A PROCURA E A EFICIÊNCIA E NOS TRANSPOR

Recordando que as políticas de transportes têm de perseguir objectivos mais vastos que o aumento da eficiência energética, expõem-se os conceitos básicos e fornecem-se exemplos de boas práticas no que respeita à procura de mobilidade e à gestão dos fluxos e comportamento dos condutores e veículos nesses fluxos, mostrando a multiplicidade de frentes em que é possível actuar para haver sucesso. Apresenta-se o conceito recente de *Vehicle-to-Grid*, no qual os veículos de transporte individual deixam de ser apenas consumidores de energia, passando também a ter um papel de fornecedores à rede eléctrica, sobretudo em situações de pico de procura ou de perturbação no fornecimento de base.

JOSÉ MANUEL VIEGAS e FILIPE MOURA
Instituto Superior Técnico
Centro de Sistemas Urbanos e Regionais,
1049-001 Lisboa

viegas@ist.utl.pt
fmoura@ist.utl.pt

Para além da eficiência energética, a política de transportes não pode deixar de atender a outros objectivos: a eficiência económica do sistema de transportes, a equidade e coesão social e a sustentabilidade ambiental são pilares essenciais dessa política.

A eficiência económica é fundamental quer do lado da produção dos serviços de transportes quer do lado dos consumidores. Nesta vertente, os ganhos internos ao sistema de transportes repercutem-se em ganhos de eficiência das actividades económicas e sociais em geral.

Por outro lado, o Estado deve atender às necessidades de equidade e coesão social do território nacional, garantindo níveis de cobertura de território no desenho da rede e dos horários dos sistemas de transportes, assim como as obrigações de serviço público nos transportes públicos (nomeadamente no que respeita à regularidade, à capacidade e às tarifas acessíveis destes serviços).

Também é obrigação do Estado criar as regras e estímulos que conduzam à minimização dos impactes ambientais decorrentes da actividade transportadora, contribuindo assim para a sustentabilidade ambiental do país.

O atendimento dos objectivos em qualquer destas outras dimensões não é obrigatoriamente contrário à procura da eficiência energética, antes deve ser integrado nela.

NERGÉTICA
RTES

Existem várias frentes de ganho de eficiência nos transportes: através da tecnologia, da gestão da procura, dos fluxos e dos comportamentos dos condutores.

Estando as intervenções sobre as tecnologias da oferta tratadas noutro artigo desta revista[1], o presente artigo foca as restantes frentes, através das quais se pretende, por um lado, influenciar as escolhas de mobilidade de pessoas e mercadorias e, por outro, modificar os comportamentos dos condutores para tirar melhor partido dos recursos sem modificar os padrões de mobilidade. São apresentados alguns exemplos de boas práticas em cada uma das secções.

Por fim, é ainda apresentado o conceito de "veículo-para-a-rede" (do inglês *vehicle-to-grid* – V2G) através do qual o sistema de transportes aparece não só do lado dos consumidores de energia, mas também na distribuição descentralizada de energia como parceiro do sector energético. Essa mudança do papel dos veículos no sistema energético poderá mudar a abordagem ao problema da eficiência energética do sistema de transportes.

INTERVENÇÃO SOBRE A PROCURA DE TRANSPORTES

Existem, essencialmente, quatro famílias de instrumentos de intervenção sobre o sistema de transportes: preços, regulamentos, informação e usos de solo. Perante sistemas complexos, as intervenções mais eficazes são as que recorrem conjuntamente a vários instrumentos (Vieira, 2005). Acresce ainda que a consideração dos outros objectivos citados obriga frequentemente a intervenções mais complexas. Nas próximas subsecções são apresentados exemplos de aplicação destes instrumentos para diversos objectivos operacionais: transferência modal, ocupação dos veículos, redistribuição dos tempos da mobilidade, redução/substituição da mobilidade e gestão dos fluxos e dos comportamentos.

Transferência modal

Pretende-se com a transferência modal que as pessoas e as empresas optem pelo modo de transporte mais eficiente para cada deslocação ou cadeia de deslocações, usando vários instrumentos, nomeadamente mecanismos de preço, regulamentos e informação explícita (ou implícita) para os utentes.

Uma das formas utilizadas no domínio dos preços é a internalização dos custos externos nos preços finais para o utente. Pretende-se que o preço reflicta a totalidade dos custos ocasionados por cada modo, atenuando esta falha de mercado que distorce as condições de concorrência entre os vários modos. Na Suíça, Alemanha e Áustria, foram adoptadas portagens sobre camiões que utilizam as auto-estradas (todas as estradas no caso da Suíça). No entanto, esta medida parece não estar para já a induzir transferência modal mas apenas uma melhor ocupação dos camiões [2].

Outra possibilidade é a adopção de preços que reflictam a escassez dos recursos, nomeadamente em situações de congestionamento urbano onde o recurso escasso é o espaço. A portagem urbana foi introduzida em Singapura, em três cidades norueguesas e posteriormente em Londres (Fig. 1). Define-se nestes casos um cordão envolvendo o núcleo da cidade, no interior do qual os condutores devem pagar o direito de circulação. Em Singapura, existe uma diferenciação do preço pago consoante a hora de entrada no sistema.

A transferência modal pode ainda ser atingida através de regulamentos de racionamento limitativo. Neste caso, definem-se quotas de utilização do sistema, podendo as regras de atribuição dessas quotas premiar os utentes mais eficientes do ponto de vista energético. Na passagem rodoviária do Brenner (Áustria) foi definido um sistema de "ecopontos", com um montante fixo disponível diariamente. A atribuição de "ecopontos" a cada veículo pesado é efectuada com base na tecnologia do veículo: quanto mais eficiente, menor é a quantidade de "ecopontos" a adquirir por cada passagem [3]. Existem outros sistemas regula-

Fig. 1 - Área central de Londres sujeita ao pagamento de portagem urbana.

mentares como por exemplo em Atenas e várias cidades brasileiras (São Paulo, Belo Horizonte) onde se condiciona a circulação de veículos particulares a determinados dias da semana consoante a matrícula do mesmo [4]. Esta solução perde eficácia após alguns anos pois os utentes não abatem os veículos antigos quando renovam a sua frota particular, adquirindo um veículo com uma matrícula complementar.

Por fim, as transferências modais podem ser ajudadas disponibilizando informação sobre as ofertas de outros modos, mostrando o seu desempenho comparativo e facilitando a sua utilização eficiente: na aproximação aos nós de ligação das auto-estradas a várias cidades alemãs, existem painéis de informação sobre tempos de viagem em transporte colectivo (TC) e em transporte individual (TI) desde os *Park&Ride*[2] até ao centro da cidade.

Deve salientar-se que para conseguir algum sucesso na transferência modal é preciso que o modo "receptor" tenha um desempenho satisfatório o que pode implicar a segmentação e especialização da oferta desse modo receptor.

Por outro lado, face à clara dominância do modo rodoviário, frequentemente o transporte individual, e à variedade de circunstâncias em que se processam as escolhas das pessoas, não faz sentido pressionar para a transferência modal permanente, mas sim para a alternância modal, isto é, em cada dia, a opção entre os modos individual ou colectivo depende da complexidade da agenda diária.

A alternância modal que pretenda uma combinação flexível entre todos os modos e ao longo do tempo implica uma modificação dos regimes tarifários do TC, por exemplo substituindo o passe para uso todos os dias dum mês por um passe de vários dias de utilização não necessariamente consecutivos. O conceito pode ser reforçado pela adopção de títulos unificados para a tarifação da mobilidade nos dois modos, ou seja, para o transporte em TC e estacionamento em TI.

Pode ainda conseguir-se uma transferência das deslocações em transporte individual para o transporte colectivo e a marcha a pé através de um ordenamento do território que concentre funções urbanas em locais muito próximos, permitindo a deslocação a pé nesses locais e em TC entre eles.

Este tipo de efeito é conhecido de todos, por ser o que ocorre dentro dos grandes centros comerciais. Mas pode ser procurado a escalas mais amplas, desde logo com conceitos como o de *Transit Oriented Development* [5,6] ou de Densificação Selectiva [7], para além da sua concretização sistemática através dos Planos de Mobilidade de Bairros [8].

Ocupação dos veículos

A eficiência energética também pode ser melhorada com o aumento da taxa de ocupação dos veículos, reduzindo o número total de veículos em circulação para o mesmo nível de mobilidade.

As portagens atrás referidas sobre camiões na Suíça, na Áustria e na Alemanha são suficientemente elevadas para influir na competitividade das empresas, pois ao incidirem sobre a capacidade do veículo (não sobre a sua ocupação em cada momento), forçaram os transportadores a melhorar a sua organização para poder transportar as mesmas toneladas com menos viagens.

A regulamentação também pode induzir aumentos nas taxas de ocupação de veículos de passageiros, por exemplo, dando direito de acesso a corredores de TC (BUS), ou reduzindo (ou mesmo isentando) as portagens para veículos ligeiros com ocupação elevada (Fig. 2).

Pode ainda recorrer-se a modelos organizacionais no sentido de aumentar as taxas de ocupação dos veículos privados, através de esquemas de *car-pooling*, em que um conjunto de pessoas que residem e trabalham em locais próximos e possuem viatura própria, se organizam no sentido de agruparem as viagens pendulares "casa-trabalho" na viatura de um dos participantes, de forma rotativa. Nos moldes tradicionais, este conceito tem-se revelado frágil face à variedade e imprevisibilidade das agendas individuais. Correia e Viegas [9] estão a investigar uma extensão do conceito a um clube de *pools* que daria a possibilidade de transferência duma pessoa que muda o seu horário num dado dia do seu *pool* habitual para outro *pool* do mesmo clube.

Fig. 2 - Faixa exclusiva para veículos com ocupação elevada (Califórnia).

Redistribuição dos tempos da mobilidade

Outra forma de ganhar eficiência energética consiste na deslocação dos veículos em regimes fluidos e a velocidades estáveis, através da melhor distribuição temporal das viagens.

Os mecanismos de preço também têm sido utilizados neste sentido:

- Preços diferenciados consoante o horário de uso da viatura particular, como nas portagens ao domingo à tarde a norte de Paris, e as tarifas de TC variáveis em hora de ponta (mais elevadas) e fora de ponta (mais baixas), em Santiago do Chile ou em Washington;

- Definição de preços variáveis consoante o nível de congestionamento, como por exemplo em algumas auto-estradas nas regiões de San Diego e Toronto, com actualização em tempo real, e disponibilização da informação previamente (*Web*) e no momento da escolha do percurso.

Também o racionamento limitativo pode constituir uma alternativa para a redistribuição dos tráfegos ao longo do dia. No essencial, trata-se de definir níveis máximos de utilização em sistemas de capacidade finita, pela obrigação de reserva prévia. Este sistema, usado desde sempre na aviação [10], pode ser facilmente aplicado em secções críticas da rede viária interurbana, como por exemplo em túneis e pontes, entre outros, e ser complementado por um esquema de preços variáveis consoante a procura dos vários períodos (*yield management ou revenue management*).

Redução e substituição da mobilidade

A substituição de viagens por serviços mais eficientes é promovida pela "mobilidade virtual" recorrendo às tecnologias de informação, nomeadamente à *Internet*. Esta mobilidade virtual pode ser eficaz sobretudo para (algum) trabalho, compras, (alguma) cultura e lazer. No entanto, pode gerar mobilidade de substituição (no caso das compras) ou mesmo em acréscimo face à libertação de tempo, nomeadamente gerando pendulações mais longas na procura de outras oportunidades de trabalho anteriormente inacessíveis, ou mesmo mais projectos que passam a ser comportáveis por via dos ganhos de tempo.

GESTÃO DOS FLUXOS E DOS COMPORTAMENTOS

Nesta secção são apresentados alguns exemplos de medidas que também pretendem promover o melhor desempenho das viaturas através da gestão dos fluxos de tráfego e do comportamento dos condutores.

Maior homogeneidade no tráfego

A maior homogeneidade da corrente de tráfego promove a maior eficiência energética, reduzindo o número global de acelerações e desacelerações. Consoante os subsistemas de transportes as soluções variam:

- Segregação do tráfego rodoviário por pistas em função das características dinâmicas dos veículos;

- Vias de comboios rápidos e de comboios lentos (por exemplo, separação dos serviços suburbanos e interurbanos);

- Proibições de acesso de pesados em alguns troços de estrada com maior nível de saturação.

Adicionalmente, o treino de condução "suave" induz uma maior homogeneização das correntes de tráfego, reforçando o ganho de eficiência gerado no próprio veículo.

Ramp metering

O conceito de *ramp metering* visa reduzir a perturbação da corrente de tráfego nas auto-estradas pelas rampas de acesso. Já em utilização há vários anos em França, no Japão e nos EUA, são instalados semáforos nas rampas de

acesso a auto-estradas com fortes cargas de tráfego [11]. Os semáforos abrem o verde para um carro de cada vez quando os sensores detectam folga na corrente de tráfego da pista da direita (soluções inteligentes) ou, nas soluções semi-inteligentes, a intervalos regulares em função da carga de tráfego medida na pista da direita da auto-estrada.

Corredor *BUS* intermitente (CBI)

O corredor *BUS* permanente só deve ser atribuído quando nessa pista possam ser servidas mais pessoas em TC do que em TI, o que corresponde a pelo menos 20 autocarros *standard* por hora. Com a introdução do conceito de corredor *BUS* intermitente, a pista de circulação alterna o seu estatuto, ficando reservada para os autocarros apenas quando estes se aproximam, dando-lhes condições de circulação idênticas às de um corredor *BUS* permanente [12]. Depois, essa pista regressa ao estatuto banalizado até à aproximação do próximo autocarro. Este conceito está em fase de projecto de demonstração na Alameda Universitária em Lisboa, desde Setembro de 2005 (Fig. 3).

Fig. 3 - Implementação do CBI na Alameda Universitária em Lisboa.

COMPLEMENTARIDADE POTENCIAL ENTRE OS TRANSPORTES E OS SISTEMAS ENERGÉTICOS

Nesta secção é apresentado o conceito de V2G, que consiste na transformação dos veículos em "micro-geradores dispersos", quando as viaturas estão estacionadas.

Conceito de V2G

Na base do conceito de V2G está a constatação de que os automóveis estão parados 93 a 96% do tempo, gerando apenas custos (por exemplo, amortizações, seguros, custo com estacionamento, entre outros), quando poderiam gerar valor acrescentado. Por outro lado, num cenário futuro de larga disseminação de veículos com propulsão eléctrica (VPE), a autonomia típica destes veículos ronda os 150-200 km mas a distância média diária percorrida por cada veículo é aproximadamente 32 km, o que permite afirmar que haverá uma parte significativa de energia acumulada nos VPE, útil para outras funções além da mobilidade.

Os VPE podem ser veículos totalmente eléctricos (motor eléctrico), híbridos (combinação de motor eléctrico e com outra forma de propulsão - actualmente o motor de combustão interna) ou a pilhas de combustível (motor eléctrico alimentado a partir de hidrogénio). Nos EUA, estima-se que a potência total instalada na frota automóvel seja quatro vezes superior à potência total de geração instalada nos sistemas energéticos tradicionais, admitindo um parque automóvel totalmente constituído por VPE.

A Fig. 4 apresenta o diagrama ilustrativo do sistema de geração de energia V2G proposto por Kempton e Tomić [13]. Do lado esquerdo do diagrama, as fontes primárias geram energia eléctrica, conduzida pela rede até ao mercado de retalho. As setas duplas representam a possibilidade de haver um fluxo reversível de energia de, e para, os VPE. Na primeira situação, a energia flui dos geradores de energia para as baterias dos VPE, ou outros consumidores finais. Na segunda, os VPE assumem a função de "micro-geradores" e a energia flui dos veículos para a rede eléctrica.

Para o funcionamento deste sistema basta que exista ligação do veículo à rede eléctrica e uma forma de comunicação entre o veículo e o operador da rede que lhe contratará o serviço de fornecimento de electricidade. Esta função pode ocorrer, quer de noite, quer durante o dia, quando os veículos estão parados.

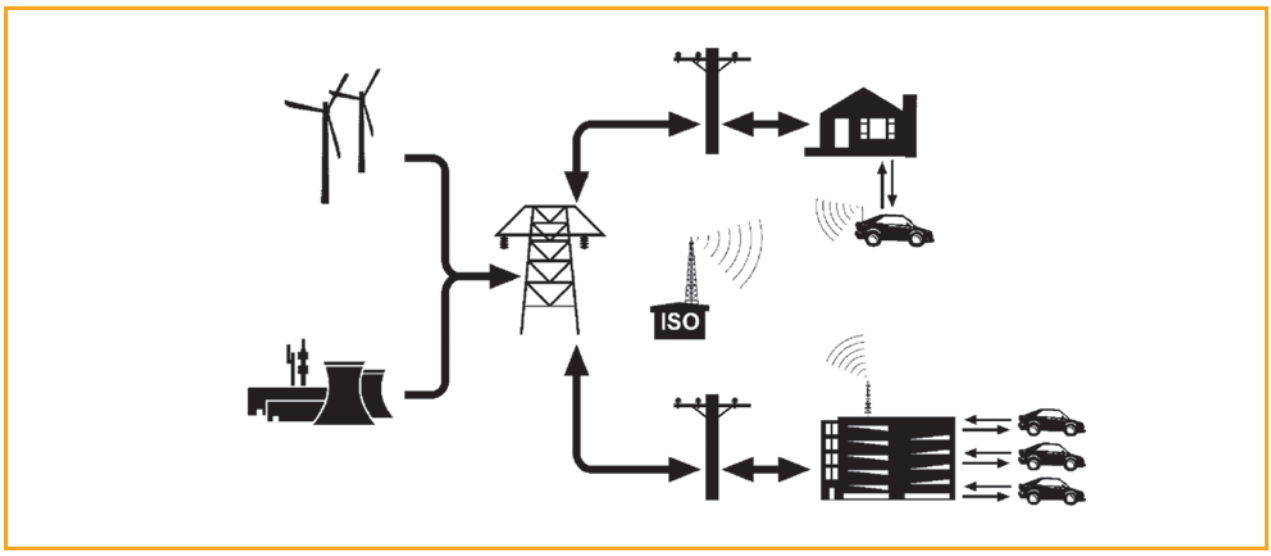

Fig. 4 - Diagrama ilustrativo do sistema de geração de energia V2G [13].

Potencialidade

Diversos estudos [13-15] demonstraram que o sistema V2G pode ser rentável para o proprietário do veículo (isto é, na perspectiva do consumidor e sem contabilizar os custos de oportunidade), podendo os custos acrescidos de preparar o veículo para fornecer energia à rede eléctrica ser inferiores aos benefícios obtidos através da venda dessa electricidade à rede, para determinados mercados de energia, por exemplo os serviços de despacho da rede (através dos quais se procede à regularização contínua da frequência e da tensão da corrente eléctrica), horas de pico de procura e compensação de falhas de geração (recorrendo às reservas girantes). Se um VPE carregar a bateria em períodos de vazio, quando o preço do kWh é mais baixo, pode vender a electricidade a preços mais elevados, nos mercados acima referidos.

O V2G pode ser mais competitivo nestes mercados quando comparado com os sistemas vigentes (analisando os sistemas alternativos através dos seus custos económicos), nomeadamente as centrais a carvão ou as turbinas a gás, o que já não se verifica no mercado de fornecimento contínuo de electricidade [16]. A competitividade do V2G depende fortemente dos custos de capital dos VPE e das respectivas infra-estruturas de transportes de combustível e abastecimento [16], nomeadamente no que se refere aos veículos com pilhas de combustível e aos veículos totalmente eléctricos (devido aos custos ainda elevados das baterias).

CONCLUSÕES

A busca da eficiência energética tem várias frentes, havendo múltiplos instrumentos de gestão da procura e dos fluxos de transportes com potencial significativo de ganhos de eficiência, complementando os ganhos conseguidos do lado da oferta.

A eficácia dos instrumentos de gestão da procura e dos fluxos de transportes pode ser aumentada conjugando medidas, o que se torna desejável quando se pretende atender a vários objectivos políticos para além da eficiência energética. No entanto, as intervenções que pretendem mudar os comportamentos são sempre susceptíveis de encontrar resistência popular, porque envolvem muitas escolhas estruturais (locais de residência e trabalho) e os comportamentos foram adaptados ao sistema de transportes que conheciam até às decisões finais (isto é, anteriores às eventuais intervenções).

Face à multiplicidade de objectivos a perseguir, o que mais tem faltado é uma política coerente e estável de transportes, definindo orientações estratégicas e intervenções conjugadas dos vários agentes. Isso permitiria aos clientes do sistema de transportes definir as suas estratégias de mobilidade com base num melhor conhecimento de como este sistema irá evoluir.

Finalmente, ao abordar o binómio transportes/energia, a preocupação tem sido a de minimizar o consumo de energia pelos transportes. Poderemos assistir a uma nova realidade em que o sistema de transportes possa contribuir para a eficiência do sistema de energia, não só reduzindo a intensidade do seu consumo, mas também servindo como gerador complementar de energia (nomeadamente contribuindo para a descentralização da geração de energia). Por outro lado, o efeito indirecto do V2G seria a difusão mais rápida dos VPE, mais eficientes do ponto de vista energético (e ambiental), pelo facto de poderem gerar energia quando parados.

REFERÊNCIAS

[1] Vieira, J., "Aplicação de instrumentos com objectivos ambientais no sector dos transportes: da intervenção regulamentar à multi-instrumentalidade", *DeCivil-IST*, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2005.

[2] Suter, S. and Walter, F., "Environmental Pricing: Theory and Practice - The Swiss Policy of Heavy Vehicle Taxation", *Journal of Transport Economics and Policy* **35**, 381-397 (2001).

[3] Giorgi, L. and Schmidt, M., "Transalpine Transport: A Local Problem in Search of European Solutions or a European Problem in Search of Local Solutions?", *Transport Reviews* **25**, 201-219 (2005).

[4] Litman, T., *Mobility Management and Sustainable Transport: A Sourcebook for Policy-makers in Developing Cities*, Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ), Eschborn, 2002, p. 44.

[5] Cervero, R., "Planned Communities, Self-containment and Commuting: A Cross-national Perspective", *Urban Studies*, **32**, 1135-1161 (1995).

[6] Cervero, R. and Radisch, C., "Travel Choices in Pedestrian Versus Automobile Oriented Neighbourhoods", *Transport Policy*, **3**, 127-141 (1996).

[7] *Lisboa: o desafio da mobilidade*, Câmara Municipal de Lisboa (Ed.), Lisboa, 2005, p. 291.

[8] Correia, G. and Viegas, J. M., "A framework for future development of neighbourhood mobility plans in Portugal" (working paper), *CESUR*, Instituto Superior Técnico, 2005.

[9] Correia, G. and Viegas, J. M., "Car Pooling Clubs: Solution for the affiliation problem in traditional/dynamic ridesharing systems", *Proceedings of the 10th Jubilee Meeting of the EURO Working Group on Transportation: "Advanced OR and AI Methods in Transportation"*, Poznan (Poland), 2005, pp 493-498.

[10] Belobaba, P. P. and Wilson, J. L., "Impacts of yield management in competitive airline markets", *Journal of Air Transport Management* **3**, 3-9 (1997).

[11] Bogenberger, K. and May, A. D., *Advanced Coordinated Traffic Responsive Ramp Metering Strategies*, ITS - Univ. of California, Berkeley, 1999, p. 69.

[12] Viegas, J. and Lu, B., "The Intermittent Bus Lane signals setting within an area", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* **12**, 453-469 (2004).

[13] Kempton, W. and Tomić, J., "Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue", *Journal of Power Sources* **144**, 268-279 (2005).

[14] Brooks, A. and Gage, T., "Integration of Electric Drive Vehicles with the Electric Power Grid: a New Value", *Proceedings of the 18th International Electric Vehicle Symposium and Exhibition*, 20-24 October, 2001, Berlin, Germany.

[15] Lipman, T. E., Edwards, J. L. and Kammen, D. M., *Economic Implications of Net Metering for Stationary and Motor Vehicle Fuel Cell Systems in California*, University of California Energy Institute (UCEI), Berkeley, California, 2002.

[16] Moura, F., 2005, "Driving energy system transformation with "vehicle-to-grid" power", *YSSP Final Report*, IIASA, Luxembourg, 16 September, 2005, p. 62.

NOTAS

[1] Este tema é abordado no artigo de Tiago Farias.

[2] Parques de estacionamento junto das interfaces intermodais.