

O CONGESTIONAMENTO ENQUANTO EXTERNALIDADE DE NATUREZA ESPECÍFICA: SIGNIFICADO E CONSEQUÊNCIAS

Paulo Matos Martins¹, Rosário Macário^{2,3}

¹Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, CEEC/GuITTS, Rua Conselheiro Emídio Navarro, 1959-007 Lisboa, Portugal.

email: paulo.martins@dec.isel.pt.

²Instituto Superior Técnico, CERIS/CESUR, Av. Rovisco Pais, 1, 1049-001 Lisboa, Portugal.

³TIS.PT, Consultores em Transportes, Inovação e Sistemas, S.A., Av. Marquês de Tomar 35, 6º Drt., 1050-153 Lisboa, Portugal.

Sumário

São apresentados dois conceitos de congestionamento, o primeiro relacionado com a engenharia de tráfego rodoviário e o segundo relacionado com a análise económica dos sistemas de transportes. Nesta comunicação adotou-se o segundo, segundo o qual o congestionamento representa um bem ou serviço ‘congestionável’, para o qual o custo marginal social é superior ao custo marginal individual.

A partir da diferenciação dos custos marginais partiu-se para a caracterização do congestionamento enquanto externalidade (e também bem público, em certas circunstâncias) e externalidade de Pareto, apresentando-se sempre a analogia com a poluição atmosférica, ressaltando consequências em termos de formação de custos externos e do princípio do poluidor-pagador.

Por fim analisa-se a aplicação genérica de modelos de congestionamento, nomeadamente a dicotomia entre o equilíbrio do utilizador e o equilíbrio social e as consequências que daí advêm que podem ser avaliadas através do conceito de “eficiência da eficiência”.

Palavras-chave: Congestionamento, Tarifação Rodoviária, Eficiência Económica, Equidade.

1 INTRODUÇÃO

O congestionamento dos sistemas de transportes, nomeadamente do transporte rodoviário em meio urbano, tem sido alvo nas últimas décadas de um intenso estudo, análise e debate, nomeadamente em torno da sua classificação como externalidade e da necessidade, ou não, da sua tarifação em nome eficiência económica e da sustentabilidade social e ambiental. Surgiu mesmo o conceito de ‘tarifação de congestionamento’ como uma nova forma de tarifação rodoviária a aplicar nas zonas urbanas. No entanto, este debate no qual a dita externalidade ‘congestionamento’ tem sido abordada quase de forma semelhante à poluição atmosférica, ao efeito de estufa ou outras externalidades ambientais, tem esquecido que a natureza do congestionamento enquanto externalidade é diferenciada. O congestionamento é considerado uma externalidade unicamente por questões relacionadas com a eficiência económica dos sistemas, sendo por isso designada na literatura científica por *externalidade de Pareto*¹. Pelos mesmos motivos, o princípio do poluidor-pagador ou do utilizador-pagador não se lhe aplica diretamente enquanto externalidade, tal como se aplica às restantes externalidades ambientais, mas somente subsidiariamente, devido aos efeitos indiretos que o congestionamento pode eventualmente gerar ao ampliar as externalidades ambientais.

A presente comunicação começa por identificar os diferentes conceitos de congestionamento (uma vez que existem noções distintas de atrasos/congestionamento e congestionamento/híper-congestionamento entre a abordagem de engenharia e económica). É também efetuada a caracterização fina do efeito ‘congestionamento’ à luz dos conceitos de *externalidade de Pareto* e do princípio do poluidor-pagador, que permitem caracterizar o

¹ Tradução do termo anglo-saxónico “*Pareto-relevant externality*”.

congestionamento como uma ‘externalidade de clube’, que não gera custos externos, mas somente ineficiência económica.

Por fim, apresentam-se as principais conclusões e introduz-se o conceito original de *eficiência da eficiência*, ou seja, da quantificação do sacrifício individual dos utilizadores da rodovia para que a eficiência produtiva do setor melhore.

2 O CONCEITO DE CONGESTIONAMENTO

É importante esclarecer de forma objetiva o que representa o conceito de congestionamento. Quais os significados que a comunidade científica tem atribuído ao termo e quais os impactos que daí podem advir.

Na engenharia de tráfego rodoviário associa-se a qualidade de serviço na utilização das infraestruturas rodoviárias aos conhecidos níveis de serviço, que são quantificados, caso a caso, através de indicadores específicos para cada tipo de infraestrutura (*facility*). Em termos genéricos, o nível de serviço pode ser descrito como um indicador da qualidade das condições operacionais da corrente de tráfego, sendo geralmente medido em termos de velocidade e tempo de viagem, facilidade de circulação, interrupções de tráfego e conforto e conveniência (HCM, pg. 2-2, [1]).

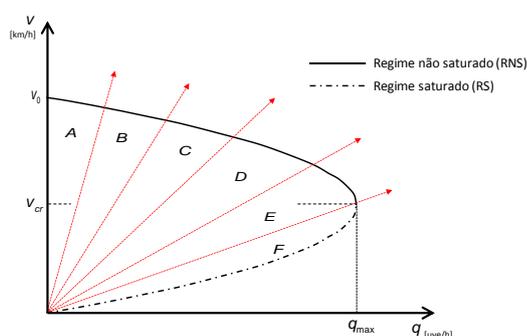


Fig.1. Esquema padrão para a definição de níveis de serviço na infraestrutura rodoviária linear²

No exemplo apresentado, que corresponde a troços extensos de autoestradas e vias rápidas, o indicador (macroscópico) escolhido é a densidade do tráfego³. Este indicador correspondente na figura ao declive dos raios que nascem na origem e que separam os seis quadrantes relativos aos diferentes níveis de serviço (A...F).

Paralelamente, o escoamento do tráfego pode ser caracterizado por dois regimes distintos. O escoamento não saturado – correspondente aos níveis de serviço entre A e E - e o escoamento saturado, classificado no nível de serviço F. A cada nível de serviço corresponde também um conjunto normalizado de condições padrão de circulação, que implicam mais ou menos limitações e condicionantes à velocidade de circulação (para mais detalhes sobre as condições de circulação em autoestradas consultar, por exemplo, o HCM pg. 13-8 a 13-10, [2]).

Na engenharia de tráfego rodoviário é frequente caracterizar como congestionamento o estado saturado de escoamento do tráfego, que corresponde também ao nível de serviço F. Todos os outros níveis de serviço, apesar de implicarem alguns atrasos em relação à situação de circulação com velocidade de fluxo livre (V_0) e mais ou menos limitações à circulação, não são usualmente considerados como situações de escoamento congestionado. A própria legislação rodoviária prevê que o dimensionamento geométrico e regime de funcionamento das vias no seu ano horizonte de funcionamento corresponda aos níveis de serviço B e C, podendo mesmo o dimensionamento

² Este exemplo foi desenvolvido com base no Modelo de Greenshield (1935), que atualmente é usado meramente para fins ilustrativos, mas os pressupostos conceptuais relativos aos níveis de serviço são universais e aplicam-se às curvas velocidade-fluxo presentes em diversos manuais de tráfego, como é por exemplo o caso do conhecido Highway Capacity Manual ([17], pg. 23-4, fig. 23-3)

³ Geralmente medido em unidades de veículos ligeiros equivalentes por quilómetro de via (uve/km/via).

ser efetuado para o nível D, em condições devidamente justificadas (por exemplo, consultar o Artigo 6º - Nível de Serviço do Plano Rodoviário Nacional 2000, [3], para o caso nacional).

Afigura-se que o Estado enquanto regulador rodoviário considera que as infraestruturas rodoviárias devem ser dimensionadas para funcionarem de forma eficaz nos níveis de serviços A, B, C e D, nos quais os utilizadores registam atrasos na sua circulação que são vistos como aceitáveis face aos objetivos gerais da mobilidade das sociedades modernas. Desta forma, ponderando critérios economicistas relativos ao custo de construção de novas infraestruturas versus custos sociais relacionados com a qualidade de circulação dos utilizadores, consegue-se alcançar um certo equilíbrio que tem regido as regras de planeamento e dimensionamento das infraestruturas em muitas das atuais sociedades desenvolvidas.

Os dicionários definem o congestionamento como uma acumulação de tráfego excessiva e anormal. Os engenheiros de tráfego definem o congestionamento como um fenómeno de degradação das condições de circulação que surge quando o volume da procura é superior à capacidade das infraestruturas [4].

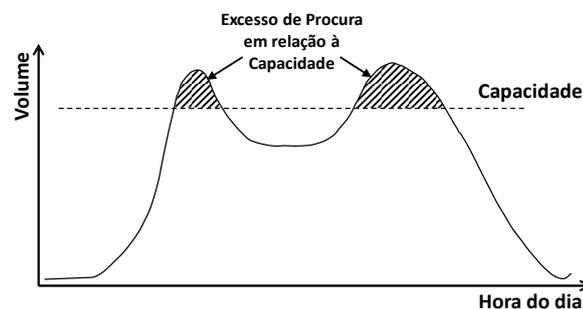


Fig.2. Distribuição típica da procura de viagens. Fonte: [4]

Normalmente, nas redes rodoviárias existem diversos pontos de estrangulamento do tráfego que levam ao surgimento de fenómenos de congestionamento, que durarão enquanto a procura for superior à capacidade e perdurarão ainda mais algum tempo, até o tráfego se normalizar.

No entanto, esta noção de congestionamento não é unânime e a mesma designação é utilizada no enquadramento da economia de transportes, com outro significado e com pressupostos e objetivos distintos, dos quais retemos o objetivo da ‘tarifação do congestionamento’ (*congestion pricing*) como forma de tarifação rodoviária que visa essencialmente a otimização da eficiência económica dos sistemas rodoviários.

Segundo a *definição económica* de congestionamento proposta por Small e Verhoef, ([5], pg. 69), este é um fenómeno que ocorre sempre que a qualidade de serviço de uma infraestrutura depende da intensidade do seu uso. É nitidamente o caso da rodovia nas suas condições de utilização normais (mesmo em nível de serviço A), nas quais a qualidade do serviço depende do tempo de viagem e este por sua vez depende intrinsecamente no número de utilizadores que circulam em simultâneo.

Weimer e Vining ([6], pg. 72 e 76) apresentam uma definição mais generalizada de *bem congestionável*. Afirmam que qualquer bem (ou serviço) enfrenta o fenómeno de congestionamento se o seu custo marginal social de consumo exceder o respetivo custo marginal privado. Ou seja, afirmam que um bem é *congestionável* sempre que o seu consumo por um indivíduo implicar o aumento dos custos dos restantes indivíduos que consomem o mesmo bem, gerando diferenciação entre os custos marginais privados e sociais.

Este é exatamente o caso do tráfego rodoviário. É um ‘bem’, ou melhor, um serviço de mobilidade no qual a entrada de cada novo utilizador vai provocar atrasos em todos os restantes utilizadores. Partindo da exatidão física do fenómeno e da noção de *bem congestionável* apontada pelos autores, pode afirmar-se que a circulação do tráfego rodoviário está sempre sujeita a congestionamento, independentemente do seu nível de serviço. Isto porque a classificação proposta está relacionada com a natureza do fenómeno em si e não com a sua intensidade.

Adicionalmente, estes dois últimos autores caracterizam o tráfego rodoviário como um ‘bem’ com algumas características de bem público⁴ (*public good*). Apesar de tecnicamente o congestionamento entrar também na categoria das externalidades (nas quais como já vimos, o custo marginal social difere do custo marginal privado) estes autores reservam o rótulo de ‘problema de externalidade’ (*externality problem*) para as situações nas quais o impacto sobre terceiros (as vítimas) é originado como um subproduto gerado pela produção ou consumo dos bens⁵. Voltaremos posteriormente ao problema do congestionamento enquanto externalidade.

Desta forma é possível observar os níveis de serviço A a E classificados como situações de congestionamento nos estudos económicos de transportes, o que não acontece no âmbito da engenharia de tráfego rodoviário. Nestes estudos, o nível de serviço F é classificado como um estado de híper-congestionamento ([7], pg. 70 e 71). Apresenta-se no quadro a síntese comparativa das duas abordagens:

Quadro 1. Classificação do escoamento de tráfego

| Regime de Escoamento | Nível de Serviço | Engenharia de Tráfego | Estudos Económicos |
|----------------------|------------------|-----------------------|------------------------|
| Não saturado | A, B, C, D, E | Normal | Congestionamento |
| Saturado | F | Congestionamento | Híper-congestionamento |

Este detalhe pode ter grandes implicações no que é entendido como a otimização da eficiência económica de curto prazo do sistema rodoviário. Isto porque a conhecida ‘tarifação do congestionamento’⁶ é precisamente uma tarifação que pretende incidir sobre a circulação rodoviária em geral (e não somente sobre o NS F), pois nos sistemas de transportes comuns o custo marginal social é naturalmente superior ao custo marginal individual⁷. É conhecido que muitos autores advogam veementemente a eliminação desta diferença entre custos marginais através da aplicação de taxas de congestionamento, eliminando o que na gíria económica é referido como a *externalidade de Pareto*⁸.

No título da comunicação o significado que usámos para a palavra “congestionamento”⁹ está associado ao fenómeno de utilização da rodovia enquanto *bem congestionável* e não somente à análise do regime de escoamento saturado, tal como é definido pela engenharia de tráfego.

3 O CONGESTIONAMENTO ENQUANTO ‘EXTERNALIDADE DE CLUBE’

Segundo Kenneth Button ([8], pg 161) em termos económicos existem externalidades quando as atividades de um grupo (quer sejam consumidores ou produtores) afetam o bem-estar de outro grupo sem que seja feita nenhum pagamento ou compensação. Por isso, neste caso existe uma relação entre agentes diferente da relação clássica que se estabelece entre vendedores e compradores nos mercados livres regulados pelo preço.

Baumol e Oates, os consagrados autores da obra *Teoria da Política Ambiental* ([9], pg 17/18), vão mais longe e advogam que a existência de externalidades deve obedecer a duas condições:

⁴ A noção de ‘bem público’ apresentada por Weimer e Vining não está relacionada com a origem dos fornecedores do bem, que pode ser o Estado ou os mercados privados. Tem antes a ver com a necessidade de intervenção do Estado na afetação dos recursos associados a esses bens, com a finalidade de evitar falhas de mercado.

⁵ “We reserve the label *externality problem* for those situations in which the good conveying the valued impact on non-consenting parties is the by-product of either the production or consumption of some good”, [6], pg. 92. Para uma discussão mais alargada sobre as características dos bens públicos, externalidades e outras falhas de mercado consultar a referência citada.

⁶ Por vezes designada também por ‘tarifação rodoviária urbana’, ou por *congestion pricing* ou *urban road pricing* na gíria anglo-saxónica, de que são exemplos clássicos os casos de Singapura, de várias cidades na Noruega e do centro de Londres, para não citar outros exemplos.

⁷ Esta situação é também conhecida como o “equilíbrio do utilizador”.

⁸ Alcançando desta forma o chamado “equilíbrio social”.

⁹ Este é o significado utilizado internacionalmente na literatura de referência relativa ao *congestion and road pricing* e respetiva otimização, pelo que foi também adotado pelos autores por uma questão de coerência científica.

- A primeira implica que exista uma externalidade sempre que a utilidade ou a função de produção de um indivíduo ou entidade dependam de variáveis reais (i.e., não monetárias) cujos valores são escolhidos ou alterados por terceiros (sejam indivíduos, empresas ou governos) sem terem em conta os efeitos que provocam no bem-estar deste indivíduo ou entidade. Esta condição só é válida na ausência de pressão regulatória e tentativas de regulamentação e controlo da atividade.
- A segunda condição acarreta as situações nas quais o agente cuja atividade afeta a utilidade ou função de produção de outros indivíduos ou entidades não paga (ou recebe, no caso das externalidades positivas) em compensação pela sua atividade um valor igual ao dos custos (benefícios) infligidos a esses terceiros.

Ainda segundo os autores, a aplicação da primeira condição corresponde aproximadamente ao que Buchanan & Stubblebine [10] designaram por *externalidade*, mas a aplicação das duas condições em simultâneo corresponde ao conceito de *externalidade de Pareto*, ou seja, uma externalidade que impede que surjam as condições necessárias para alcançar um equilíbrio *ótimo de Pareto* e a consequente eficiência económica que leva à garantia da maximização do bem-estar social. Por outras palavras, verifica-se aquilo que em economia se designa por *falha de mercado*, a qual pode justificar a intervenção do Estado e dos respetivos reguladores.

Vamos verificar a aplicação dos conceitos anteriores ao transporte rodoviário, fazendo em paralelo a análise do efeito do congestionamento e da poluição atmosférica, assinalando as semelhanças e diferenças entre ambas.

Relativamente à primeira condição que é universalmente enunciada como fundamental para a existência de externalidade, ambos os impactes a verificam. No entanto, existe uma diferença fundamental. É que enquanto a poluição atmosférica afeta o bem-estar de terceiros, as vítimas ou sofrendores dos impactes negativos desta, no caso do congestionamento os indivíduos afetam outros membros do ‘clube’, ou seja, outros motoristas e não exercem a sua ação sobre terceiros externos ao sistema¹⁰.

A perceção de todas as consequências desta condição é fundamental. Pois, se em termos da definição económica de externalidade, é inequívoco que ambos os efeitos são externalidades, se quisermos transpor o foco da análise da otimização da eficiência (através da eliminação da falha de mercado) para a produção dos chamados “custos externos”, aí há uma diferença substancial entre ambos os impactes, que muitas vezes é ignorada.

Enquanto a externalidade “poluição atmosférica” gera custos sobre terceiros que sofrem perdas que podem ser mais tangíveis (como por exemplo o aumento da morbilidade relacionada com algumas doenças ou, por exemplo, a degradação da fachada de um edifício) ou intangíveis (como a perda de qualidade de vida espectável), já a externalidade “congestionamento” não gera qualquer tipo de custos externos, uma vez que os atrasos que cada utilizador inflige nos outros são “mutualizados” entre todos. Na prática cada utilizador “paga” em tempo o que atrasa os outros porque é também atrasado por estes¹¹. Não é uma situação eficiente, mas não existe subsídio cruzada entre ninguém. Ao contrário, no caso da poluição atmosférica existe essa subsídio. As vítimas e os sofrendores vão suportar custos (de minimização de danos ou de reposição de situações) relacionados com a mobilidade dos utilizadores rodoviários, sem terem qualquer possibilidade de escolha.

Rothenberg propõe a diferenciação entre “*pure pollution*” e “*pure congestion*”. Alain Bonnafous vai mais longe e propõe quatro categorias distintas de externalidades nas quais podemos classificar o congestionamento como uma deseconomia externa do tipo *marshalliano* (citados em [8], pg. 163 e 164).

Em síntese, podemos afirmar que a poluição atmosférica é uma externalidade que vem acompanhada pela violação do princípio do poluidor-pagador, enquanto o congestionamento rodoviário não só não viola esse princípio, como

¹⁰ A afirmação é válida desde que não façamos a inclusão direta na análise do congestionamento dos efeitos de segunda ordem relacionados com a eventual ampliação de outras externalidades. Esse efeito deverá ser sempre contabilizado diretamente na conta das externalidades afetadas (por exemplo, o aumento da poluição atmosférica).

¹¹ Esta afirmação pode ser validada de uma forma muito simples através da verificação de que o custo marginal individual do tempo de viagem coincide com o respetivo custo médio. Em termos agregados o custo total, que corresponde ao integral do custo marginal social coincide com o custo total privado. Já no caso da poluição atmosférica tal não se verifica. O custo total social difere do custo total privado e essa diferença corresponde à parcela de custos externos infligidos a terceiros.

não viola também o princípio do consumidor-pagador, uma vez que todos os custos das viagens são suportados diretamente pelos próprios utilizadores¹².

Efetuada a análise em relação à primeira condição proposta por Baumol e Oates, vamos agora analisar as implicações relativas ao cumprimento, ou não, da segunda condição.

Neste caso não há uma grande diferença entre o congestionamento e a poluição atmosférica. Se esta condição não for verificada, então o sistema não está a funcionar economicamente de forma eficiente (e cumulativamente o bem-estar social não é maximizado¹³). Isto quer dizer que o custo marginal social de cada indivíduo é superior ao benefício ou utilidade marginal que recolhe ao utilizar o modo rodoviário. Ou seja, o “próximo” indivíduo a entrar no sistema traz mais custos do que benefícios, diminuindo o bem-estar coletivo.

Esta é a condição associada à existência da chamada *externalidade de Pareto*, que corresponde à parte da externalidade que viola as leis da eficiência económica no valor correspondente à diferença entre custo marginal social e individual, quer da poluição atmosférica, quer do congestionamento (segmento $P=FG$ na figura da direita) e que os apologistas deste tipo de otimização defendem que deve ser regularizada através dos chamados ‘mecanismos de preços’.

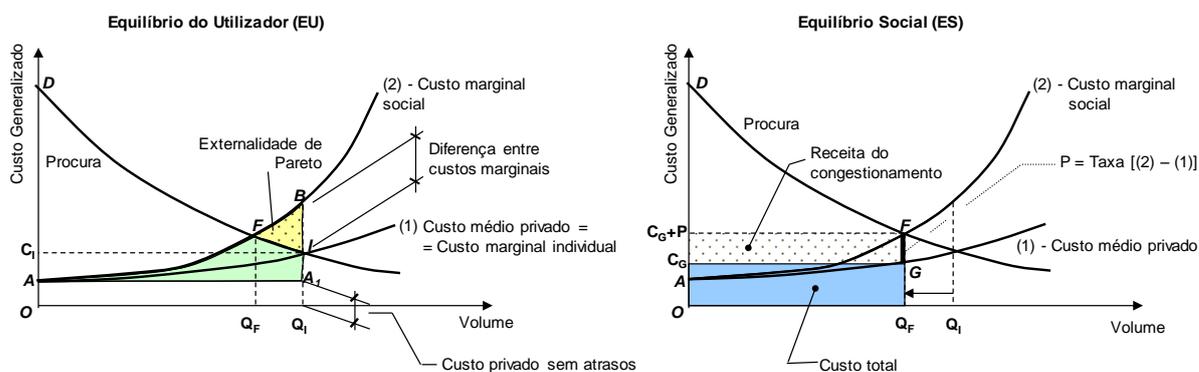


Fig.3. Equilíbrio do utilizador e equilíbrio social - eliminação da *externalidade de Pareto*

Assim, a eliminação da segunda condição de Baumol e Oates implica a passagem dos mercados da situação designada por equilíbrio do utilizador (correspondente à aplicação do 1º princípio de Wardrop, no caso das redes rodoviárias) para o estado de equilíbrio social (2º princípio de Wardrop). Propõem os defensores do paradigma da eficiência económica que essa mudança de ‘estado’ seja feita com base na criação de uma taxa de congestionamento que faz com que o custo marginal individual coincida com o custo marginal social $[(1)+P=(2)]$.

Nesse caso deixa de existir *externalidade de Pareto*, ou seja, falha de mercado. Continua a existir externalidade, segundo a primeira condição de Baumol e Oates (e também Button, caracterizada pela área AFG no diagrama da direita). Para a poluição atmosférica essa externalidade continua a representar um efeito externo sobre as vítimas e sofredores. No entanto, podemos dizer que o princípio do poluidor-pagador é aplicado e as receitas geradas pela taxa $(P \times Q_F)$ ultrapassam sempre o prejuízo causado. Como esta receita é arrecadada pelo Estado e não é distribuída diretamente às vítimas e sofredores, continua a coexistir o mecanismo de subsídio cruzado deste grupo, mas em relação ao Estado. Através da taxa P os utilizadores da rodovia internalizam os danos provocados aos primeiros. No equilíbrio social o efeito físico da externalidade é atenuado (Q_I passa para Q_F) e o Estado é o grande beneficiário

¹² O âmbito desta afirmação está diretamente relacionado com o enquadramento da análise da “tarifação do congestionamento”. Ou seja, estamos-nos a referir ao curto prazo e ao custo do tempo de viagem perdido no congestionamento. São ignorados, por irrelevantes para a análise, questões relacionadas com a recuperação de outros custos, nomeadamente aqueles relacionados com o investimento em infraestruturas rodoviárias.

¹³ Partindo do princípio que se aceita como válida a perspectiva utilitarista de maximização do bem-estar social, o que vamos fazer nesta comunicação, para não tornar a análise demasiado complexa.

através da receita total recolhida, tendo como eventual obrigação promover com essa verba medidas de mitigação e de compensação dos sofredores¹⁴.

Já no caso do congestionamento a situação é diferente, uma vez que o princípio do poluidor-pagador não é aplicável, como já vimos. Portanto, não existem custos externos, continuando todas as taxas geradas em nome da eficiência do sistema a reverter a favor do Estado. A grande diferença neste caso é que as taxas pagas visam alcançar um objetivo pouco perceptível para cada um dos utilizadores. Isto, porque como só estão em jogo objetivos de eficiência, não existe da parte destes a percepção que estão a compensar um eventual dano sobre terceiros; e na realidade não estão, já que o congestionamento só impactua sobre a eficiência do ‘clube’ de utilizadores.

Esta diferença permite colocar a seguinte questão: “será que não pode vir a ser demasiado elevado o preço pago individualmente por cada utilizador para que o sistema alcance a sua eficiência económica?” A introdução do conceito da *eficiência da eficiência*, ou seja, da quantificação da eficiência do sacrifício individual relativamente à eficiência económica que se pretende alcançar, pretende e pode efetivamente responder a esta questão.

No entanto, a resposta à questão anterior implica também a análise de duas incertezas adicionais. A primeira é a de perceber o quanto está cada sistema, no equilíbrio do utilizador, afastado do seu equilíbrio social. A segunda, que eventualmente pode parecer um contrassenso, é a de perceber porque é que, sendo o sistema rodoviário um ‘clube’ fechado, a imposição de uma taxa de congestionamento a todos os seus membros pode levar a um aumento da eficiência do sistema, já que implica também uma efetiva perda de rendimento de todos os mesmos do ‘clube’.

Em relação à primeira incerteza é impossível fornecer uma solução genérica. A resposta terá que ser dada caso a caso, em função das características de cada sistema de transportes e da intensidade do seu uso. No entanto, com base nas evidências que é possível extrair através da análise de situações padrão, podemos afirmar que nos sistemas lineares nos quais o efeito do congestionamento pode ser analisado com recurso às teorias macroscópicas de propagação de fluxos, existe uma grande proximidade entre o equilíbrio do utilizador e social. De forma simplificada, podemos associar a utilização desses modelos aos escoamentos não saturados com níveis de serviço a variar entre A e E. De forma genérica podemos afirmar que nestas situações o nível das taxas de congestionamento a cobrar aos utilizadores requer da parte destes um esforço demasiado elevado face aos benefícios globais alcançados.

No caso dos escoamentos com nível de serviço F em infraestruturas lineares, ou no caso de escoamentos de tráfego em redes e outras infraestruturas que apresentem estrangulamentos, o tipo de modelo de otimização que tem sido aplicado é o conhecido modelo dinâmico de “*bottleneck*”, ou modelo de estrangulamento de tráfego.

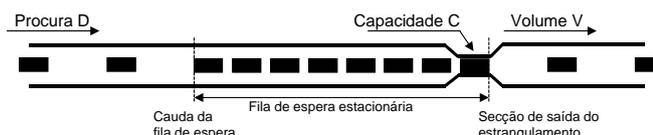


Fig.4. Conceptualização de um estrangulamento de tráfego ($D > C$)

No equilíbrio do utilizador, os custos quantificados por estes modelos são muito elevados, podendo haver ganhos de entre 20% a 30% com a mudança para o equilíbrio social. No entanto, a função de custos sociais que estes modelos apresentam é diferente da apresentada pelos modelos tradicionais de fluxos (ver figura 3). A sua função de custos inclui um custo de antecipação ou atraso da hora de chegada às atividades desenvolvidas. Ou seja, os custos não estão focados diretamente no sistema de transportes, extravasando o mesmo. A partir do momento que um modelo de análise de bem-estar social sectorial no âmbito dos transportes passa a incorporar alguns custos (de chegar cedo ou tarde às atividades) exteriores ao seu foco principal, torna-se difícil fazer uma avaliação genérica das suas características. Apesar de estes modelos já serem conhecidos e aplicados desde os trabalhos pioneiros de

¹⁴ Em [9] são apresentados argumentos esgrimidos por diversos autores acerca da necessidade de não compensação das vítimas e dos sofredores. O argumento defendido é o de que ao ser compensado este grupo não adotará os comportamentos adequados à promoção da eficiência económica, uma vez que os indivíduos sabem que serão sempre compensados. Este tipo de argumento tem alguma lógica em teoria e mesmo alguma validade em situações limite, mas na maior parte das situações será encarado como injusto e socialmente inaceitável.

Vickrey na década de 60 do século XX [11], os resultados que propiciam estão encerrados em princípios de análise que de alguma maneira podem ser considerados ‘circulares’. Ou seja, as funções de custos sociais a otimizar não estão confinadas ao setor dos transportes (o tempo de viagem em si), mas apesar de extravasarem os transportes, estão confinadas somente à quantificação dos custos dos atrasos e antecipações da hora de chegada às atividades¹⁵, não sendo efetuado mais qualquer tipo de avaliação de custos relativo a essas mesmas atividades ou às cadeias de atividades dos utilizadores.

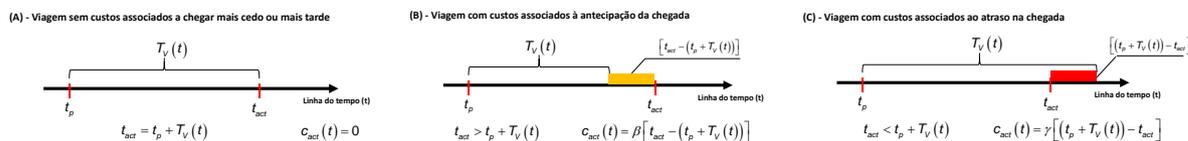


Fig.5. Conceptualização dos vários custos considerados nos modelos “bottleneck”

Este tema carece de um aprofundado estudo, nomeadamente na parte da validação do modelo de definição dos custos sociais não estocásticos da cadeia de atividades associada às viagens:

$$C_{Tot}(t) = c_T(t) + c_{act}(t) = const = \begin{cases} \alpha\Delta T(t) + \beta[\tilde{t} - (t + \Delta T(t))] & \text{se } t + \Delta T(t) < \tilde{t} < \text{=> indivíduo chega antes do tempo (B na fig.);} \\ \alpha\Delta T(t) & \text{se } t + \Delta T(t) = \tilde{t} < \text{=> indivíduo chega a horas (A na fig.);} \\ \alpha\Delta T(t) + \gamma[(t + \Delta T(t)) - \tilde{t}] & \text{se } t + \Delta T(t) > \tilde{t} < \text{=> indivíduo chega atrasado (C na fig.)} \end{cases} \quad (1)$$

Sai fora do âmbito desta comunicação uma análise detalhada dos modelos dinâmicos do tipo “bottleneck”, o que poderá ser feito consultando as referências fundamentais [12], [13] e [14].

Em relação à segunda incerteza, pode parecer um contrassenso que o sistema rodoviário, sendo um ‘clube’ circunscrito, veja com muito pouca aceitabilidade o aumento da eficiência social do sistema através da imposição de uma taxa de congestionamento a todos os seus membros. Isto porque seria suposto que o pagamento da taxa fosse compensado com benefícios globais para todos, uma vez que o sistema alcança o seu ponto ótimo de funcionamento (pelo menos se considerássemos a situação académica de aplicação das chamadas taxas “1st best”; o que acontece na prática é a aplicação de taxas designadas como ‘2nd best’, substitutas possíveis das primeiras, que, em princípio, permitem uma aproximação ao equilíbrio social).

Na realidade, a análise de tal problema é muito mais complexa do que pode parecer à primeira vista. Senão vejamos: apesar de a teoria económica do “congestion pricing” ter sido desenvolvida há mais de cinco décadas e ter tido como precursores Pigou [15] há quase 100 anos e muitos outros pensadores, o facto é que ainda hoje a sua aceitabilidade é muito reduzida e os seus princípios são muito contestados e pouco entendidos por muitos.

Apontamos alguns potenciais motivos que concorrem para essa situação e carecem de aprofundamento:

- Na análise da tarifação do congestionamento as taxas pagas pelos utilizadores não entram para a função de bem-estar social por isso mesmo, porque pertencem à categoria de impostos e outras transferências para o Estado e não representam um custo de recursos. Logo, o pagamento dessas taxas não interfere diretamente na análise e na variação do bem-estar social, apesar de na prática interferir no bem-estar dos indivíduos e das famílias que as pagam;
- A redistribuição de recursos (o pagamento das taxas) prevista na economia do bem-estar social (desenvolvida segundo a teoria utilitarista) visa somente o aumento da eficiência económica – a chamada eficiência produtiva e distributiva. A componente de análise de equidade e justiça social não é geralmente relevada, nem sequer abordada;

¹⁵ Nestes modelos, esses custos dos atrasos ou antecipação da hora de chegada aos locais de realização das atividades não são quantificados devido a efeitos imprevisíveis (ou estocásticos) da variabilidade do tráfego, como por exemplo, devido à existência de um acidente, de obras na via, etc. Os custos geralmente são considerados para situações determinísticas, não tendo eventualmente em conta a possibilidade de adaptação das horas de viagem que os utilizadores podem fazer quando estruturam as suas deslocações, desde que o façam em cenários previsíveis.

- Mesmo aceitando uma economia do bem-um social enquadrada em preceitos utilitarista, verifica-se que as análises que são efetuadas são parciais ou sectoriais, não garantindo a aplicação do mesmo tipo de princípios “eficientes” aos vários sectores da sociedade e à regulação da competição entre estes;
- Ou seja, na implementação prática dos esquemas de tarifação do congestionamento não é possível verificar com facilidade que as taxas recolhidas do setor rodoviário vão ter uma utilização mais eficiente enquanto recursos da sociedade nos fins a que vão ser destinadas pelo Estado. A começar pelo facto de cerca de 20% a 30% das receitas serem consumidas pelo próprio sistema de tarifação como custos de implementação e manutenção. Das restantes receitas também não há certeza de que o destino das mesmas gere maior riqueza social do que aquela que seria gerada se esses valores não tivessem sido cobrados como taxas e tivessem sido utilizados pelas famílias e empresas, respetivamente no desenvolvimento do seu bem-estar ou do seu lucro;
- Para validar a eficiência global do bem-estar social, mesmo em termos utilitaristas, terão que ser efetuadas análises globais, ou pelo menos multisectoriais que garantam a validação intersectorial dessa mesma eficiência;

Paralelamente, muitos autores colocam em causa que a maximização do bem-estar social possa ser obtida somente por uma operação aritmética simples de soma absoluta, ignorando por completo questões como a equidade e a justiça social [16].

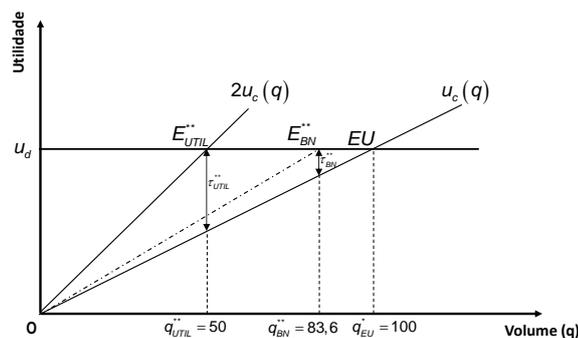


Fig.6. Exemplo de simulação de uma rodovia sujeita a um equilíbrio social baseado na métrica de bem-estar social utilitarista (E_{UTIL}^{}) ou de Bernoulli-Nash (E_{BN}^{**})**

O bem-estar social pode ser maximizado recorrendo a métricas não utilitaristas, como por exemplo a métrica de Bernoulli-Nash, ou outras, que sejam mais inclusivas e que garantam a otimização dos sistemas, mantendo à mesma eficiência económica, mas garantindo simultaneamente equidade. Na figura apresenta-se um exemplo simplificado, representando os vários tipos de equilíbrio aplicados a uma via com velocidade (e custo generalizado, ou utilidade) constantes e a sua comparação com o equilíbrio do utilizador.

4 CONCLUSÕES

Foram apresentados dois conceitos de congestionamento, o primeiro relacionado com a engenharia de tráfego rodoviário e o segundo relacionado com a análise económica dos sistemas de transportes. Foi também enfatizada a relação entre ambos. Pelas razões explicadas adotou-se o conceito de congestionamento com sentido lato, ou seja, representando um bem ou serviço ‘congestionável’, para o qual o custo marginal individual é inferior ao custo marginal social.

A partir da diferenciação dos custos marginais partiu-se para a caracterização do congestionamento enquanto externalidade (e também bem público, em certas circunstâncias) e *externalidade de Pareto*, apresentando-se a analogia com a poluição atmosférica, ressaltando sempre quais as consequências que ambas as externalidades implicam em termos de formação de custos externos e da aplicação do princípio do poluidor-pagador. Por fim efetuou-se uma análise crítica à aplicação genérica de modelos de análise de congestionamento, nomeadamente em relação à dicotomia entre o equilíbrio do utilizador e o equilíbrio social e as consequências que daí advêm.

Face às constatações descritas propõe-se a aplicação futura do conceito de “*eficiência da eficiência*”, que permitirá avaliar qual o sacrifício individual que cada utilizador terá que suportar para o sistema de transporte alcançar a eficiência económica. O conceito é muito simples: “quantos euros terá cada utilizador que pagar em taxas para se alcançar 1 euro de redução do custo global do sistema, ou para alcançar 1 euro de excedente social do sistema?”. As análises preliminares efetuadas com infraestruturas lineares não saturadas demonstram que esse valor é geralmente superior à unidade e por vezes bastante elevado. Talvez isso ajude a explicar a grande falta de aceitabilidade e da perceção da inexistência de benefícios com a aplicação do chamado ‘*road pricing*’, baseado na eficiência económica de curto prazo.

Conclui-se pela necessidade urgente de alargar o debate científico relativo às condições de otimização dos sistemas rodoviários e de transportes em geral, nomeadamente quanto à necessidade de investigação de novas abordagens de otimização social para o setor, mais amplas e mais justa.

5 REFERÊNCIAS

- [1] TRB, “2. CAPACITY AND LEVEL-OF-SERVICE CONCEPTS,” in *Highway Capacity Manual 2000*, Transportation Research Board, 2000.
- [2] TRB, “13. Freeway Concepts Contents,” in *Highway Capacity Manual 2000*, Transportation Research Board, 2000.
- [3] “Decreto-Lei nº222/98 de 17 de Julho do Ministério do Equipamento, do Planeamento e da Administração do Território, PRN 2000.” *Diário da República: I Série-A*, Nº 163, pp. 3444–3454, 1998.
- [4] P. R. Stopher, “Reducing road congestion: a reality check,” *Transp. Policy*, vol. 11, no. 2, pp. 117–131, Apr. 2004.
- [5] K. A. Small and E. T. Verhoef, *The Economics of Urban Transportation*. Routledge, 2007.
- [6] D. L. Weimer and A. Vining, “5. Rationales for Public Policy: Market Failures,” in *Policy Analysis: Concepts and Practice (4th Ed.)*, 4th ed., Taylor & Francis, 2010, p. 42.
- [7] M. Fosgerau and K. A. Small, “Hypercongestion in downtown metropolis,” *J. Urban Econ.*, vol. 76, pp. 122–134, Jul. 2013.
- [8] K. Button, *Transport Economics*, 3rd Editio. Edward Elgar Publishing, 2010.
- [9] W. J. Baumol and W. E. Oates, *The theory of environmental policy*, Second Edi. Cambridge University Press, 1988.
- [10] J. M. Buchanan and W. C. Stubblebine, “Externality,” *Economica*, vol. 29, no. 116, pp. 371–384, 1962.
- [11] W. S. Vickrey, “Congestion Theory and Transport Investment,” *Am. Econ. Rev.*, vol. 59, no. 2, pp. 251–260, May 1969.
- [12] R. Arnott, A. de Palma, and R. Lindsey, “Economics of a bottleneck,” *J. Urban Econ.*, vol. 27, no. 1, pp. 111–130, Jan. 1990.
- [13] Small and Kenneth, “The Scheduling of Consumer Activities: Work Trips,” *Am. Econ. Rev.*, vol. 72, no. 3, pp. 467–479, 1982.
- [14] C.-H. Lai, “Queueing at a bottleneck with single- and multi-step tolls,” *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, vol. 28, no. 3, pp. 197–208, May 1994.
- [15] A. C. Pigou, *The economics of welfare*. London: Macmillan, 1920.
- [16] A. Sen, “The Possibility of Social Choice,” vol. 89, no. 3, pp. 349–378, 2007.
- [17] TRB, “23. BASIC FREEWAY SEGMENTS,” in *Highway Capacity Manual 2000*, Transportation Research Board, 2000.