

MICROSIMULATION FRAMEWORK FOR DESIGN AND PLAN DEMAND RESPONSIVE TRANSPORT SYSTEMS

Joaquim Vitor Oliveira¹, José Telhada¹ y Maria Sameiro Carvalho¹

1 Departamento de Produção e Sistemas, Universidade do Minho

RESUMO

Traditional public transport systems for passengers provide services with rigid predefined routes and schedules. These systems are not adequate to operate in low density areas, where demand are scarce and dispersed, leading to low occupancy rates of vehicles and thus economical inefficiency for transport operators. In turn, transport operators tend to cease some of their operating concessions, leaving residents of such areas without public transport means for long periods of time along the day. In order to overcome these set of problems, some countries have been approving legislation to allow the implementation of flexible public transport systems, such as the well-known Demand Responsive Transport (DRT) system whose services (including their schedules, routes and vehicle size allocation) are triggered and defined dynamically by demand calls.

From the operational view-point, DRT systems are very appealing to their clients because they provide them with an omnipresent availability and higher spectrum of destination choices. However, inadequate levels of flexibility may lead to operating cost inefficiencies and sustainable problems to operators at the medium and long terms. Additionally, flexible systems are generally associated to high implementation cost investments whose payback must be added to the annual bill. Thus, in order to properly design and plan a DRT system, viable and sustainable, it is of crucial importance to perform an accurate evaluation of the future system performance: financial and economical, social and environmental. In fact, there is, in the literature, many reports of DRT systems failures, most of them due to poorly or inexistent designing and planning.

This paper describes a proposed simulation methodology capable of estimating, with adequate accuracy, a set of critical system performance measures to ultimately determine the viability and sustainability of a DRT system for a given rural area. The paper focuses the technical aspects of the simulation procedures, distinguishing two main modules: demand simulation (call patterns and behavior) and supply simulation (routing and scheduling “optimization” and vehicular performance). The use of a simulation approach is justified by the great complexity of the DRT system dynamics. Preliminary validation tests of the decision support system, in which the simulation module is integrated, are currently underway, and will be briefly described in the paper.

Palabras e frases clave: Demand Responsive Transport (DRT), Decision Support System, Intelligent Transport System (ITS), Simulation, Transport System Evaluation.

1. INTRODUÇÃO

O meio rural é geralmente caracterizado por densidades populacionais baixas e dispersas, sendo que a tendência atual é de descida contínua destas variáveis. São várias as razões que levam os residentes a migrar para áreas urbanas, entre elas o facto de que é nestas áreas que se podem encontrar mais facilmente as infra-estruturas e serviços que correspondem às suas necessidades. Uma consequência da desertificação do meio rural é a redução na oferta de produtos e serviços, devido à reduzida procura.

Um dos principais serviços que tem vindo a perder com o aumento da desertificação das áreas rurais, é o transporte público de passageiros, uma vez que tem deixado de ser economicamente viável devido à escassez da procura, mas também à enorme acessibilidade financeira, habituação e comodidade do uso do transporte individual motorizado. Com a excessiva perda de passageiros, o transporte público atinge assim taxas de ocupação demasiado baixas, e consequentemente gerador de fracas receitas, sem que os respetivos custos de

operação baixem na mesma proporção. Na realidade, estes custos pouco ou nada são alterados, dada a natureza estática dos serviços em termos de rotas a percorrer e frequências a cumprir (em rigor, segundo as respetivas concessões anuais ou pluri-anuais, no caso das regras legislativas portuguesas).

Em suma, o sistema de transporte público de passageiros em Portugal tornou-se, em grande medida, desadequado para operar no meio rural, o que tem levado a que muitos serviços (ou concessões) tenham sido abandonados, deixando aos residentes uma oferta muito escassa. Daí que se sinta cada vez mais a necessidade de se criar um sistema alternativo que possa responder convenientemente às suas necessidades reais. Neste contexto, o transporte a pedido, internacionalmente conhecido pela sigla DRT (*demand responsive transport*), é normalmente apontado como a solução alternativa para esta tipologia de procura, oferecendo aos residentes uma disponibilidade de serviço permanente a um custo relativamente baixo (ex, quando comparado com o táxi). O DRT também é reconhecidamente visto como um “instrumento” de combate à exclusão social de natureza funcional (i.e. causada pela falta de meio de transporte).

O transporte flexível, incluindo portanto o DRT, distingue-se do transporte tradicional também no uso de novas tecnologias, sendo este um factor crítico e decisivo para o desempenho e sucesso da sua implementação. A flexibilidade do sistema tem como base alguns critérios que afectam o desempenho, principalmente pelas limitações referentes às políticas adoptadas, entre as quais se encontram as políticas de serviço e de frotas. Refira-se que, ao nível do esforço de modelação e estudo de um sistema DRT, como adiante se verá, estas políticas condicionam substantivamente o processo de construção de um sistema de suporte à tomada de decisão, induzindo inclusivamente uma complexidade acrescida. Daí que o recurso a técnicas de simulação seja um facto incortornável.

O uso de um simulador vai permitir identificar quais as melhores políticas e estratégias a seguir pelo sistema a implementar, mas também através de uma procura esperada é possível definir a estrutura a adquirir de forma a analisar a viabilidade do sistema ou quais suplemento deve ser pedido de forma a garantir a mobilidade das pessoas em zonas com menos densidade populacional.

O artigo está organizado da seguinte forma. A Secção 2 descreve os principais conceitos de transporte flexível, e justifica a necessidade de recorrer a um simulador. Na Secção 3 descreve-se como é simulado um pedido de deslocação, que parâmetros devem ser usados e que correlações estes têm com os dados reais. Na Secção 4 explica-se como funciona o movimento dos veículos e a chegada dos clientes. Na Secção 5 são apresentados os factores que devem ser analisados de forma a definir uma estratégia operacional que garanta a eficiência e a eficácia do sistema, mas também garanta a viabilidade do mesmo. Por fim, na Secção 6 são indicadas algumas considerações sobre como o simulador pode ser usado para determinar a viabilidade do sistema de transporte público flexível.

2. MORFOLOGIA DO TRANSPORTE A PEDIDO

Nos últimos anos tem-se estudado formas de colmatar a desadequação do transporte público para as áreas de baixa densidade populacional, e tem-se assistido ao surgimento de sistemas alternativos baseados na flexibilização do serviço prestado, em termos de horários e rotas permitidas. Os novos percursos são criados de acordo com a procura existente para cada dia, indo assim ao encontro das reais necessidades dos utilizadores. A implementação destes sistemas alternativos de transporte público designa-se por transporte a pedido, conhecido internacionalmente por DRT (*demand responsive transport*).

Contudo, o sistema exige um grande esforço ao nível operacional, dada a sua 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 eficiência desejável. O sistema terá preferencialmente de ser apetrechado de um avançado sistema de informação e comunicação (Oliveira, 2009), incluindo a automatização do atendimento de pedidos e do planeamento dinâmico de rotas (Oliveira, Carvalho & Telhada, 2009).

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; a comunicação dos resultados às entidades humanas do sistema (condutores e clientes). Para além disso deve exportar os dados de forma sintetizada, permitindo fazer análises dos resultados obtidos e assim auxiliar a tomada de decisões estratégicas sobre o futuro sistema (a implementar). Este tipo de sistema estará dependente dos pedidos que receba. Assim, é fundamental disponibilizar diferentes meios ou formas de os utilizadores interagirem com o sistema de apoio, normalmente instalado numa central coordenadora. O sistema tem a capacidade de receber um pedido através da WEB (ex, página WEB que está ligada ao sistema), através de SMS (enviando uma mensagem escrita para o sistema com a informação sobre o pedido), ou ainda através de um telefonema em que um operador da central de coordenação efectuará o registo no sistema. O sistema informático terá a capacidade de fazer a gestão e a manipulação do pedido, permitido aos utilizadores alterar os dados sem acarretar qualquer custo adicional para os mesmos. Porém, existe um intervalo de tempo anterior à realização do serviço de transporte em que o cliente deixa de poder modificar o respetivo pedido, pois este encontra-se na fase de processamento.

O processamento corresponde ao planeamento das rotas. Nesta fase, a aplicação terá de seleccionar o melhor método a aplicar e em que condição se justifica fazer essa selecção (Oliveira, 2009; Oliveira, Carvalho & Telhada, 2009). O objectivo não é só a minimização dos custos operacionais, mas também a maximização da qualidade do serviço, isto é, fazer coincidir os horários pretendidos com os horários realizados, reduzir o tempo de espera entre os horários comunicados e os horários efectuados, etc. Assim, o planeamento é sem dúvida uma fase importante e decisiva para este tipo de sistema, devido ao objectivo que engloba, mas também ao tempo que este demora a ser efectuada. Neste contexto, é fundamental escolher a política de funcionamento mais apropriada para o sistema a implementar.

Posterior ao planeamento, é necessário informar os clientes e os motoristas sobre quais são os horários de passagem em cada ponto. Os clientes são informados através de SMS sobre a hora a que o veículo irá passar na paragem, sendo que a hora de aviso deve ser indicada pelo cliente. Em relação aos motoristas, estes estarão dependentes da tecnologia disponível no sistema. De qualquer forma, os motoristas devem ser informados qual é o próximo ponto a visitar. É de esperar que esta informação circule de forma automática, pois só assim se possibilitará aos serviços poderem alterar o percurso, a qualquer instante, de forma a atender pedidos de última hora, ou a alterar a rota devido a ausência de um cliente na hora marcada, ou ainda devido a alteração de percurso a partir de um certo ponto.

Ao longo do tempo pode-se justificar a introdução de uma modificação estratégica no sistema DRT. Para isso, é necessário ter informações sobre o comportamento do sistema. A aplicação deve fazer alguns tratamentos dos dados de forma a possibilitar aos decisores tomar decisão com base na informação histórica (ou experiência) de forma a avaliar a evolução do sistema e desenvolver uma nova estratégia que melhor os objectivos. Para isso pode ser necessário efectuar uma alteração ao nível da estrutura ou até mesmo da política a seguir. Deve, de igual forma, possibilitar analisar o comportamento do utilizador no sentido de uma melhor prestação do serviço, como por exemplo identificar uma determinada rotina.

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 sua eficiência.

No que se refere às regras do serviço do DRT, aquelas relacionadas com as janelas temporais a cumprir são aquelas que mais afectam a flexibilidade do sistema, supondo que estas terão de ser cumpridas com total rigor. Por exemplo, ao cliente poderá ser “garantido” (ou não) o duplo cumprimento da hora estipulada para o seu embarque e da hora pretendida para a sua chegada. Neste caso, se o intervalo de tempo entre uma hora e a outra for demasiado curta (embora superior) em relação ao tempo médio de viagem entre o ponto de origem e o ponto de destino (viajando directamente entre os dois), então é quase certo que ao cliente tenha de ser dedicado um veículo exclusivo para o seu pedido, perdendo-se assim em flexibilidade no sistema global. Os próprios locais admissíveis para a paragem dos veículos são indicadores da flexibilidade do sistema. Por exemplo, um serviço de atendimento porta-a-porta será porventura considerado como o de maior flexibilidade possível; contudo, esta flexibilidade máxima traduzir-se-á certamente em custos operacionais bastante mais altos do que um outro serviço que permita apenas parar num conjunto limitado de pontos pré-estabelecidos.

Em suma, para o sucesso do transporte a pedido é necessário conjugar um conjunto de factores, procura, eficiência no planeamento, e comunicação com os clientes. Ao contrário do transporte público convencional, os utilizadores é que primeiramente devem indicar o horário a que pretendem efectuar as deslocações, contudo devem posteriormente ser informados de qualquer eventual alteração. O transporte a pedido não tem qualquer percurso definido, sendo assim fundamental determinar continuamente quais os percursos que devem ser efectuados, mas aqui ele é indispensável o cumprimento do requisito do transporte a pedido o que eleva a complexidade do sistema. A comunicação entre o sistema e os clientes é outro ponto essencial, pois o não cumprimento dos horários poderá prejudicar gravemente o sistema mas também os restantes clientes. Assim justifica-se a utilização de diferentes tecnologias de comunicação e com capacidade de actualização em tempo real. A simulação dos diferentes factores será fundamental para identificar quais as características que o sistema deverá ter para ser economicamente viável.

3. SIMULAÇÃO DA PROCURA

O transporte a pedido está dependente da solicitação efectuada pelo cliente. Assim, quando se pretende implementar um sistema deste tipo é necessário estimar a procura na área de actuação. Antes de iniciar o desenvolvimento do simulador é necessário recolher informação sobre as zonas. Esta análise sobre a procura passa assim por identificar o número de pessoas que se preveem vir a utilizar o serviço, quais os locais de partida, os locais de chegada, as frequências, as características pessoais no sentido de identificar eventuais equipamentos de embarque e transporte auxiliares (para indivíduos com deficiência motora, por exemplo), etc.

Após esta análise sobre a procura, os primeiros elementos a simular são aqueles que apresentam um padrão de deslocações recorrente (exemplo casa-trabalho-casa, casa-escola-casa, etc). Nestas situações, é fácil identificar os locais de origem e de destino de cada viagem, através dos pontos de atractividade (trabalho, escola, etc.). Os

serviços regulares são normalmente caracterizados por uma concentração de procura em determinadas horas do dia, não deixando muita flexibilidade para o sistema. Nestas circunstâncias, é provável que a utilização de rotas regulares se revele como sendo a solução mais ajustada.

A área de estudo do projecto é essencialmente vocacionada para áreas rurais onde a maioria das viagens tem como motivo a ida às feiras, às unidades de saúde e a serviços públicos ou privados, todos eles tipicamente situados na sede de concelho ou em outros aglomerados urbanos maiores dentro do próprio concelho ou em concelhos vizinhos. As feiras realizam-se periodicamente, o que faz com que as pessoas viagem com maior frequência nesse período, devendo pois este facto reflectir-se no simulador. Nem todas os utilizadores do DRT pertencentes à área de estudo se deslocam para as mesmas feiras, podemos indicar que cada uma tem uma área de actuação, isto é, só dentro de um determinado raio é que as pessoas se deslocam para uma feira em específico, assim o simulador terá de ter esse tipo de informação de forma a expor melhor a realidade. As pessoas que tenham este objectivo não requerem um transporte com um horário regido, isto é, não existem nenhum problema em chegar mais cedo ou tarde, permitido que aumente a flexibilidade do sistema.

As deslocações para unidades de saúde têm a particularidade de não poder chegar mais tarde do que a hora marcada, pois isso implicaria uma perda de consulta ou tratamento. Porém, os clientes não se absterem de chegar mais cedo do que a hora marcada e também de sair um pouco mais tarde do que a consulta demora permitindo, desta forma, flexibilizar o sistema.

Alguns destes clientes necessitam de veículo mais adaptado à sua condição física e que não encontram no veículo do transporte convencional. Uma simples modificação ao nível da altura do veículo, por exemplo, pode fazer muita diferença para este tipo de pessoas. Todos estes e outros pormenores podem contribuir para reduzir o sentimento de exclusão social sentida pelas pessoas mais idosas, as quais constituirão uma grande fatia da população das áreas rurais, e quase certamente a maioria dos utilizadores do DRT, de acordo com o que tem sido verificado na maior parte dos sistemas deste tipo a funcionar em diversas partes do globo.

Um terceiro elemento que faz com que as pessoas do meio rural tenham a necessidade de se deslocar, é tratar de assuntos pessoais que requerem a sua presença, mas que tem uma baixa frequência, como é exemplo a renovação de documentos pessoais. Normalmente estes não estão em edifícios únicos, mas encontram-se muito próximos uns dos outros, e além disso não têm obrigatoriedade de chegarem a determinada hora. Neste caso, estes clientes induzem no sistema uma grande flexibilidade. Em contrapartida, incutem uma acrescida imprevisibilidade em relação à hora de regresso, obrigando isso a que aplicação tenha a capacidade de ratificar os percursos e horários de forma eficiente e rápida, de forma a não interferir com os horários dos restantes clientes.

Finalmente, interessará referir que as deslocações ocasionais, tanto em horários como em destinos, poderão beneficiar muito mais do sistema de transporte a pedido, devidas às suas características intrínsecas, do que do sistema tradicional com horários rígidos e destinos muitas vezes não coincidentes com os desejos destes clientes. Este tipo de viagem deve acontecer com muita baixa frequência, mas deve ser prevista no modelo de procura do simulador.

Em suma, o modelo de procura deve, tal como o sistema real, contemplar a mobilidade de todos (os que cumprem determinadas regras passíveis de ser estabelecidas pela política de atendimento do sistema).

4. SIMULAÇÃO DO MOVIMENTO

O movimento do veículo e o seu comportamento pode ser determinante para analisar a forma como o sistema deve reagir numa situação real. Para além do movimento, a chegada dos clientes às paragens também é preponderante, pois este tem influência directa no comportamento do motorista para cumprir os horários estabelecidos com os restantes clientes.

A simulação da chegada está dependente da hora prevista de passagem no ponto calculada com antecipação pela aplicação principal, o perfil do cliente, isto é, de uma análise sobre a última chegada do cliente de forma a prevê se a tendência de chegada do cliente, e por fim quais a hora que este pediu para ser realizado o serviço.

A simulação do movimento está dependente de vários factores, dos quais alguns no decorrer da simulação podem modificar-se. A simulação do movimento inicia-se de forma a conseguir chegar o mais cedo possível à primeira paragem, o que corresponde ao tempo mais cedo que o cliente pediu. Na primeira etapa (viagem entre o local de partida do veículo e entrada do primeiro cliente) não são adicionados quaisquer factores que afectem o movimento. O mesmo já não acontece nas restantes etapas, pois o veículo irá tentar corrigir alguns atrasos ou adiantamentos em relação ao tempo planeado de início.

Na chegada a um ponto são efectuadas um conjunto de tarefas:

- 1) Registo da hora de chegada;
- 2) “Retirada” das pessoas do veículo (quando existem), e registo da chegada do cliente (se existe);
- 3) Identificação do pedido de embarque neste ponto, e simulação das novas chegadas dos clientes;
- 4) Alteração da hora de partida para a hora actual;
- 5) Dependente da chegada dos clientes o veículo efectua:

- a. Chegou antes do veículo, efectua-se a entrada dos clientes. Regista-se os dados.
 - b. Chegou depois do veículo e anterior ao previsto, então efectua-se a entrada na hora de chegada do cliente rectificado a hora de partida para a hora de chegada do cliente. Regista-se os dados de chegada.
 - c. O cliente chegou depois do veículo e da hora prevista, mas esta dentro do limite espera definido pelo sistema, então efectua-se a entrada na hora de chegada do cliente rectificado a hora de partida para a hora de chegada do cliente. Regista-se os dados de chegada.
 - d. O cliente não chega dentro do limite definido pelo sistema, então regista-se a não chegada do cliente e a hora de partida será o limite máximo de espera.
 - e. Só se altera a hora de partida, quando a nova hora é superior à anterior.
- 6) Com base na hora de partida e outros factores calcula-se a hora de chegada ao próximo ponto. Neste ponto aqui pode existir uma alteração na sequência do percurso enviada pela aplicação principal de modo a não penalizar os próximos clientes.

O veículo, quando se encontra atrasado, o tempo de espera será sempre dependente do pedido e no tempo máximo definido pelo sistema, quando este anda mais atraso do que o tempo máximo nesse situação o veículo não espera, limitando-se a efectuar a entrada da pessoas presente.

O movimento do veículo consistem em somar o tempo que se encontra parada para entrar/sair dos clientes com o tempo gasto entre duas passagens. No ponto anterior vimos como calcula-se o tempo gasto para fazer entrar ou sair os clientes. Sempre que se simulava a chegada de cliente guardava-se a possível hora de partida do veículo que é agora usada para calcular a hora de chegada ao próximo ponto.

A chegada ao próximo ponto é calculada com base na hora da partida soma a variável tempo (tempo representa o tempo gasto entre os dois pontos). A variável tempo tem como base um valor médio que seria gasto para ir entre os dois pontos adicionado um valor de forma a corrigir o tempo de atrasos/adiantamentos em relação ao planeado adicionado um factor corresponde ao fenómenos atmosféricos e por últimos é adicionado uma factor aleatório, que esta ligado a correcção do tempo e do fenómenos atmosféricos.

5. AVALIAÇÃO DO SISTEMA

A simulação possibilita avaliar o sistema sem ter grande custo na fase inicial, permitindo deste modo analisar quais serão as melhores escolhas para um projecto face às reais necessidade dessas áreas. O transporte público tem os seus principais custos na estrutura (veículos e condutores). Com uma simulação na fase inicial do projecto esses custos são desprezáveis, permitido manipular desse dois factores de forma a identificar qual deve ser a estrutura inicial para um projecto desta natureza.

O primeiro factor identifica o número de veículos necessários para responder à estimativa de procura, para contabilizar os veículos fazendo variar a variável e verifica-se quais o número ideal. O número ideal deve ser suficiente para fazer o transporte muito perto dos cem por cento, mas também dever apresentar uma taxa de ocupação muito grande. Não se justifica fazer o transporte a cem por cento se este obrigar a um custo superior ao custo do envio de veículo privado (táxi) para fazer esse transporte.

As frota deve ser heterogénea, permitindo desta forma identificar quais as capacidades dos veículos a adquirir ou a afetar ao DRT. A aplicação tem como base uma heurística que, preferencialmente, escolhe primeiro os veículos de maior dimensão. Numa primeira impressão isto pode significar um custo adicional, uma vez que, os veículos de maior dimensão operam a um custo (por veículo) mais elevado. Mas se durante a simulação se contabilizamos a taxa de ocupação permite a eliminação do veículo com menor taxa de ocupação, aproximando-se da frota adequada para a procura.

As características do veículo também devem ser consideradas, sobretudo quando se transporte com dificuldade em locomoção. Na análise a procura esta factor pode ser logo identificado, porém não será este um custo adicional grande, pois os veículos de pequena dimensão já satisfazem as reais necessidades. O local de paragem será mais importante para escolher melhor as características dos próprios veículos. Este factor já é estratégico, e que deve ter a procura. A flexibilidade também reside dos locais de paragem, se o sistema for muito flexível o local de paragem é na porta dos clientes o que implica veículo pequeno, enquanto se for pouco flexível já se ponde usar veículo maior, mas esta poderá depender da procura.

A identificação de percurso regular permite a execução de mudança mais suave para um novo sistema de transporte onde os clientes tenham de informar que deseja efectuar uma viagem. Os percursos regular terão de ter uma taxa de ocupação elevada, de forma a complexar a existência desse percurso, sendo que os pedidos muito perto desse percurso terma satisfeito por outro veículo, para além disso ficam a partida recurso reservado para esse percurso. A vantagem de ter esse tipo de serviço em relação ao transporte convencional reside no facto que os percursos regular serão pouco e deixa assim o veículo disponível para fazer percurso alternativo. Os percursos regular serão principalmente na hora a que acontece o maior movimento de pessoas.

Com a identificação dos recursos necessários para o funcionamento do sistema, pode-se facilmente calcular os custos fixos associado ao mesmo. Em relação aos custos variáveis pode-se chegar a um valor que poderá corresponder a realidade, assim como as receitas que o sistema terá. Tanto os custos variáveis como as receitas estão directamente ligadas ao número de pessoas transportadas. Porém para o sistema ser viável é necessário acrescentar os restantes custos que tem um peso bastante no sistema de transporte e em muitos casos é o suficiente para não se conseguir implementar.

Como base no resultado obtido pode-se analisar qual a viabilidade do projecto com esta natureza, ou saber qual é o prejuízo que este projecto traz podendo ser absorvido por outra parte ou ser objecto de subsídios. O prejuízo será menor em comparação se utilizar um serviço de transporte convencional de forma a garantir a mobilidade a todas as pessoas.

O simulador permite identificar as áreas onde se justifica a sua implementação e outras não. Porém uma área pode não ser atractiva no presente, mas mais com o evoluir de áreas próximas está a poder vir a ser. Neste contexto o simulador pode ser usado como ferramenta estratégica do sistema, devido a não transferir mais custos. O sistema poderá ser um complemento ao transporte público convencional em hora de menor procura, uma vez que este gasta menos recursos.

A simulação pode ser usada na fase inicial no projecto para analisar a viabilidade do projecto, mas também numa fase posterior como objectivos estratégicos. A comunicação com os clientes será um factor importante para o sucesso do sistema, neste sentido o sistema deverá apresentar diferente forma de comunicar com o sistema, disponibilizando um conjunto de nova tecnologia, mas não descurando as existentes bem como os sistemas tradicionais.

O sistema terá uma procura progressista, isto é, com o decorrer do tempo o número de clientes venha aumentado, devido ao conhecimento que se tem sobre o sistema. Este novo conceito tem de ser assimilado pelo cliente, no sentido que os clientes terão de indicar as suas necessidades e não esperar por uma oferta regular e frequente. Para ter uma oferta regular de transporte é necessário que os veículos tenham uma taxa de ocupação razoável que não corresponda a encontrada nas áreas pouco densas, assim o transporte a pedido deverá ser a resposta a este tipo de procura e assim garantir o direito a mobilidade a todos os elementos da sociedade não excluindo ninguém deste direito.

6. CONCLUSÕES

A baixa procura em determinadas áreas faz com que o transporte público seja já praticamente inexistente. Assim, é necessário desenvolver um novo sistema de transporte público para estas áreas: o transporte a pedido (DRT) poderá ser um deles. Porém, é preciso analisar quais devem ser as condições em que o sistema deve funcionar, permitindo que este seja viável e sustentável a longo prazo. O sistema requererá um sistema informático dotado de tecnologia que permita fazer a gestão e coordenação automática ou semi-automática, devido ao grande esforço e complexidade que exigem estes dois processos. O planeamento será aquele que exigirá mais esforço, devido à sua enorme complexidade. A existência de meios de comunicação entre a central coordenadora, veículos e clientes, é outro factor crítico neste sistema, pois sem ela muitas das funcionalidades descritas anteriormente não poderiam ser operacionalizadas.

Ao nível do planeamento estratégico do sistema de transporte DRT, o uso de um simulador vai permitir identificar quais as melhores políticas e estratégias a seguir pelo sistema a implementar. Através de uma estimativa da procura, também permitirá definir a estrutura a implementar e analisar a viabilidade do sistema.

O transporte a pedido está dependente da solicitação efectuada pelos clientes. Assim, quando se pretende implementar um sistema deste tipo, é necessário ter em atenção a procura esperada para as áreas de actuação, investigando o seu comportamento e as suas características. O simulador deve integrar procedimentos próprios para os pedidos regulares, os movimentos com alguma frequência temporal, a procura concertada, e a procura dispersa. Em qualquer tipo de procura, apresenta diferenças ao nível da flexibilidade mas também da regularidade, que permitirá definir diferentes estratégias operacionais.

O movimento do veículo pode ser determinante para analisar a forma como o sistema deve reagir numa situação real. A simulação deve reflectir o comportamento do cliente, motorista, mas também do meio ambiente e a correcção de tempo de forma a cumprir os horários estabelecidos com os clientes. As situações imprevistas deverão ter uma resposta rápida por parte do sistema, podendo obrigar a reestruturação do percurso e por consequência uma necessidade de informação dos intervenientes.

A simulação permite avaliar o sistema sem ter grande custo, identificando quais serão as melhores escolhas para um projecto de acordo com as reais necessidades. A definição da frota e as suas características serão sem dúvida uma dos principais factores a ter em conta de forma a responder a procura esperada. As paragens serão outro factor que afectará a flexibilidade do sistema e a frota a adquirir. A identificação de percurso regular permite a execução de mudanças mais suaves para um novo sistema de transporte onde os clientes tenham de informar que desejam efectuar uma viagem.

Com a identificação dos recursos necessários para o funcionamento do sistema, pode-se facilmente calcular os custos. Com base no resultado obtido pode-se assim analisar a viabilidade ou identificar áreas onde possa ser

viável. A simulação é essencial como base para o estudo sobre a viabilidade ou a definição estratégica do sistema de transporte, permitindo também identificar áreas de actuação e as características dos veículos a incorporar nas frotas.

8. REFERÊNCIAS

Bouthilier, A. (2005) A cooperative parallel meta-heuristic for vehicle routing problem with time windows. *Computers & Operations Research*, 32m 1685-1708.

Garix, T., Artigues, C., Feillet, D. and Josselin, D. (2010) Vehicle routing problem with alternative paths: An application on-demand transportation. *European Journal of Operational Research*, 204, 62-75.

Oliveira, J.V. (2009) Sistema de apoio à gestão de um serviço de transporte público de passageiros. Dissertação de Mestrado Engenharia de Sistema, Universidade do Minho.

Oliveira, J.V., Telhada, J. and Carvalho, M.S. (2009) Integração e automatização de algoritmos no planeamento de rotas para um sistema transporte flexível de passageiros. IX Congreso Galego de Estatística e Investigación de Operacións, Ourense.

Xiang, Z., Chu, C. and Chen, H. (2006) A fast heuristic for solving a large-scale static dial-a-ride problem under complex constraints. *European Journal of Operational Research* 174, 1117-1139.