficiente às cargas que actuam durante o seu período de vida. No entanto, a determinação da capacidade resistente e dos efeitos das cargas aplicadas à estrutura é um problema complexo e que envolve um determinado nível de incerteza. Como tal, devem ser usados coeficientes de segurança adequados seguindo procedimentos indicados pelos regulamentos, de forma a evitar a ocorrência de fenómenos de instabilidade, rotura dos materiais, deformações e vibrações excessivas que possam afectar o seu bom desempenho.

Em particular, no estudo de pontes rodoviárias os regulamentos existentes descrevem as principais acções a considerar e que simulam as diferentes situações reais que a estrutura pode experimentar durante o seu período de vida. Distinguem-se a situação de tráfego intenso, transportes especiais, aglomerado de pessoas (maratonas), etc. Os valores das sobrecargas regulamentares variam de país para país embora seja de prever uma uniformização a nível europeu com a introdução dos Eurocódigos.

2. TRÁFEGO RODOVIÁRIO PORTUGUÊS

2.1 Nota Introdutória

Durante a última década, têm sido efectuados diversos estudos em diversos países com o intuito de quantificar as solicitações do tráfego rodoviário, devido à sua importância na área de mercadorias e às necessidades crescentes que surgem na definição de itinerários estratégicos, ao aumento das cargas transportadas, à manutenção e à reabilitação e reforço de pontes em serviço com problemas de envelhecimento e degradação progressiva. Os diversos estudos reflectiram-se em normas e modelos teóricos de carga distintos.

Um dos objectivos procurados neste trabalho foi, efectivamente, compreender e enquadrar a situação actual do tráfego rodoviário português no contexto europeu. Para isso, foi efectuado um estudo recorrendo a dados reais disponibilizados pelo Gabinete de Telemática Rodoviária da E.P. através do SICIT, Sistema Integrado de Controlo e Informação de Tráfego. Os dados são recolhidos com recurso a equipamentos automáticos (“weigh-in-motion”, WIM) e referem-se ao ano de 2006.

Os dois casos analisados integram-se em duas zonas de fronteira entre Portugal e Espanha, sendo portanto, estradas com grande frequência de passagem de veículos pesados. O primeiro troço de estrada estudado, com uma extensão de 900 metros está inserido no trajecto entre Valença (Viana do Castelo) e a Ponte Internacional de Valença. A A3 é a auto-estrada que faz a ligação fundamental entre a segunda maior cidade do país, o Porto, com a fronteira espanhola, em Valença. O segundo caso, com uma extensão de 2234 metros, insere-se na auto-estrada A22. Os dados recolhidos são relativos à parte final do traçado, junto à Ponte Internacional do Guadiana que faz a fronteira com a Espanha.

2.2 Análise dos dados recolhidos

Na Figura 1 pode-se ver a distribuição do tráfego durante o ano 2006, quer para o panorama total, quer somente para os veículos pesados. Neste caso, estes gráficos referem-se ao troço da A3 e no sentido Norte-Sul, ou seja, Espanha – Portugal. Note-se, por exemplo, que Agosto é o mês de maior volume de tráfego no panorama total (época de Verão) e um dos meses de volume mais reduzido quando se fala de tráfego pesado.

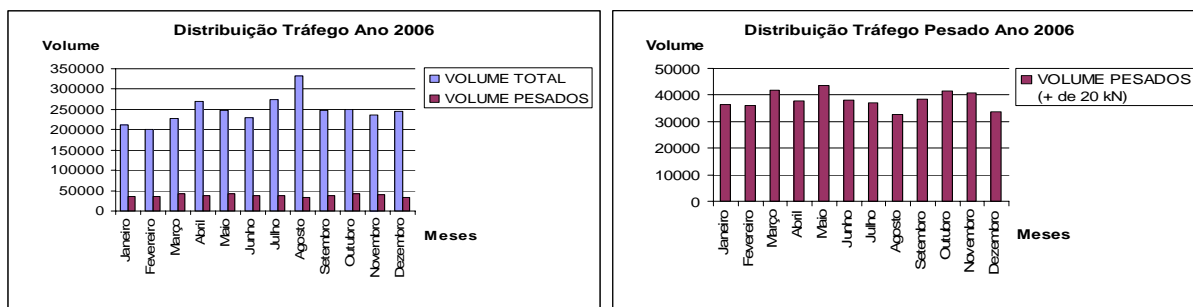


Figura 1 – Distribuição do tráfego (total e pesados) por mês do ano de 2006.

A Figura 2 representa os meses de maior e menor volume de tráfego por dia. No gráfico do volume total, conclui-se que quarta-feira é o dia de volume máximo e domingo o de volume mínimo. Note-se também que os valores mínimos do mês máximo rondam os valores máximos do mês mínimo (cerca de 8000 veículos por dia). Quanto aos pesados, um facto interessante é a quebra sistemática entre dias de semana/dias de trabalho e o fim-de-semana/dias de descanso. No sentido Norte-Sul da A3, os dias máximos são à segunda-feira (refira-se que no sentido oposto é à sexta-feira). Este tipo de análise permite evidenciar casos especiais, nomeadamente, o efeito redutor do feriado de 15 de Agosto. O abaixamento do dia 17 de Maio poderá estar associado a um jogo de futebol (final da liga dos campeões) ocorrido nessa data.

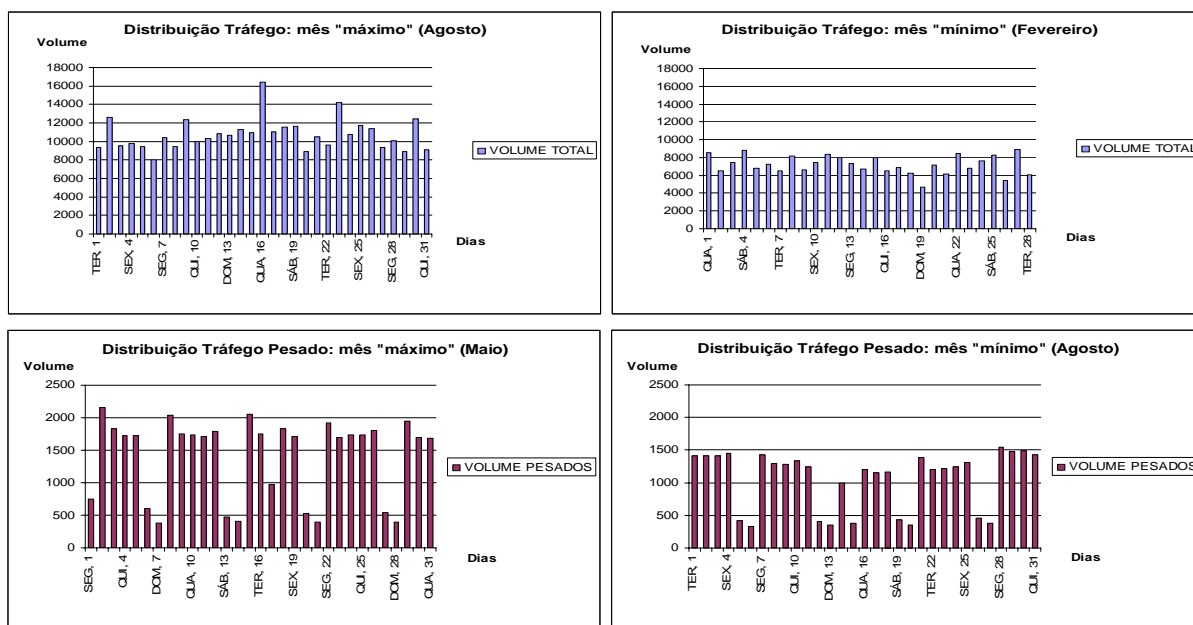


Figura 2 – Distribuição do tráfego (total e pesados) por dia: mês “máximo” e mês “mínimo”.

Na Figura 3, os gráficos representam as variações de volume de tráfego.

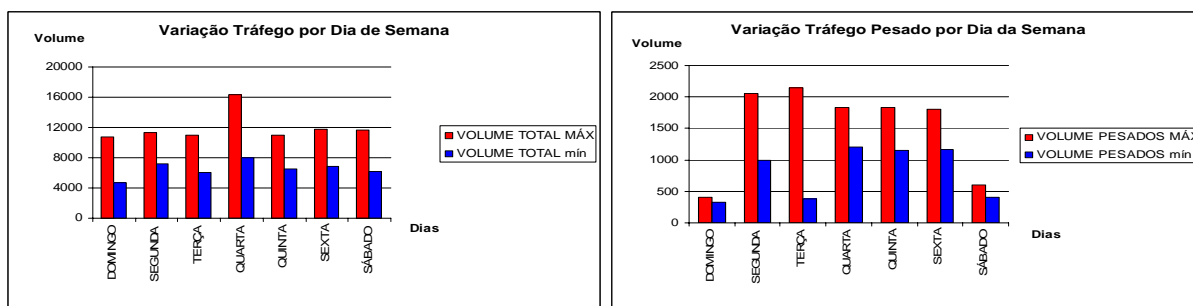


Figura 3 – Variação do tráfego (total e pesados) por dia da semana.

Os gráficos apresentados na Fig. 4 discretizam as semanas de volume máximo e mínimo por hora do dia. Note-se que cerca de 90% do tráfego movimenta-se entre as 6 da manhã e as 11 da noite.

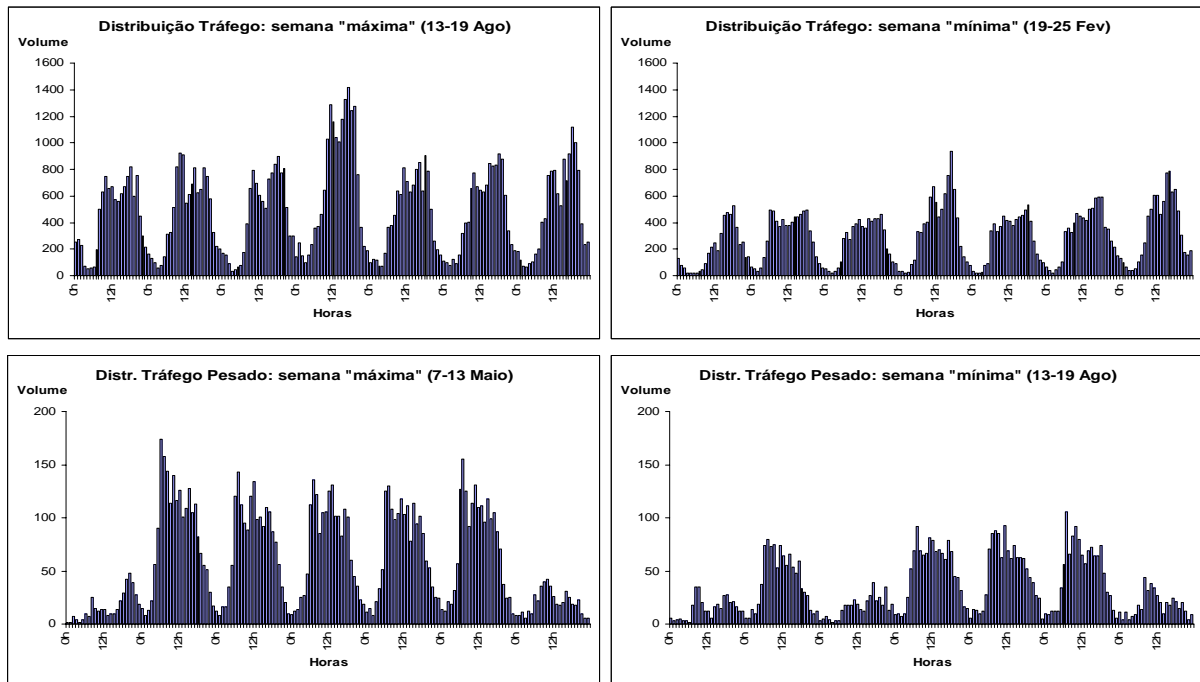


Figura 4 – Distribuição do tráfego (total e pesados) por hora: mês "máximo e mês "mínimo".

A Figura 5 sobrepõe o dia de volume máximo e o de volume mínimo.

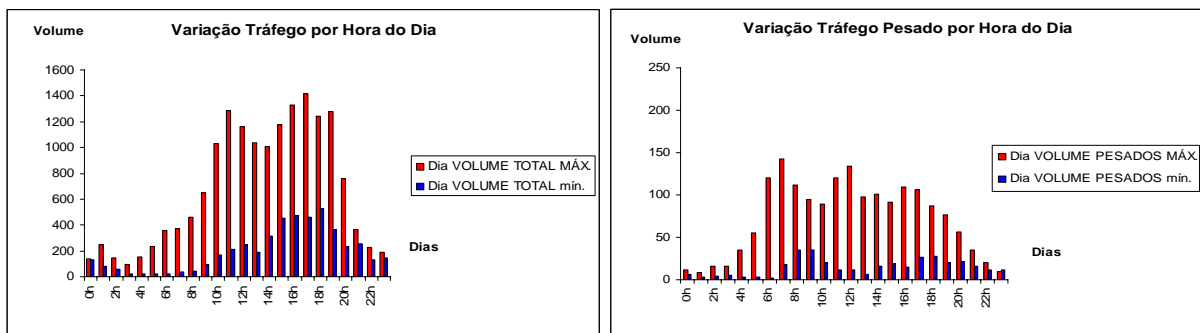


Figura 5 – Variação do tráfego (total e pesados) por hora do dia: dia "máximo e dia "mínimo".

O tráfego rodoviário deste troço da auto-estrada A3 tem a particularidade de ser representado por uma elevada percentagem de passagem de veículos pesados (16,8%). No panorama global, a intensidade é máxima na época de Verão e mínima nos dois primeiros meses do ano. Durante a semana, é notória a tendência para registos elevados à quarta-feira e registos reduzidos ao domingo. Acrescenta-se, ainda, que cerca de 90% do tráfego circula entre as 6 horas da manhã e as 11 da noite e que a variação média de volume por dia se aproxima dos 80%.

No que diz respeito ao tráfego pesado, o volume máximo de veículos mensal regista-se antes da época de Verão, mais precisamente, em Maio. Os valores mínimos verificam-se, por sua vez, em meses como Janeiro, Fevereiro, Agosto e Dezembro. Semanalmente, é visível uma grande diferença de intensidades entre o fim-de-semana (sábado e domingo) e os restantes dias, observação esta que confirma o efeito distinto dos reconhecidos dias de trabalho e dias de descanso. Uma conclusão curiosa resume-se ao facto de segunda-feira ser o dia de maior intensidade no sentido Espanha – Portugal e sexta-feira o correspondente no sentido contrário, o que pressupõe efeitos da actividade de

importação. Aproximadamente 90% dos veículos pesados são registados entre as 6 horas da manhã e as 11 horas da noite. De salientar que, apesar da variação média de volume diário rondar os 50%, comparando os valores máximos de um dia de trabalho com os mínimos ocorridos em fins-de-semana, atingem-se variações da ordem dos 600%.

Comparativamente ao primeiro caso apresentado, o troço de estrada da A22 apresenta um volume de passagem de veículos inferior. Contudo, a sua distribuição mensal é idêntica. O mês de volume máximo é, indubitavelmente, Agosto e os períodos de intensidades reduzidas verificam-se, tal como no caso da A3, nos meses de Janeiro e Fevereiro. Durante a semana e nos meses de tráfego intenso, a tendência aponta para valores mais altos nos dias da semana, observando-se exactamente o oposto nos meses de menor intensidade. As variações médias diárias são bastante superiores às do primeiro exemplo (na ordem dos 230%) pelo que se pode afirmar que o tráfego rodoviário nesta zona do país assume um comportamento mais irregular. De notar a particularidade desta estrada registar valores muito semelhantes nos seus dois sentidos.

Relativamente ao tráfego pesado, neste caso, este é representado por uma menor percentagem da totalidade de veículos que atravessam esta estrada (9,7%). A sua distribuição anual evidencia o mês de Abril com a maior intensidade enquanto, meses como Janeiro e Junho se distinguem pelo reduzido volume de veículos. Semanalmente, em paralelo com o que se concluiu relativamente ao troço da A3, a sequência de quebras dias da semana/fim-de-semana mantêm-se. Este facto é mais notório durante os meses de menor volume de veículos. Ainda de salientar, os curiosos “picos” ao sábado durante os meses intensos: às 8 horas da manhã no sentido Oeste – Este e às 6 horas da tarde no sentido contrário. Finalmente, refira-se que entre 81% a 96% dos pesados circulam entre as 6 da manhã e as 11 da noite.

2.3 Tráfego Pesado

Reconhecidamente um factor importante no projecto de pontes rodoviárias, compreender o comportamento do tráfego pesado engloba não só estudos quantitativos como também qualitativos. De facto, existem diversas classes de veículos pesados às quais correspondem diferentes pesos. Além disso, o mesmo veículo pode assumir diferentes valores de peso dependendo da quantidade de carga que transporta. De notar que é sempre recomendável assumir a eventualidade da passagem de veículos com excesso de carga relativamente aos limites legais, visto que sobrecarregar os veículos é lucrativo para as empresas de transportes algo que, na realidade, é bastante comum no nosso país.

Da observação da Fig. 6 pode concluir-se que os veículos entre os 2000 e os 4000 kg são os predominantes. Numa proporção bastante inferior, evidenciam-se os veículos entre os 8000 e os 18000 kg e, também, dos 28000 aos 34000 kg. Evidencie-se o reduzido número de veículos com pesos superiores a 40 toneladas. De notar, ainda, a diferença da configuração do tráfego entre os dois troços examinados, sendo que o pertencente à região norte do país apresenta uma maior percentagem de veículos pesados (16,8%) do que o implantado na zona algarvia (9,7%).

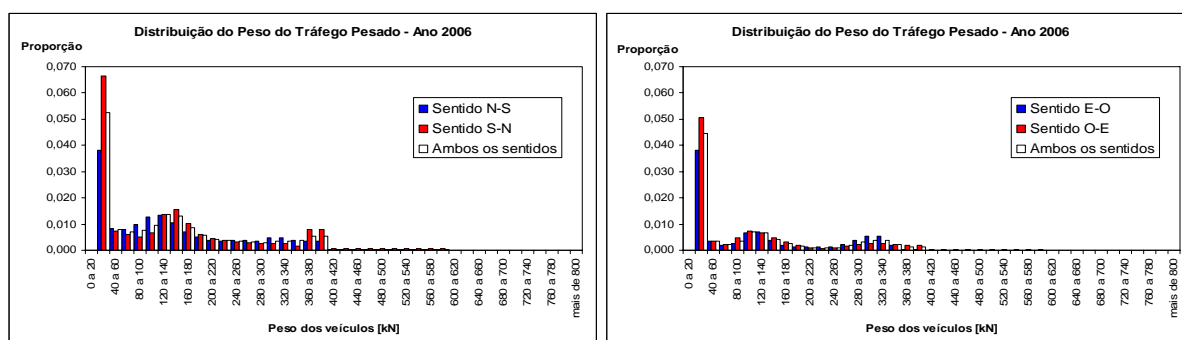


Figura 6 – Distribuição do tráfego (pesados) por classes de peso.

2.4 Enquadramento do tráfego nacional no contexto europeu

Analizados os dados reais relativos ao tráfego rodoviário português, torna-se importante comparar os resultados com a situação de outros países europeus. É sabido que Portugal, à semelhança do que se passa noutros países periféricos da Europa, possui uma baixa frequência de veículos mais pesados em relação a países mais industrializados, nomeadamente, a França.

A primeira estrada europeia estudada, designada por “Irish M4”, é um dos três trajectos primários principais da Irlanda. Tratando-se dum país pertencente à periferia da Europa, era esperado um paralelismo entre a configuração do tráfego desta estrada com a obtida para os exemplos portugueses. A segunda referência desta análise comparativa centra-se nos dados relativos ao tráfego de Auxerre, que servem de apoio à formulação do modelo proposto pelo EC1.

A Figura 7 apresenta os diagramas de distribuição sobrepostos entre as estradas europeias seleccionadas e as estradas portuguesas analisadas.

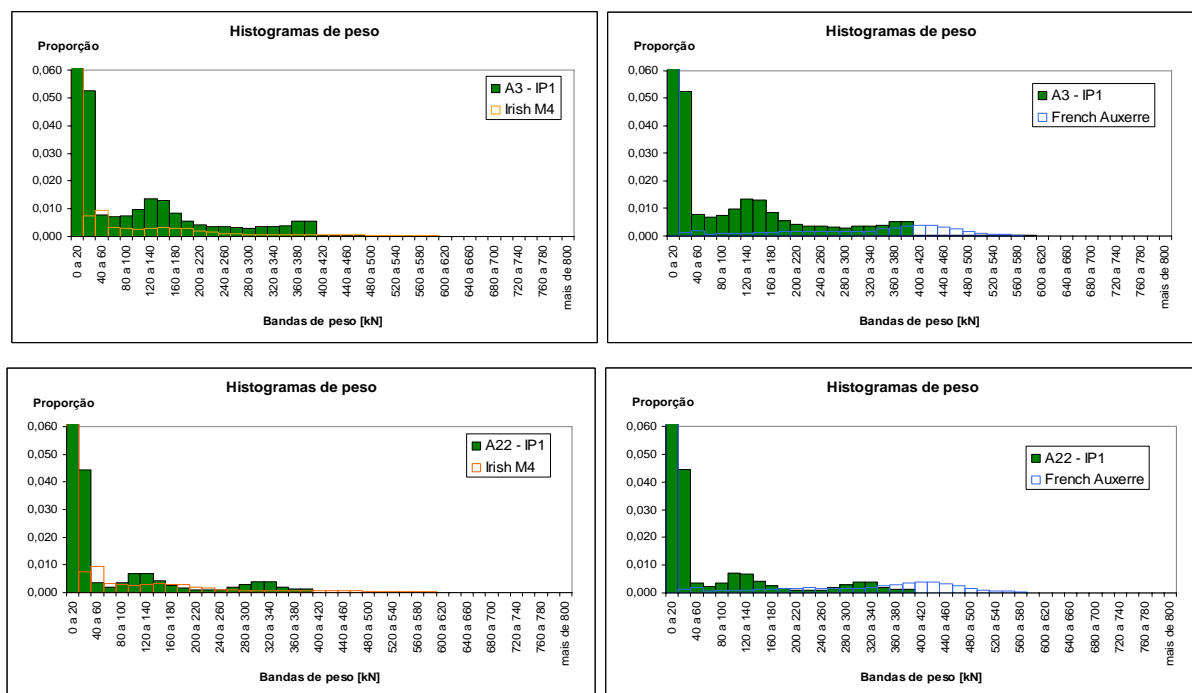


Figura 7 – Sobreposição: “Irish M4” e “French Auxerre” com os troços da A3 e A22.

Embora o tráfego de Auxerre se desdobre para valores de carga superiores, é importante realçar a maior proporção de veículos pesados registada nos exemplos portugueses estudados, principalmente no caso da A3 (16,8%). Isso indica-nos que embora não se atinjam cargas tão elevadas, a passagem de veículos pesados nesta estrada do norte de Portugal é frequente.

Pode concluir-se que o tráfego português assume um comportamento idêntico ao de outros países da periferia da Europa, nomeadamente, o da República da Irlanda. Quanto aos dados de Auxerre, embora em proporções menores, integra veículos de cargas superiores às registadas nas estradas portuguesas.

Com este estudo pretende-se demonstrar as potencialidades e tipos de análises que um sistema completo de informação e controlo do tráfego rodoviário permite realizar. Efectivamente, a procura e a apreensão de padrões de comportamento do tráfego rodoviário poderá traduzir-se, na maioria dos casos, num factor positivo e importante na verificação, dimensionamento e projecto de pontes, nomeadamente, no que diz respeito a fenómenos de fadiga.

3. ESTUDO COMPARATIVO

3.1 Modelos de sobrecarga rodoviária

A análise comparativa realizada coloca em paralelo, não só os modelos regulamentares do EC1 e do RSA, como também toma em conta os modelos de carga decorrentes do estudo já apresentado. O objectivo é avaliar até que ponto as duas propostas regulamentares diferem ao nível dos efeitos criados na estrutura de uma ponte e se a transição de normativas é adequada ao contexto nacional.

O principal modelo de sobrecarga rodoviária definido pelo EC1 (2002), definido como “LM1” (Load Model 1), pode ser utilizado para verificações locais e/ou globais dos elementos de uma ponte. Os valores característicos das cargas associadas a este modelo, definidos como o percentil 95 da distribuição máxima para um período de retorno de 50 anos.

O esquema de cargas deve ser aplicado na posição mais desfavorável para o elemento estrutural e para o esforço em causa.

Para verificações locais e considerando efeitos dinâmicos de níveis normais de tráfego, a norma europeia define ainda um esquema de carga representado por um único eixo de 400 kN (ou 200 kN por roda).

As intensidades das cargas referidas podem ser afectadas por um factor nacional de ajuste, α . Tanto o modelo “LM1” como o modelo “LM2” foram formulados tendo em conta efeitos dinâmicos. A mesma norma define, ainda, um terceiro modelo de sobrecarga rodoviária “LM3” (Load Model 3) que pretende simular situações especiais, nomeadamente, o transporte industrial pesado.

Relativamente ao RSA, refira-se a carga “veículo-tipo” e “carga distribuída”. Os respectivos valores característicos apresentados na tabela já incluem efeitos dinâmicos. “ Q_k ” é a carga transmitida por cada eixo do veículo e “ a ” e “ b ” as dimensões das superfícies de contacto das rodas. Em relação à sobrecarga associada à “carga distribuída”: “ q_{1k} ” é o valor da carga uniformemente distribuída enquanto “ q_{2k} ” é a única transversal com distribuição linear e uniforme.

As sobrecargas referidas devem ser consideradas actuando, tanto longitudinalmente como transversalmente, na posição mais desfavorável para o elemento em estudo. No que se refere ao veículo, este deverá ser localizado em qualquer posição na faixa de rodagem, mas sempre com o seu eixo paralelo ao eixo da ponte; no caso de pontes dotadas de duas faixas de rodagem, destinadas cada uma a um sentido único de tráfego, o veículo deve ser aplicado em cada uma das faixas, ou em ambas simultaneamente, desde que cada faixa possa comportar duas ou mais vias de tráfego.

O procedimento de cálculo adoptado na formulação dos esquemas de carga relativos ao estudo realizado seguiu a proposta de Moses & Ghosn (1985) – Eq. (1), que apontou para um veículo padrão de 4 eixos e distribuição de peso igual para cada eixo (25%) – ver Fig. 8.

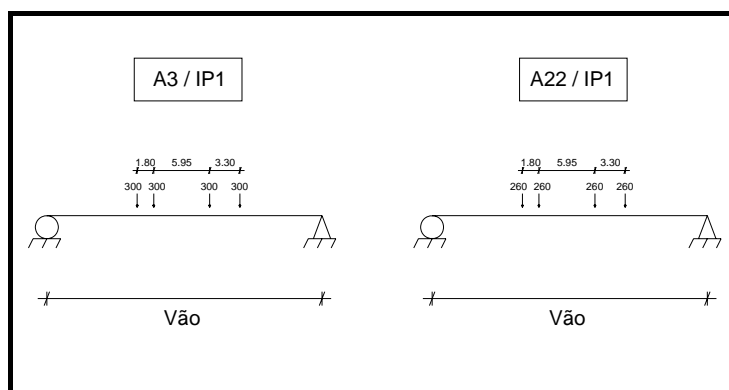


Figura 8 – Modelos de sobrecarga rodoviária obtidos.

3.2 Análise comparativa

Nesta análise foi considerada a situação de um tabuleiro simplesmente apoiado admitindo uma faixa de tráfego com duas vias de circulação. Neste cenário teórico, meramente realizado com o propósito de perceber os efeitos dos modelos de sobrecarga, foi desprezado o contributo do peso próprio da estrutura. Assumiu-se os valores característicos actuantes definidos nas respectivas regulamentações. Foi admitido o valor de 1.0 para os parâmetros de ajuste, α , referidos no EC1 (2002). Naturalmente, os veículos-tipo foram aplicados na posição mais desfavorável na obtenção dos esforços pretendidos: a meio-vão para o momento flector máximo e junto ao apoio para o esforço de corte. Foram testados vãos entre 3 a 60 m. Para casos de vãos contínuos, diferentes larguras, diferente número de vias de tráfego entre outros aspectos que influenciem os esforços, deverão ser previstas as devidas adaptações.

Em relação ao momento máximo, os resultados associados à proposta europeia rondam o dobro dos valores da correspondente proposta nacional onde a “carga uniformemente distribuída e carga transversal” se evidencia como acção condicionante. Quanto ao esforço transversal, as conclusões são semelhantes.

Relacionando os esforços obtidos com as capacidades resistentes das secções dos elementos pré-fabricados apresentados no capítulo anterior, pode concluir-se que o Eurocódigo é o regulamento mais exigente nesta matéria. Com esta comparação pretende-se fornecer uma perspectiva da influência em projecto associada aos dois regulamentos em causa.

Na Figura 9 é possível analisar o efeito dos modelos formulados para a A3 e para a A22 aplicados à mesma situação. É possível verificar que as consequências ao nível de esforços provocados, superam, em correspondência com um determinado intervalo de valores do vão, as exigências impostas pelo Regulamento de Segurança em Acções em prática no nosso país, mas são inferiores aos valores associados ao Eurocódigo. Como tal, o teor dos resultados desta análise apoia a substituição do RSA e uma adaptação dos parâmetros dos modelos do Eurocódigo, obtendo-se desta forma, um nível de segurança mais elevado e adequado à realidade efectiva do tráfego nacional.

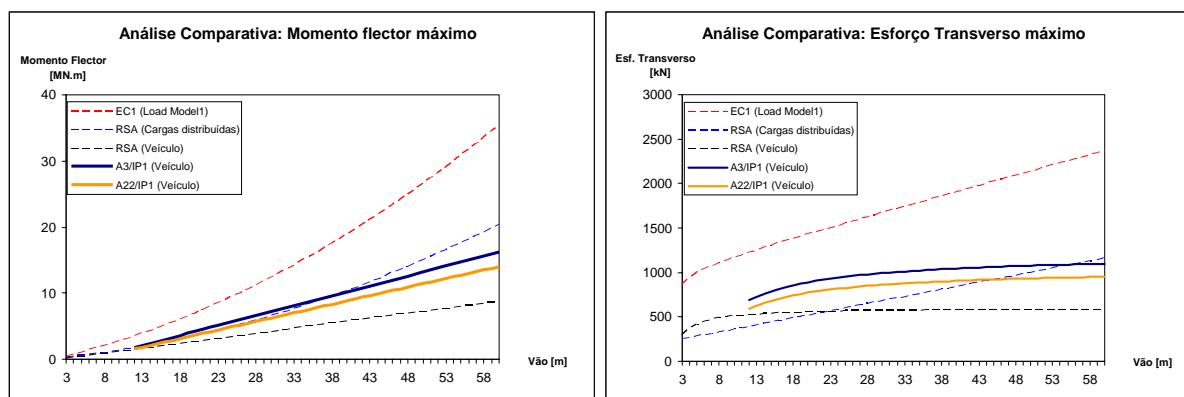


Figura 9 – Comparação do momento flector e esforço transversal máximos (valores característicos) obtidos com base em diferentes modelos.

4. CONCLUSÕES

A análise das normas, a recolha e tratamento de dados, a aplicação dos modelos regulamentares e a respectiva comparação dos seus níveis de exigência, o estudo de secções transversais típicas de tabuleiros de pontes em Portugal e correspondente determinação da área de aplicabilidade, a avaliação da adequabilidade da substituição dos regulamentos específicos foram aspectos abordados e

concretizados ao longo de um trabalho que englobou uma etapa de pesquisa, uma fase de cálculo e um processo de formalização de resultados.

A realização deste trabalho permitiu o contacto e o directo envolvimento com os aspectos associados à acção do tráfego rodoviário em pontes de betão armado, quer ao nível das normas, na sua formulação e procedimentos de aplicação, quer em termos de recolha e tratamento de dados estatísticos associados ao tráfego existente em Portugal e na Europa. Em particular, espera-se que o sistema de controlo e recolha de informação do tráfego nacional seja mais abrangente, permitindo o acompanhamento contínuo da sua evolução, proporcionando potencial utilidade em projecto no futuro. Deste estudo, que forneceu dados interessantes de dois troços de estrada de grande movimento de veículos pesados, pode concluir-se a semelhança entre o comportamento do tráfego nacional com o de outros países situados na periferia da Europa, nomeadamente, o da República da Irlanda. Quando comparado com os dados de Auxerre que servem de base à formulação do modelo do EC1, conclui-se que, apesar de uma maior percentagem de veículos pesados nas estradas portuguesas estudadas, as cargas a eles associadas não atingem valores tão elevados como aqueles registados em França.

A análise comparativa entre os modelos regulamentares permitiu desenvolver um conhecimento importante e formar uma perspectiva das diferenças dos efeitos inerentes a cada um deles. A sua execução confirmou a maior exigência de segurança imposta pelo EC1. A referência aos elementos pré-fabricados serviu, não só como termo de comparação entre as normas, como também poderá eventualmente constituir uma base de informação útil em projectos de pontes rodoviárias. O estudo de vertentes das secções com um nível de reforço superior, a análise de diferentes situações, nomeadamente, pontes com maior número de vias de tráfego e diferentes condições de apoio poderão ser alvo de desenvolvimentos futuros e complementar os dados adquiridos.

A execução e aplicação de modelos baseados no estudo do tráfego rodoviário nacional permitiram, por um lado, criar uma certa sensibilidade para as problemáticas envolvidas na formulação de um esquema de cargas, e por outro, depreender o ponto de situação que envolve a substituição de normativas, apoiando a futura implementação do EC1. No exemplo detalhado e em determinadas situações, os efeitos induzidos pelo modelo do RSA revelaram-se menos exigentes àqueles provocados pelos modelos criados. Concretamente, para vãos entre os 10 e os 40 metros e vãos inferiores a 60 metros, no que diz respeito à solicitação de momento flector e ao esforço transversal, respectivamente.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à EP - Estradas de Portugal, S.A., a utilização dos dados disponibilizados através do seu Sistema Integrado de Controlo e Informação de Tráfego (SICIT), relativos ao tráfego rodoviário nos troços da auto-estrada A3, entre Valença e a Ponte Internacional de Valença, e da auto-estrada A22, entre Castro Marim e a Ponte Internacional do Guadiana.

6. REFERÊNCIAS

- [1] RSA. Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes. Ministério da Habitação, Obras Públicas e Transportes, Lisboa, 1983.
- [2] EC1. prEN1991-2: Eurocode 1: Action on Structures – Part 2: Traffic Loads on Bridges. CEN, Brussels, final draft, 2002.

[3] SOBRINO, J. A. Evaluación del Comportamiento Funcional y de la Seguridad Estructural de Puentes Existentes de Hormigón Armado y Pretensado. Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya, Departament d'Enginyeria de la Construcció, 1993.

[4] Estradas de Portugal, S. A., Gabinete de Telemática Rodoviária – Sistema Integrado de Controlo e Informação de Tráfego (SICIT).

<http://telematica.estradasdeportugal.pt/> . De Setembro de 2007 a Janeiro de 2008.

[5] O'BRIEN, E. J. & O'CONNOR, A. J. Eurocode for Traffic Loads on Road Bridges (EC1.3) – Calibration of Irish Conditions – Report No. 98-001. Department of Civil Engineering, Trinity College, Dublin, 1998.

[6] WIŚNIEWSKI, D. F. Safety Formats for the Assessment of Concrete Bridges – with special focus on precast concrete. Doctoral Thesis, School of Engineering – University of Minho, Department of Civil Engineering, Guimarães, 2007.

[7] MOSES, F. & GHOSH, M. A Comprehensive Study of Bridge Loads and Reliability – Report FHWA/OH-85/005. Case Western Reserve University, Cleveland, 1985.