

INTEGRAÇÃO DE TECNOLOGIAS SIG E WEB PARA O PLANEAMENTO E GESTÃO DE SISTEMAS DE TRANSPORTE A PEDIDO

J. V. Oliveira, J. Telhada e M. S. Carvalho

RESUMO

O actual sistema de transporte público colectivo de passageiros em Portugal é claramente desadequado para operar em áreas de baixa densidade populacional, pois não consegue dar uma resposta eficaz a uma fracção significativa dos potenciais utilizadores. Neste contexto, começam a despontar na sociedade motivações fortes para desenvolver e implementar um sistema alternativo, com a flexibilidade adequada (em rotas e horários), para que possa ser eficaz e eficiente, mas também financeiramente sustentável. Neste artigo propõe-se uma arquitectura para um sistema automático de suporte à decisão para o caso particular da comunicação com os clientes recorrendo para isso ao uso de novas e actuais tecnologias que adoptem o suporte para tecnologia SIG. O artigo visa ainda ilustrar a forma como este sistema de apoio pode ser usado estrategicamente para proceder a uma correcta adequação dos parâmetros funcionais do transporte a pedido às características da procura e da área de implementação, bem como poderá ser usado como sistema de planeamento operacional.

1. INTRODUÇÃO

A mobilidade é um factor determinante no desenvolvimento de qualquer sociedade. Neste sentido, a estrutura de comunicação que cada sociedade apresenta constitui um indicador do seu próprio desenvolvimento. Para garantir esse desenvolvimento, a existência de um adequado sistema de transporte público de passageiros (TP) é fundamental. O problema é que, no caso específico de muitas áreas rurais do nosso país, tal adequação deixou simplesmente de existir há muito, sendo que o grau de desadequação actual é enorme, de tal forma que as situações de exclusão social de causa funcional (por escassez de oferta de TP) são cada vez mais evidentes. A dramática quebra na procura, em resultado directo do desmesurado aumento da utilização do transporte individual, provocou uma forte redução da oferta por parte dos operadores.

A redução no transporte público não foi sentida da mesma forma em todas as áreas. As áreas de mais baixa densidade e maior dispersão populacionais foram aquelas que mais sentiram (sentem) este efeito. Para o combater, tem sido sugerida a implementação de alguns tipos alternativos de sistemas de TP, incluindo o designado sistema de transporte a pedido, conhecido internacionalmente pela sigla DRT (*demand responsive transport*). O transporte a pedido tem como principal característica, a criação de percursos e horários dinâmicos, de acordo com as solicitações explícitas dos respectivos utilizadores, por exemplo através de marcação com uma pré-determinada antecedência mínima. Dada a maior ou menor variabilidade da procura verificada ao longo dia, assim o número de pedidos simultâneos pode justificar a utilização de diferentes tipos de veículos (através de uma frota heterogénea), especialmente em termos de lotação.

O transporte a pedido apresenta uma complexidade elevada, quer ao nível do planeamento estratégico, quer ao nível da sua gestão operacional, praticamente obrigando a que o sistema tenha de ser gerido e controlado através de um sistema informático inteligente, de forma a poder atingir a desejada eficiência. A aplicação informática terá de integrar três módulos principais: a recepção e gestão dos pedidos, o planeamento dinâmico e em tempo real das rotas e horários e a comunicação dos resultados às entidades humanas do sistema (condutores e clientes). Em termos da aplicação de metodologias de optimização, será claramente ao nível do planeamento das rotas e horários que se encontra o módulo mais importante, uma vez que o seu desempenho influenciará directamente a flexibilidade do sistema e também a eficiência do mesmo.

Sempre que um cliente deseja efectuar ou alterar um pedido, é importante ter ao seu dispor diferentes formas de o fazer. Assim, o sistema proposto neste artigo prevê que a marcação possa ser efectuada através de um simples contacto telefónico com a Central Coordenadora (que pressupostamente terá de existir para sediar a gestão do sistema), através de um portal *Web*, ou através de um serviço automatizado de mensagens escritas (*SMS*). A implementação dos diferentes sistemas de marcação tem como objectivo facilitar a comunicação entre os clientes e o gestor do sistema, permitindo a ambos manterem-se constantemente actualizados acerca do estado dos pedidos.

A utilização de modernas tecnologias de informação e comunicação no transporte a pedido é vital para a gestão de todos estes processos, incluindo-se aqui as tecnologias SIG com especial relevo. A sua utilização permitirá, por exemplo, pôr à disposição dos utilizadores um mapa interactivo para facilitar a marcação dos pedidos (origem e destino), consultar as suas rotas e visualizar espacialmente outras informações úteis correspondentes ao pedido actual de mobilidade ou mesmo aceder a estatísticas de pedidos realizados anteriormente. Ao gestor, permitirá dar uma visão global, em tempo real, do estado do sistema (rotas, tempos, desvios, localização de pedidos – origens e destinos –, surgimento de novas solicitações de última hora, etc).

Contudo, a utilização dos SIGs não fica exclusivamente limitada a uma utilização interactiva com os clientes e o gestor operacional do sistema de transporte. Esta tecnologia será também fundamental na fase de planeamento estratégico de todo este sistema. Por exemplo, é com base no *software* de SIG que se vai construir inicialmente, e actualizar ao longo do tempo, o modelo da rede viária. Embora estas tarefas não tenham de ser obrigatoriamente realizadas com este *software*, o certo é que a sua utilização as irá facilitar significativamente. Além disso, a forma de visualização dos dados permitirá inferir importantes padrões da procura e do desempenho do sistema global. Ao longo do artigo, a importância da utilização das diversas tecnologias no planeamento e gestão do transporte a pedido irá sendo destacada e ilustrada.

O artigo está estruturado da seguinte forma. Na Secção 2 é apresentada uma revisão bibliográfica sobre alguns aspectos importantes relativos à temática do transporte a pedido e, em particular, a utilização dos SIG como meio auxiliar da respectiva gestão. Na Secção 3 apresenta-se uma proposta para a arquitectura informacional do sistema automático de gestão operacional, evidenciando-se nesta a posição ocupada pelas tecnologias SIG. A Secção 4 descreve o processo de incorporação de um SIG livre (gratuito) no sistema, e exemplifica a forma de como este pode constituir-se como uma mais-valia no apoio à gestão do transporte a pedido. Por seu turno, a Secção 5 descreve os principais aspectos relativos à incorporação de uma ferramenta SIG profissional, discutindo as suas principais

vantagens e desvantagens comparativamente à incorporação de tecnologias livres, e exemplificando a forma como poderá ser útil na análise estratégica do sistema de transporte. Finalmente, a Secção 6 expõe as principais conclusões deste trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O transporte a pedido é um serviço de transporte público colectivo de passageiros em que os percursos são definidos consoante as reais necessidades da população, traduzidas através de pedidos explícitos de viagens. Assim, este serviço não está limitado por horários, paragens ou percursos fixos, ao contrário do que acontece com os serviços “rígidos” do sistema de transporte público colectivo de passageiros actualmente existente em Portugal. Contudo, o sistema de transporte a pedido carece ainda de suporte legal para poder ser implementado no país.

O transporte a pedido é orientado para o utilizador, significando isso que sempre que um veículo se dirige para um ponto, este vai encontrar pelo menos um passageiro para servir. Com a flexibilidade que o sistema apresenta, em termos de percursos e horários, também os veículos a utilizar devem ser os mais adequados (em capacidade ou lotação) face ao número máximo de pessoas que vão transportar em simultâneo. É de esperar portanto que, em grande parte das situações, em serviços realizados em áreas de baixa densidade populacional, se deva normalmente utilizar veículos de pequena e média dimensão, e, menos frequentemente, os tradicionais autocarros com várias dezenas de lugares de lotação. A disponibilidade de uma frota heterogénea assume-se assim como um factor importante de potenciamento da eficiência deste sistema de transporte.

O sucesso deste sistema vai depender fundamentalmente da integração e interacção entre os clientes e a Central Coordenadora, sendo para isso necessário recorrer a algumas tecnologias de informação e comunicação (Oliveira, 2009). No campo da tecnologia usada no transporte a pedido, as tecnologias SIG vão desempenhar um papel de vital importância. O transporte a pedido deve recorrer ao uso de modernas tecnologias para a interligação com os clientes, na busca de dados para efectuar o planeamento de rotas e na análise de dados, de forma a possibilitar o desenvolvimento de determinados tipos de estratégias funcionais.

“Os sistemas de informação geográfica são sistemas de informação construídos especialmente para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, i.e. dados que representam objectos e fenómenos em que a localização geográfica é uma característica inerente e indispensável para o seu tratamento. Os dados geográficos são recolhidos a partir de diversas fontes e são depois armazenados via de regra nos chamados bancos de dados geográficos” (Câmara, 1996). Um SIG não pode contudo ficar reduzido a esta definição, devendo antes integrar as cinco componentes seguintes (Bárbara, 2006): o *software* para trabalhar com a base de dados e mapas digitalizados, o *hardware*, a base de dados geográficos capaz de armazenar e efectuar a gestão dos dados, os recursos humanos especializados necessários à extracção do conhecimento a partir dos dados e, por último, uma organização capaz de interagir com outras áreas dentro da organização.

A capacidade que um SIG tem para incorporar em si dados exteriores, permite que este seja utilizado em várias áreas do conhecimento. Já vai longe a época em que este era usado como forma de representação de objectos e fenómenos, em que a localização geográfica era o único elemento fundamental. Hoje em dia, é dele exigido muito mais. Desde logo, a

capacidade de armazenamento tem de ser muito maior; deve ter a capacidade de apresentar os mesmos dados de variadas formas diferentes; deve ser fácil de utilizar e de compreender por parte de diferentes utilizadores; deve permitir efectuar a agregação de dados de diferentes fontes – ex, dados demográficos, socio-económicos, imagens de satélite, representações a 3D, etc; deve ser capaz de (ou permitir) actualizar os dados em tempo real; e, claro, deve permitir a sua utilização na rede global (*internet*).

Segundo Osses (2000), o principal desafio que se colocava às instituições que lidam com informações geográficas era a publicação de grandes bases de dados espaciais na *internet*, com ferramentas eficientes de navegação que tornasse a geoinformação amplamente acessível, sem a necessidade do utilizador ter de adquirir *software* específico. Podemos afirmar que, entretanto, esse objectivo foi já atingido, de forma eficaz, por parte de algumas empresas, havendo hoje serviços como o *Google Maps* (<http://maps.google.com/>), o *Bing Maps* (<http://www.bing.com/maps/>) ou o *Sapo Mapas* (<http://mapas.sapo.pt/>), entre outros. No âmbito deste trabalho, optou-se por exemplificar a mais-valia da utilização deste tipo de tecnologias SIG através de uma integração do serviço *Google Maps*.

O *Google Maps* consiste num serviço livre (gratuito), muito simples de utilizar, semelhante a um motor de busca, com a particularidade de procurar elementos associados a pontos georreferenciados e de os apresentar sobre um mapa. O *Google Maps* é limitado a apenas três opções de mapa: fotografias digitais (imagens de satélite), mapas das ruas e um sistema híbrido, isto é, a sobreposição de mapas sobre fotografias. Por cima dos mapas é ainda possível colocar marcadores de ponto (imagem indicativa do ponto de referência), linha e multi-linha, pequenas caixas *pop-up* com informações adicionais, caixas *tooltip* com a capacidade de exibir um largo conjunto de informações, e, por último, mas talvez o mais importante no âmbito do transporte a pedido, a determinação e representação do percurso mais curto entre dois pontos, com a indicação do sentido, tempo e distância.

No *Google Maps*, necessita de usar tecnologia *javascript* que tem de ser suportada pelos *browsers*, para se poder apresentar a informação desejada, tal como a representação de uma rota. Esta tecnologia é simples de manipular, e tem a capacidade de gerir eventos (ex, a operação de clicar sobre uma página *Web*, desencadeando a realização de uma determinada tarefa específica e a respectiva visualização sem haver a necessidade de se ter de solicitar uma actualização da página). O maior problema desta tecnologia está nas diferentes interpretações desta linguagem pelos diferentes tipos de *browsers* (Montanari, 2005). A interpretação diferenciada pode resultar numa incorrecta exibição de resultados, ou simplesmente num abortamento da sua execução. Esta diferença resulta do não seguimento (ou incumprimento), por parte de alguns *browsers*, de algumas normas já implementadas. Alguns programadores têm optado por apresentar páginas diferentes para um *browser* específico, mas tem vindo a ser desenvolvidas medidas para que as normas sejam cumpridas por todos, uma vez que o não cumprimento traz prejuízo para os utilizadores finais. No âmbito do presente trabalho, optou-se pois por aplicar as normas estabelecidas.

A utilização de dispositivos móveis com acesso *Web* são cada vez mais utilizados. Por isso, é de esperar que a fracção de utilizadores do transporte a pedido, possuidores deste tipo de tecnologia, possa tornar-se significativa a médio prazo, mesmo em áreas rurais. Estes pequenos dispositivos requerem uma aplicação com interfaces amigáveis e com imagens de fácil interpretação, devendo também possuir mecanismos de filtragem que reduzam os elementos a visualizar através de critérios de selecção (Motos, 2007). As aplicações que

trabalham directamente como os SIGs possuem já funcionalidades que determinam o nível de detalhe apropriado dos conteúdos a enviar para estes dispositivos.

Os referidos serviços SIG *online*, de utilização livre, são contudo bastante limitativos em termos de funcionalidades, não permitindo por exemplo realizar determinadas análises geo-estatísticas de potencial interesse para o sistema de transporte. Desta forma, o presente estudo sugere a utilização, em alternativa ou complementarmente, de um *software* comercial com um conjunto mais vasto de funcionalidades.

3. ARQUITECTURA DO SISTEMA DE APOIO

O problema base que se coloca, ao nível da gestão operacional do sistema de transporte a pedido, consiste em desenvolver um sistema de apoio automatizado que tenha a capacidade de responder em tempo real às necessidades de mobilidade dos passageiros (pedidos). O planeamento de rotas, por exemplo, é efectuado através da combinação entre diferentes métodos de solução, sendo que a própria aplicação determina quais são desses métodos, os mais adequados a aplicar em cada caso, de acordo com a tipologia dos pedidos que são efectuados para um determinado período de tempo, numa determinada zona geográfica (Oliveira, 2009).

Para além do módulo de optimização de rotas, a aplicação deverá integrar vários outros, tais como a gestão de pedidos, a comunicação com os condutores, a comunicação com os clientes (incluindo um portal *Web*), diferentes bases de dados, e, claro, ferramentas de SIG. O fluxo e o armazenamento dos dados neste sistema integrado são fundamentais para manter a eficiência global do sistema de transporte a pedido. A Figura 1 representa a arquitectura proposta para a aplicação, ilustrando a forma como os dados fluem entre os diversos módulos e a forma como os intervenientes humanos podem gerar fluxos no sistema. A figura destaca ainda a parte da aplicação referente à aplicação de tecnologias SIG.

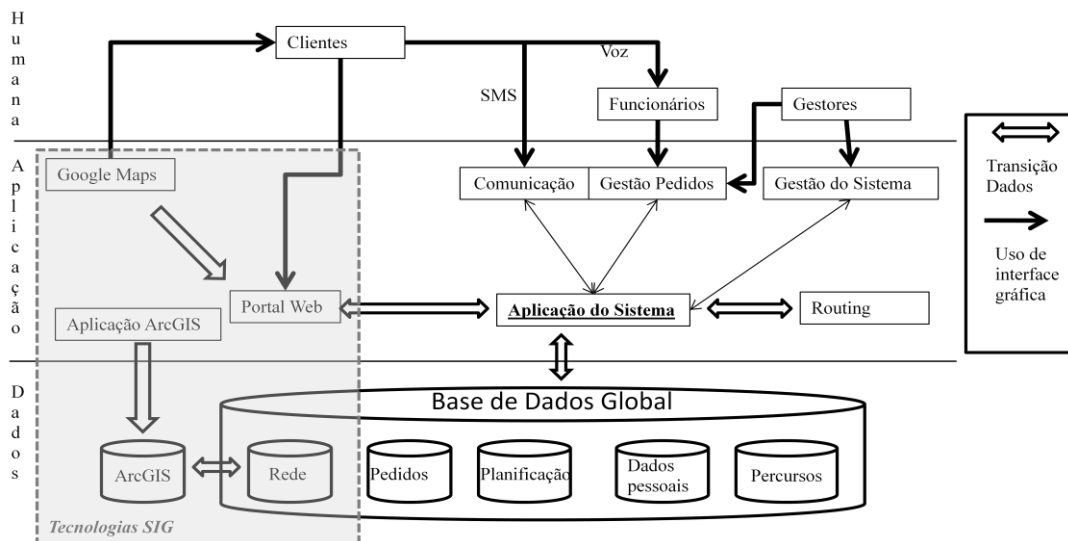


Figura 1) Arquitectura informacional do sistema de transporte a pedido.

Visto que os veículos não possuem qualquer percurso definido à partida, assim os clientes que pretendem efectuar uma deslocação terão de informar o sistema, formulando o

respectivo pedido (Figura 2 - *Fase 1*). Para esse efeito, os clientes terão de comunicar com a Central Coordenadora, sendo esta operação efectuada através de um qualquer dos sistemas disponíveis. A comunicação por voz encontrar-se-á decerto limitada em termos de horário de trabalho dos funcionários, mas os restantes meios estarão permanentemente acessíveis (portal *Web*, e *SMS*).

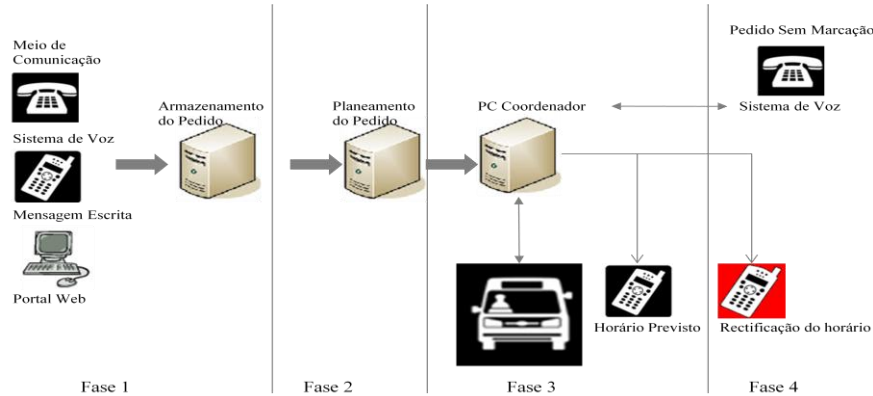


Figura 2) Esquema ilustrativo do atendimento dos pedidos de mobilidade.

Para além dos pedidos com antecedência, aos quais é garantido por princípio a realização do serviço de transporte, os clientes podem ainda solicitar o transporte a qualquer instante, sem antecedência mínima, arriscando-se nestes casos, a que não sejam atendidos por falta de capacidade operacional. Por exemplo, será expectável encontrar, com alguma frequência, indivíduos sem marcação prévia de serviço, a abordar os veículos nas paragens. Estes pedidos são designados por pedido sem marcação (Figura 2- *Fase 4*). A sua aceitação fica dependente do facto de: (1) existir ainda capacidade física disponível nos veículos; e (2) existir também alguma folga temporal para acomodar a eventual perturbação que o novo pedido irá provocar nos tempos assumidos com os restantes passageiros com marcação, embarcados ou ainda a embarcar a jusante, na rota que se está a realizar.

A partir do momento em que os pedidos são efectuados, os processos gerados serão tratados de forma automática. Isto vai implicar uma interligação de tecnologias e metodologias para chegar às melhores rotas possíveis, bem como para gerir a comunicação com os clientes. O primeiro passo a desenvolver é a criação de uma rede referente ao pedido. A necessidade de criar esta rede é devida aos algoritmos utilizados no cálculo das rotas, uma vez que estes são aplicados sobre redes (grafos). Após a aplicação dos diferentes algoritmos, o resultado obtido será convertido numa forma que permite aos motoristas identificar as suas rotas, bem como aos clientes identificar o seu percurso. Por último, o resultado obtido traduz-se num plano de rotas e horários para a realização das viagens, o qual deverá ser comunicado a todos, motorista e clientes (Figura 2 - *Fase 3*).

A aplicação do algoritmo (Figura 2 - *Fase 2*) tem como objectivo minimizar a distância percorrida (ou, em alternativa, uma função generalizada de custo, ex, dependente da distância, tempo, preferência de estradas a utilizar, etc), mas deverá respeitar o tempo de partida e de chegada de cada cliente. Assim, a cada arco da rede está associada a distância e o tempo que o veículo necessita para se deslocar entre os dois nodos ou pontos. A informação sobre a distância e tempo será recolhida através do *software* SIG, sendo por isso importante que este seja suportado por uma base de dados (da rede viária) precisa, fiável e actualizada.

Nas secções seguintes será exemplificada a forma como diferentes tecnologias SIG podem ser incorporadas no sistema de apoio à decisão do transporte a pedido, e o principal interesse dessa incorporação como factor catalisador de uma maior comodidade, rigor e eficiência dos serviços prestados.

4. EXEMPLIFICAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS SIG LIVRES PARA A WEB

O *Google Maps* é uma das tecnologias SIG, disponível *online* e de forma *livre*, que disponibiliza um conjunto de funcionalidades muito úteis para o sistema de gestão do transporte a pedido. A sua utilização é muito simples e intuitiva, uma vez que apresenta imagens reais que, com o auxílio de “marcadores”, permitem aos clientes do sistema de transporte, via portal *Web*, indicar com facilidade a origem e destino pretendidos. O serviço *online* disponibiliza ainda um modelo da rede viária com um razoável nível de actualização (especialmente quando se trata de áreas rurais). Todas estas características (gratuidade, comodidade e facilidade de utilização e actualização de informação básica) conferem assim uma mais-valia evidente para o sistema de gestão.

Como se disse, o *Google Maps* pode ser integrado no portal *Web* do sistema de forma a facilitar a comunicação com os utilizadores. Isso permitir-lhes-á especificar e monitorizar os seus pedidos de mobilidade com base num mapa interactivo. O sistema permitirá ainda mantê-los continuamente informados sobre o estado do seus pedidos de mobilidade.

Por exemplo, para marcar os pontos de origem e destino, os clientes podem recorrer a um bloco de numeração (atribuída pelo sistema) que é visualizada sobre o mapa ou então arrastar os marcadores móveis para os pontos desejados, isto é, um para o ponto de partida e o outro para o ponto de destino (Figura 3). Podem então ter de imediato uma indicação visual de qual é o percurso mais curto, a respectiva distância e tempo médio de viagem, que, neste caso, lhes poderá dar uma boa noção das janelas temporais (partida e chegada) que deverão identificar na formulação dos respectivos pedidos de mobilidade.

Hora mais cedo	11	10	11	50	Data para a realização do serviço
Hora mais tarde	11	15	12	15	1
					Maio
					2010
Coordenada Georreferenciada		Coordenada Georreferenciada		Observação	
cx	cy	cx	cy		
Indique o Identificador do Sistema		Indique o Identificador do Sistema			
12		86			

Efectuar Pedido

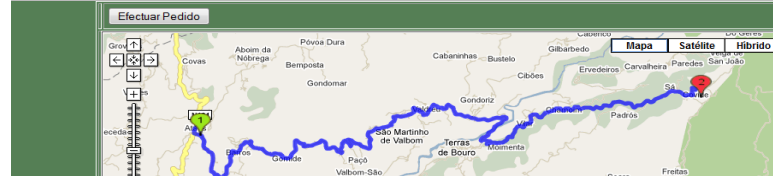


Figura 3. Exemplo do menu para efectuar um pedido de deslocação através do portal.

Sabendo-se à partida que a flexibilidade do sistema poderá depender em parte dos clientes – por exemplo, se estes indicarem janelas temporais muito próximas do tempo mínimo para se deslocar entre os pontos, o sistema ficará com um menor flexibilidade e consequentemente com um maior risco de incumprimento –, é pois conveniente dotar o sistema de gestão com uma parametrização adequada para promover ou garantir um nível mínimo, pré-determinado, de flexibilidade. No exemplo anterior, a solução pode passar por restringir as janelas temporais a valores mínimos calculados percentualmente do tempo

estimado do caminho mais curto. Complementarmente, pode ser ponderada a possibilidade de apresentar tarifas diferenciadas de acordo com a flexibilidade que os clientes permitirem.

Outra das características que o sistema apresenta é a facilidade com que o cliente, em qualquer momento, poder consultar o percurso que irá efectuar (quando o planeamento da rota já tenha sido calculado), bem como os eventuais desvios que este possa sofrer (rotas ou horário ou ambos). A informação apresentada estará sempre actualizada. O sistema permite ao cliente visualizar o percurso a efectuar desde o início até ao seu final, não significando isso que o cliente irá efectuar todo esse percurso. Neste sentido, o cliente pode facilmente identificar qual é a parte do percurso que lhe está associado, por exemplo através da representação do segmento com uma cor diferente da do restante percurso do veículo (Figura 4). O cliente tem ainda acesso às seguintes informações mapeadas: a sequência de paragens que o veículo vai efectuar e a hora prevista a que o veículo deve passar em cada uma delas, para além de outros detalhes sobre o seu pedido.



Figura 4. Visualização da rota associada a um pedido de deslocação específico.

Como se disse anteriormente, a operacionalização de todas estas funcionalidades requer que, na fase de programação computacional do sistema, se utilize algumas tecnologias informáticas, incluindo, neste caso específico, a tecnologia *Javascript*.

5. UTILIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS SIG PROFissionais

Esta secção exemplifica a utilização da tecnologia *ArcGIS* no âmbito do planeamento e da gestão do sistema de transporte a pedido. Esta é uma tecnologia comercial, exigindo assim um investimento inicial relativo à sua aquisição. Para além do *software*, muito provavelmente será ainda necessário proceder à aquisição de um modelo avançado da rede viária incorporando toda a informação funcional relevante do conjunto de nodos e arcos (modelo de grafo). Em contrapartida, este *software* oferece um conjunto mais vasto de funcionalidades e uma maior flexibilidade de customização comparativamente às tecnologias livres. Em particular, o *ArcGIS* permitirá obter um controlo total sobre a base de dados da rede viária, (a qual passa “a residir” no sistema de informação interno da Central Coordenadora), uma redução dos tempos de computação (ex, determinação do caminho mais curto entre dois pontos), e a realização de diversas análises de estatística espaço-temporal de grande interesse ao nível da gestão, quer operacional quer estratégica, do sistema de transporte.

5.1. Criação do modelo de rede viária e respectiva actualização

Com se referiu atrás, o *ArcGIS* permite incorporar na sua base de dados um modelo da rede viária sobre a forma de grafo. Um grafo é constituído por um conjunto de nodos e arcos.

Os nodos representam cruzamentos, rotundas, etc, e podem ser também representativos de pontos ou paragens a ser visitados pelos veículos (origens e destinos dos pedidos de viagem). Os arcos representam as ligações entre os nodos, i.e. os segmentos das vias de circulação. Nodos e arcos têm a si associados diversos atributos funcionais. Por exemplo, cada arco é caracterizado por valores de distância, limite de velocidade, velocidade média, restrição a tipos de veículos e número de faixas de circulação, entre outros.

Na verdade contudo, o número de nodos usado pelo módulo de planeamento de rotas e horários da aplicação é significativamente menor do que o número de nodos ou pontos georreferenciados contidos na base de dados do *software* SIG. Daí que na proposta de arquitectura informacional do sistema de apoio à decisão (Figura 1), se tenha evidenciado a existência de uma base de dados, dedicada ao modelo de rede viária, contendo basicamente apenas os nodos das “paragens” e os arcos dos “caminhos mais curtos” que os unem. Estes últimos podem ser obtidos (e actualizados automaticamente) a partir do *ArcGIS*, através da sua extensão *Network Analyst*. (De referir que, no caso anterior do *Google Maps*, o caminho mais curto é obtido remotamente através de uma solicitação ao respectivo serviço *online*, o qual apresenta algumas restrições de utilização, impondo nomeadamente um número máximo de solicitações diárias.)

A operacionalização interna deste sub-modelo da rede viária tem como objectivo obter um melhor desempenho do sistema, uma vez que o acesso à informação fica substancialmente mais rápido, devido à muito menor dimensão da lista de nodos e arcos. Para garantir a sua permanente actualização, a aplicação dispõe de um mecanismo automático de detecção de alterações ao nível das bases de dados dos SIG (*ArcGIS* ou *Google Maps*); no caso de alguma alteração ser detectada, o sub-modelo é automaticamente corrigido em conformidade.

De referir que o *ArcGIS* tem já algumas funcionalidades ao nível do planeamento de rotas. Contudo, os problemas deste tipo que permite resolver, e que poderiam ser de interesse para o caso do transporte a pedido, são muito poucos. Daí que essas funcionalidades próprias do *software* não possam assumir-se como uma alternativa viável ao módulo de optimização de rotas especificamente concebido de raiz para a aplicação principal do sistema.

Em resumo, evidenciou-se aqui uma das mais-valias da utilização de uma tecnologia SIG na gestão operacional do transporte a pedido. Em particular, esta tecnologia vai fornecer os dados fundamentais para os cálculos das rotas, ou por outras palavras, é através dele que são adquiridos os dados referentes à distância, ao tipo da via, e outros factores. Com a precisão inerente a esta tecnologia avançada de SIG, o planeamento das rotas torna-se mais eficiente, contribuindo para a redução de custos e de consumos de energia, trazendo por consequência uma redução no impacto ambiental.

5.2. Planeamento estratégico do sistema de transporte a pedido

A definição de estratégias são um factor crítico em qualquer organização, pelo que estas deverão procurar adquirir o máximo de informação relevante de forma a melhor as definir ou escolher de entre todas as opções alternativas identificadas. Seguidamente serão descritas algumas análises de carácter estratégico, nas quais se evidencia claramente a importância assumida pela utilização das tecnologias SIG, como ferramentas facilitadoras

e potenciadoras desse processo de planeamento estratégico de um sistema de transporte a pedido.

Como nota prévia, de referir que a abordagem usada no referido planeamento, no âmbito da investigação em curso subjacente ao presente artigo, passa pela utilização de, entre outras, técnicas de simulação discreta de acontecimentos. Nas simulações são considerados diversos cenários alternativos de funcionamento do sistema de transporte. Do modelo geral do simulador fazem parte um sub-modelo de procura, representativo dos pedidos, e um sub-modelo de oferta, representativo dos meios postos à disposição desses mesmos pedidos (clientes) pelo sistema de transporte. Deste último sub-modelo, fazem parte integrante a aplicação computadorizada de apoio à tomada de decisão operacional, de cuja arquitectura se falou anteriormente (Figura 1). Desta forma, o planeamento estratégico do sistema toma explicitamente em conta os principais aspectos relativos ao desempenho da gestão operacional (ex, a optimização de rotas e horários). O objectivo principal deste planeamento consiste em determinar o melhor conjunto de (tipologias dos) serviços a disponibilizar pelo sistema de transporte a pedido, bem como o correspondente dimensionamento e parametrização, para uma área de estudo rural. A investigação contempla ainda a realização de uma análise de viabilidade económica do projecto.

A importância da utilização de tecnologias SIG no âmbito do planeamento pode ser demonstrada através dos seguintes exemplos:

Indiciação de tipologias mais adequadas

O SIG permite evidenciar padrões de uso do solo, densidade e dispersão populacional, acessibilidades, entre outros, que permitem antever quais a(s) tipologia(s) potencialmente mais adequadas de serviços de transporte a incluir nos estudos posteriores de simulação de cenários. Por exemplo, uma baixa densidade e alta dispersão poderá indiciar a utilização de veículos de pequena dimensão, fazendo escala preferencial nas paragens regulares do TP convencional, mas com algumas incursões ocasionais tipo porta-a-porta a zonas mais periféricas.

Identificação de rotas “a fixar”

Através da visualização dos movimentos que os utilizadores efectuam ao longo do dia poderá identificar-se determinados percursos comuns, os quais podem acabar por justificar a utilização de veículos dedicados às respectivas rotas e horários. Este tipo de análise terá obviamente de ser repetida no período pós-implementação, com dados reais.

Identificação de rotas com elevadas taxas de pedidos espontâneos

A tipologia (ex, capacidade) do veículo a enviar para um dado serviço ou rota pode não ser dependente apenas do número de pedidos efectuados, que ditaram a criação da referida rota. Em muitos casos, o envio de veículos de maior dimensão, com alguma folga portanto relativamente ao número de pedidos, é desejável para poder responder eficazmente à procura real: a somar às solicitações prévias estão os pedidos de última hora. É expectável que, em determinadas zonas ou paragens, estes possam aparecer com maior probabilidade, sendo este outro tipo de padrão que pode ser facilmente identificado pelo mapeamento realizado pelo SIG, e também com a incorporação de um módulo de previsão da procura que tenha em conta a análise da informação histórica dos pedidos realizados. Note-se que a decisão de enviar um ou outro tipo de veículo pode ser baseada em diferentes factores que tem a ver com a procura normal da área, pelas características etárias da população (por exemplo o horário escolar influencia directamente a oferta de transporte público), pelo

estado do tempo (o mau estado do tempo faz com que os indivíduos utilizam mais o transporte individual ou simplesmente não saiam de casa), ou pelo dia da semana (dando especial atenção ao dia em que existe a feira semanal), pela altura do ano (por exemplo as férias ou épocas festivas).

Identificação de pontos/zonas susceptíveis gerar atrasos nos serviços

Há diversos factores que podem levar a que os veículos se atrasem nos percursos. Alguns desses factores podem revelar-se recorrentes nalguns locais. A identificação desses locais, e da respectiva variabilidade no tempo de viagem nos troços envolvidos, pode ser muito útil para a adopção de medidas correctivas ou de estratégias de serviço mais adequadas. Um dos factores de atraso e variabilidade é, sem dúvida, o congestionamento criado a determinadas hora do dia em pontos de maior afluência de veículos. Com o auxílio das tecnologias SIG, a identificação deste tipo de situações torna-se mais simples, bem como a procura de alternativas de percurso em tempo real.

7. CONCLUSÕES

Numa época em que predomina uso do transporte privado e em simultâneo se fala do problema das alterações climáticas e do aumento da poluição causado pelo transporte privado, o transporte público colectivo de passageiros tem de se afirmar como uma alternativa eficaz ao uso exagerado do transporte individual, por forma a reduzir o consumo energético e a poluição. Contudo, é importante ter em conta que, para essa transferência modal se possa realizar, será necessário proceder a uma adequação do TP às reais necessidades das populações. Neste sentido, o transporte a pedido apresenta-se como uma potencial solução viável para as áreas de baixa densidade populacional.

No transporte a pedido, as viagens só se realizam se existirem solicitações explícitas de deslocação (pedidos), evitando, na pior das hipóteses, que os veículos circulem simplesmente vazios. No entanto, dado que as rotas e os horários são flexíveis, que a frota disponível pode/deve incluir veículos de diferentes capacidades e características (ex, veículos com equipamentos auxiliares para indivíduos com deficiência motora), e que todo o planeamento operacional pode ser realizado automática e racionalmente através de avançadas tecnologias inteligentes, é de prever que as taxas de ocupação nos serviços realizados serão, em média, muito superiores às correspondentes taxas dos serviços tradicionais nas áreas de baixa procura. Além disso, a implementação de sistema de um transporte deste tipo deverá induzir um aumento na taxa de procura actual de TP, quer pela desejada transferência modal, quer por permitir o acesso, até agora negado por falta de oferta, a muitos indivíduos não possuidores de automóvel ou que, por qualquer motivo, não possam conduzir.

Ao longo deste artigo evidenciou-se, não exaustivamente, um conjunto de mais-valias que a utilização de tecnologias SIG e *Web* podem incorporar nos sistemas de transporte a pedido, potenciando a respectiva eficiência e viabilidade de funcionamento. Estas mais-valias manifestam-se quer ao nível do planeamento estratégico do sistema, quer ao nível da sua gestão e monitorização e controlo operacional.

A integração destas tecnologias no seio do sistema global de apoio à tomada de decisão foi descrita neste artigo sob a forma de uma proposta para a arquitectura informacional desse sistema.

A decisão de utilizar tecnologias SIG alternativas, livres ou comerciais, assume-se como um factor estratégico. Os serviços livres têm a vantagem de apresentarem maior um ambiente gráfico (tipo *browser*) mais simples e familiar para os utilizadores; disponibiliza também (gratuitamente) o modelo da rede viária com uma razoável frequência de actualização. Já um *software* profissional requer um conhecimento bastante aprofundado sobre SIGs, mas, em contrapartida, oferece um conjunto mais vasto de funcionalidades, especialmente importantes para realizar análises de carácter estratégico. A utilização combinada dos dois tipos de SIGs, não deixa de ser provavelmente a melhor opção actual, pois pode permitir obter uma complementariedade interessante. Em termos de integração na aplicação computadorizada, estas duas opções não são, de todo, incompatíveis.

8. REFERÊNCIAS

Boulos, M. N. K. (2005) Web GIS in practice III: creating a simple interactive map of England's Strategic Health Authorities using Google Maps API, Google Earth KML, and MSN Virtual Earth Map Control, **International Journal of Health Geographics**, 4(22).

Brasileiro, L. A. e Lacerda, M. G. (2008) Análise do uso de SIG no roteamento dos veículos de coleta de resíduos sólidos domiciliares, **SciELO**, Vol. 13, 356-360.

Câmara, G., Casanova, M. A., Hemerly, A. S., Magalhães, C. G. e Medeiros, C. M. B (1996) **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**, Rio de Janeiro.

Ferreira, B. F. (2006) Revisão de Literatura e Análise em Planejamento de Transporte Usando os Sistemas de Informação Geográficas, Departamento de Engenharia Elétrica e de Produção, Universidade Viçosa, Brasil.

Matos, P. P., Carmo, M. B. e Afonso, A. P. (2007) Visualização de Informação Georeferenciada em Dispositivos Móveis, **Encontro Português de Computação Gráfica**, 183-188.

Miller, C. C. (2006) A Beast in the Field: The Google Maps Mashup as GIS/2, **University of Toronto Press**, 41(3), 187-200.

Montanari, W. (2005) **Interface para Banco de Dados de Imagens Geográficas**, Relatório de estágio, Departamento de Computação, Universidade Estadual de Londrina, Brasil.

Nyerges, T. L., Montejano, R., Oshiro, C. e Dadswell, M. (1998) Group-based Geographic Information Systems for Transportation Improvement Site Selection, **Science**, 5(6), 349-369.

Oliveira, J.V. (2009) **Sistema de Apoio à Gestão de um Serviço de Transporte Público de Passageiros**, Dissertação de Mestrado em Engenharia de Sistemas, Universidade do Minho.

Osses, J. R., Paiva, J. A.C. e Câmara, G.(2000) Arquiteturas Cliente-Servidor para Bibliotecas Geográficas Digitais, **II Simpósio Brasileiro de Geoinformática**, São Paulo, Brasil.