

**O DESAFIO DE NOVAS TECNOLOGIAS NO  
TRANSPORTE URBANO DE PASSAGEIROS:  
O CASO DO TRANSPORTE PÚBLICO INDIVIDUALIZADO**

— Leonardo Hitoshi Hotta —

— Antônio Néelson Rodrigues da Silva —

5º lugar

**A CIDADE NOS TRILHOS**





## RESUMO

Este trabalho apresenta uma nova tecnologia para transporte público urbano como alternativa de qualidade para o transporte. O intuito é diminuir a dependência por transporte individual, que tem aumentado sua participação como escolha modal, em parte como consequência da falta de planejamento de um transporte coletivo de qualidade. Trata-se do Transporte Público Individualizado (TPI) ou Personal Rapid Transit (PRT). Embora seja ainda uma tecnologia pouco conhecida, o TPI apresenta um potencial que deve ser explorado, já que possui características de transporte individual e ao mesmo tempo, é um serviço de transporte público. Para tornar possível uma comparação entre esta alternativa, ainda inexistente, e o transporte por ônibus em uma cidade média, foi utilizada uma ferramenta de simulação. Além de atender à urgência da busca de alternativas tecnológicas para atrair o usuário do transporte individual, a decisão de pautar os estudos para implantação de novas tecnologias em simulações robustas pode reduzir os riscos de decisões inadequadas. A comparação permitiu observar que o sistema do TPI atenderia à demanda por transporte em uma cidade média, em substituição ao transporte por ônibus, com desempenho superior em termos de tempo para atendimento à demanda, tempo de viagem e velocidade média operacional. Embora esse estudo não esgote o assunto, já que às atividades aqui conduzidas devem se somar outras avaliações, dos pontos de vista econômico, social e ambiental, os resultados obtidos mostraram que o TPI pode ser uma alternativa interessante para transporte público urbano. Isso dá novo alento a prosseguir com pesquisas em soluções tecnológicas diversas ao que existe atualmente, o que certamente contribui para a busca por um transporte público de qualidade.

## **SUMÁRIO**

### **1. INTRODUÇÃO**

- 1.1. Caracterização do problema
- 1.2. Abrangência do trabalho
- 1.3. Objetivo

### **2. TRANSPORTE PÚBLICO INDIVIDUALIZADO**

- 2.1. Conceitos
- 2.2. Histórico
- 2.3. Projeto ULTra

### **3. AVALIAÇÃO DE PROJETOS EM TRANSPORTE**

### **4. METODOLOGIA**

- 4.1. Tempo de atendimento ao passageiro
- 4.2. Capacidade máxima do sistema
- 4.3. Tempo médio de viagem
- 4.4. Velocidade operacional média

### **5. RESULTADOS**

- 5.1. Tempo de atendimento ao passageiro
- 5.2. Capacidade máxima do sistema
- 5.3. Tempo médio de viagem
- 5.4. Velocidade operacional média

### **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

## 1. INTRODUÇÃO

Nesta seção é feita uma breve descrição do problema tratado, que está centrado na necessidade premente de se considerar novas tecnologias de transporte de passageiros em cidades brasileiras. Destaca-se que essa é uma alternativa importante de planejamento, dado que pode ser uma forma de diminuir a dependência do transporte individual. Ressalta-se também a importância de que esse tipo de decisão seja baseada em avaliações técnicas bem fundamentadas. Também nesta seção são discutidos a abrangência e o objetivo que se pretende atingir com este trabalho.

### 1.1. Caracterização do problema

Com o contínuo aumento de pessoas morando em áreas urbanas, o que conseqüentemente afeta a sua distribuição espacial, as cidades têm enfrentado muitos problemas para fornecer transporte eficaz para a população. Em decorrência disso, a opção de muitos usuários pelo transporte motorizado trouxe uma série de problemas: congestionamentos, acidentes, poluição, perda de qualidade de vida e custos crescentes para a sociedade.

Estes problemas são agravados pelo uso cada vez mais intenso do transporte individual em detrimento do transporte público. Isto se dá, em grande medida, porque o transporte público não tem os atrativos do transporte individual, que permite maior flexibilidade no tempo e no espaço, além de oferecer deslocamento porta a porta, conforto, privacidade, agilidade e supostamente conferir status para o proprietário.

O transporte individual trouxe, porém, uma série de conseqüências negativas, tais como: aumento da poluição e do consumo de energia, quase que exclusivamente de fontes não-renováveis. É um meio excludente, uma vez que parcela representativa da população não pode conduzir um veículo, além de provocar o isolamento das pessoas em seus veículos. Necessita ainda de maiores investimentos na infra-estrutura viária, já que os veículos particulares, proporcionalmente, ocupam mais espaço para circular e estacionar. Para agravar ainda mais o quadro, muitas vezes estes investimentos são feitos de forma equivocada.

Para reverter esta situação é necessário que haja a retomada do uso do transporte público. Mas como tornar o transporte público atraente? Conforme Zarattini (2004), em média, o trajeto feito pelo ônibus demora 2,3 vezes mais que a mesma viagem feita pelo automóvel particular. A falta de flexibilidade do transporte público obriga, freqüentemente, o usuário a caminhar centenas de metros, ou mesmo quilômetros, e esperar por dezenas de minutos pela passagem do veículo. Este desconforto pode ser acompanhado de caminhadas por locais inapropriados e sob condições climáticas adversas e inseguras. Ainda, muitos deslocamentos necessitam de transbordo para serem completados. Isso inclui mais paradas e esperas, que podem ser semelhantes às condições descritas acima. Outro incômodo é o fato de que a viagem pode ser feita em pé e em veículos lotados, tão comuns ao transporte público. Também há limitações para o transporte de cargas.

Tendo em vista estas considerações é necessário tornar o transporte público tão atraente quanto o automóvel, para que todas as pessoas possam ter direito a um transporte de qualidade. Para tanto, é necessário que este trabalho de qualificação do transporte público seja feita de forma técnica, com parâmetros claros e objetivos, avaliando de forma global as necessidades de mobilidade da sociedade.

## 1.2. Abrangência do trabalho

Este trabalho apresentará um sistema de transporte intermediário ao transporte público e individual: o Transporte Público Individualizado (TPI), também conhecido como Personal Rapid Transit (PRT) ou Personal Automated Transit (PAT). O TPI pode ser considerado público, uma vez que é disponível a todos que podem contratar este serviço, e individual, porque é oferecido para uma a quatro pessoas (HOTTA et al., 2005).

Esta tecnologia ainda é experimental, mas atende às necessidades discutidas anteriormente de oferecer um transporte público com qualidades do transporte individual. Neste trabalho serão apresentadas as principais características do TPI e, com maiores detalhes, o projeto ULTra (Urban Light Transport). Este projeto é fruto de uma parceria entre a empresa ATS Ltd. e a Universidade de Bristol, e está sendo construído para servir como transporte entre o estacionamento e o terminal de passageiros do aeroporto de Heathrow, na Inglaterra.

O foco deste trabalho está, no entanto, no uso de ferramentas como a simulação como um meio de avaliar projetos de transporte, que reduz o risco de decisões inadequadas na análise de situações ainda não existentes. Esta característica é aqui demonstrada através de um estudo de caso realizado na cidade de São Carlos, com o qual é possível comparar o desempenho entre o transporte existente por ônibus e, utilizando a simulação, por TPI.

## 1.3. Objetivo

O objetivo deste trabalho é apresentar uma nova tecnologia, o Transporte Público Individualizado (TPI) e avaliar, através de simulação, sua viabilidade como transporte de passageiros de qualidade.

## 2. TRANSPORTE PÚBLICO INDIVIDUALIZADO

Neste capítulo serão apresentados conceitos e histórico do TPI, e as características técnicas e operacionais do sistema do projeto ULTra.

### 2.1. Conceitos

Segundo Kieffer (1988) são sete as características que definem o sistema do TPI:

- Veículos totalmente automatizados, sem condutor humano;
- O sistema possui veículos ligados às vias próprias;
- Os veículos têm capacidade para até 4 pessoas, que viajam juntas por escolha;
- As vias podem ser elevadas, subterrâneas ou ao nível da rua;
- Os veículos podem percorrer toda a rede e parar em qualquer estação, as quais se situam fora da linha principal;
- O TPI oferece viagem entre origem e destino sem a necessidade de transferência ou paradas em estações intermediárias e;

- O TPI pode estar disponível por demanda, segundo o desejo do usuário, ou em horários fixos como um ônibus.

Os veículos possuem controle automatizado, onde o usuário solicita a presença de um veículo em um painel existente na estação (Figura 1) e pode informar o seu destino neste mesmo painel ou em um painel existente dentro do veículo. A trajetória pode ser realizada de forma a minimizar distâncias e tempos de viagem, evitando vias congestionadas ou com acidentes.

Por possuir estações fora da via principal, ao contrário dos trens convencionais (inclusive de metrô), o tráfego na via não é paralisado pela parada de um veículo (Figuras 2 e 3) e os veículos do TPI, por serem menores e mais leves, exigem menores investimentos nas vias do que o metrô e trem, além de permitir um controle mais fácil, pois necessitam de equipamentos para frenagem mais leves e mais eficientes, permitindo um headway menor. Assim poderia ter um nível de segurança similar ao metrô, ao contar com a manutenção contínua de pessoal especializado.



Figura 1 - Ilustração de uma estação do TPI  
Fonte: [www.atsltd.co.uk](http://www.atsltd.co.uk)

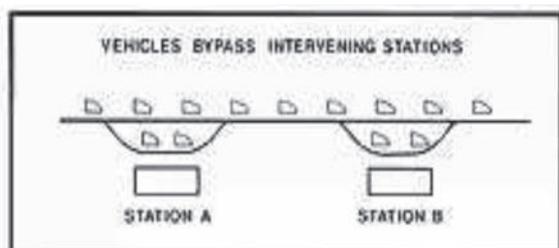


Figura 2 - Esquema da estação do TPI  
Fonte: <http://faculty.washington.edu/jbs/itrans/prt>

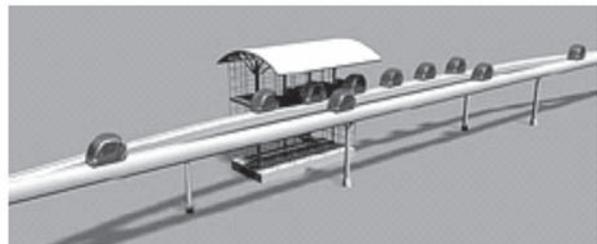


Figura 3 - Ilustração da estação do TPI  
Fonte: [www.taxi2000.com](http://www.taxi2000.com)

Os veículos têm capacidade para levar pequenas cargas, bicicletas ou cadeira de rodas (Figuras 4 e 5). Os veículos podem ser pequenos carros (Figura 6) ou cabines (Figura 7), oferecendo a comodidade e a privacidade de um automóvel. Os veículos do TPI dispensam a condução do veículo, que é uma atividade estressante ou mesmo traumática para as pessoas. Esta característica permite que as pessoas desenvolvam outras atividades enquanto dirigem-se ao seu destino.



Figura 4 - Acesso a bicicletas  
Fonte: [www.atsltd.co.uk](http://www.atsltd.co.uk)



Figura 5 - Acesso a cadeirantes  
Fonte: [www.atsltd.co.uk](http://www.atsltd.co.uk)



Figura 6 - Veículo do TPI  
Fonte: [www.taxi2000.co.uk](http://www.taxi2000.co.uk)



Figura 7 - Veículo do TPI  
Fonte: <http://faculty.washington.edu/jbs/itrans/prt>

O TPI dispensa grandes áreas de estacionamento, que são extremamente caras nas regiões centrais das cidades, uma vez que o sistema é rotativo. Estudos realizados mostram que no caso de um edifício de escritórios, se todas as pessoas utilizassem carros, seria necessário construir um outro edifício 20% maior para atender a demanda por estacionamento (FERRAZ e TORRES, 2001).

O TPI permite uma cobrança proporcional à utilização do sistema, uma vez que é possível cobrar uma tarifa composta por uma parcela fixa, referente à disponibilidade do sistema e outra parcela, variável, que depende da distância percorrida.

O TPI pode estar disponível como o ônibus, ou seja, para qualquer um que possa pagar o valor da tarifa, isso inclui parte da população que não tem condições de adquirir seu próprio veículo. É também mais democrático em relação aos automóveis particulares, uma vez que crianças, adolescentes, idosos, portadores de necessidades especiais ou pessoas que não queiram conduzir podem utilizá-lo. Teste feito no condado de Cardiff, no País de Gales, aponta que pessoas com educação básica podem facilmente utilizar o TPI (ADVANCED TRANSPORT SYSTEMS LTD, 2003).

Uma grande vantagem do TPI é que a maioria dos sistemas testados emprega tração baseada em energia elétrica, que consomem menos energia e utilizam fontes que não são poluentes no ambiente urbano. Isto pode resultar em um ambiente mais saudável e com menor dependência de fontes de energia não-renováveis. Esta característica favorece os países com deficiência nessas fontes (LOWSON, 2003) e para os países com uma matriz energética baseada em fontes renováveis, surge uma oportunidade para diminuir a dependência de importação de fontes não-renováveis.

O Protocolo de Quioto exige que os países desenvolvidos reduzam as suas emissões de CO<sub>2</sub>. A utilização do TPI ajudaria a atingir esta meta, pois permite que a energia eólica, energia hidroelétrica e a energia solar sejam usadas separadamente ou em conjunto para este fim. Isso torna o TPI um sistema potencialmente sustentável em termos de energia para o transporte. As vantagens de um sistema sustentável de transporte tornam-se evidentes à medida que as reservas de combustíveis fósseis declinam. Os custos de energia de fontes renováveis devem permanecer constantes em um sistema verdadeiramente sustentável (JOHANSSON e MARTENSSON, 1999), enquanto os custos de fontes não-renováveis, tais como o petróleo, continuam a subir à medida que estão acabando.

Naturalmente, nem todos os benefícios acima têm ainda fundamentação prática, uma vez que o sistema nunca foi plenamente implantado em nenhuma cidade no mundo. Ainda há determinadas barreiras e incertezas a esse respeito, pois o sistema não passou da fase experimental ou de protótipos (ZUYLEN e OUWCHAND, 2004).

Para Vuchic (1981) o conceito básico do TPI é paradoxal, pois combina pequenos veículos, ideais para baixas densidades, com vias permanentes factíveis apenas em rotas com tráfego pesado. O custo para a implementação de uma via permanente capaz de servir o TPI chega a ser doze vezes superior à construção de uma via para tráfego de automóveis comuns. Cabe destacar que um sistema viário como o existente atualmente é o mais caro do conjunto de sistemas urbanos (sistema viário, sanitário, energético e de comunicações), já que normalmente abrange mais de 50% do custo total de urbanização (MASCARÓ, 1989). Isto indica que, caso o TPI fosse implantado, o custo do sistema viário, proporcionalmente, iria aumentar consideravelmente. Além disso, uma vez implantada, a via permanente apresentaria grande dificuldade para a sua mudança, a exemplo dos VLT, trólebus e metrô.

O TPI necessita de uma central automatizada e pessoal especializado para a sua operação. Também necessita de um pátio de manutenção em localização adequada e de equipamento especial para retirar os veículos avariados da via de forma rápida, sem prejudicar a operação do sistema. A maioria dos sistemas de TPI testados consistia em uma única via. Dessa forma, caso um veículo pare na via ou esta fique danificada, a via fica impedida de promover o deslocamento dos outros veículos. Esta característica, junto com outras desvantagens, tornou os VLT e trólebus desinteressantes.

O esforço para promover a troca do transporte de automóveis particulares para o

transporte público tem surtido efeito limitado ou nulo. Isso sugere que as pessoas não querem ceder o direito de circular com seus próprios automóveis em troca de outro sistema. O mesmo desafio existiria na troca pelo sistema de TPI. Mudança cultural, promoção e educação seriam necessárias para as pessoas começarem a adotar um novo sistema que difere consideravelmente do sistema existente (BUCOLO et al., 2003).

Para a implantação do TPI é necessário desenvolver veículos e vias resistentes a ações de vandalismo, tão comuns nas cidades. Pode-se tomar como exemplo, os veículos do transporte coletivo (ônibus e trens), que sofrem atos como pichações, depredações, mau uso, etc. Muitas vezes, estes atos comprometem a operação do sistema de transporte, portanto é necessário investir na segurança da estrutura (via e veículos) para manter o serviço disponível e com qualidade para os usuários.

Pela envergadura do sistema de TPI seria necessária a intervenção do governo para alavancar recursos necessários a este projeto, inclusive com financiamento público, o que é difícil em muitos países, pois seus governos estão sob pressão para diminuir gastos e aumentar o foco em investimentos em saúde, educação, assistência social, etc.

## **2.2. Histórico**

A origem do TPI remonta às décadas de 1950 e 1960, quando alguns pesquisadores vislumbraram a possibilidade de utilizar pequenos veículos correndo sobre trilhos para efetuar o transporte urbano, em contraponto ao automóvel. Chegaram a construir protótipos que, apesar dos problemas que enfrentaram, contribuíram para o aperfeiçoamento do sistema de TPI.

Após estes estudos iniciais, relativamente independentes, surgiu uma preocupação política em desenvolver modos de transporte urbano mais econômicos. Em 1966 foi criado o Urban Mass Transportation Administration (UMTA), nos Estados Unidos, comitê para o estudo de alternativas para o transporte de massa. O comitê analisou diversas alternativas de meios de transporte e gerou um relatório (intitulado "Tomorrow's Transportation") com perspectivas otimistas para o desenvolvimento de novas tecnologias, mas a troca de governo federal fez com que o órgão fosse esvaziado (KIEFFER, 1988).

Durante a década de 1970 sistemas semelhantes de TPI foram construídos nos EUA, Alemanha e Japão, que apesar de apresentarem um relativo sucesso, foram abandonados por vários motivos. São exemplos de TPI construídos:

- O Cabintaxi é um sistema de TPI desenvolvido sob patrocínio do Ministério de Ciência e Tecnologia da Alemanha. Ele consiste em cabines com 3 assentos em uma via suspensa. Cada via podia carregar cabines nas duas direções (Figura 8) e as cabines viajavam com headways de 0,5 a 1,2 segundos.

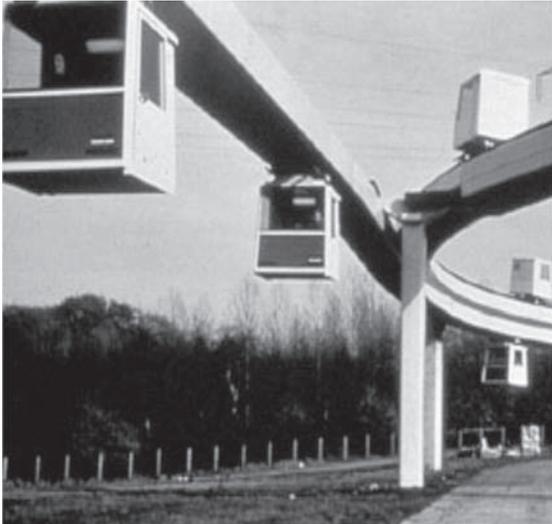


Figura 8 - Cabintaxi em operação  
 Fonte: <http://faculty.washington.edu/jbs/itrans/cabin>

• Em Morgantown, EUA, um sistema similar ao TPI conecta vários campi da Universidade da Virgínia Ocidental (Figura 10 e Figura 11). A construção do sistema foi iniciada em 1971 e foi concluída um ano mais tarde. Extensos testes foram efetuados e, após esta fase, o sistema foi aberto para serviço em 1975. A primeira fase consistiu na construção de 8,4 km de vias, com 45 veículos e 3 estações. O controle era feito a partir de uma estação. Em 1978, o sistema foi fechado para que a segunda fase pudesse ser construída. A frota do sistema foi expandida para 71 veículos e mais 5,6 km foram acrescentados ao sistema; houve a ampliação de uma estação e a construção de mais duas estações. As operações foram recomeçadas em 1979 e desde então está em operação com nível de confiabilidade de 99% (SCHNEIDER, 2005).



Figura 10 - Vista parcial do sistema  
 Fonte [web.presby.edu/~jtbell/transit/](http://web.presby.edu/~jtbell/transit/) Morgantown



Figura 11 - Vista da estação  
 Fonte: [web.presby.edu/~jtbell/transit/](http://web.presby.edu/~jtbell/transit/) Morgantown

- O Computer Controlled Vehicle System (CVS) é um sistema desenvolvido no Japão em 1968. O sistema projetava headway de um segundo. O veículo (Figura 12) pesava 900 kg e possuía capacidade para quatro passageiros. Um modelo em escala real (Figura 13) iniciou operação em 1972 em um subúrbio de Tóquio com 4,8 km de trilhos e 60 veículos. No final dos anos 1970, o programa do CVS foi interrompido (SCHNEIDER, 2005).



Figura 12 - Veículo do CVS

Fonte: <http://faculty.washington.edu/jbs/itrans/cvs>

Figura 13 - Estrutura do CVS

Fonte: <http://faculty.washington.edu/jbs/itrans/cvs>

Estes sistemas e outros não citados foram fundamentais para o desenvolvimento do TPI. Eles incorporaram uma variedade de soluções tecnológicas para suporte do veículo, direção, controle e propulsão, mas todos eles tinham os aspectos básicos de operação do TPI.

De acordo com NJ Transit (2007), existem mais de 90 novos sistemas de tecnologia de transportes em desenvolvimento, incluindo vários sistemas de TPI. Em 2003, a ATRA estudou vários sistemas de TPI sob desenvolvimento, avaliando e comparando suas tecnologias, características e o estado de desenvolvimento. O estudo reafirmou que o TPI é tecnicamente viável e concluiu que as barreiras mais persistentes para a sua implementação são de ordem financeira e política. Chegou também às seguintes conclusões:

- Sistemas de TPI estão evoluindo, porém ainda não estão prontos para o uso público.
- A maioria dos componentes necessários para implementação do sistema de TPI está disponível comercialmente e é usado em outras indústrias. Estes componentes incluem:
  - o Sistemas de controle e comunicação que atingem os níveis necessários de segurança, confiabilidade e desempenho;
  - o Sistemas de gerenciamento de redes e direção embarcada ou de orientação para atingir pequenos headways com objetivo de otimizar a capacidade do sistema,
  - o Sistemas avançados de propulsão e frenagem para atingir o desempenho necessário para um veículo em todas as condições climáticas
- O interesse global pelo TPI e programas de desenvolvimento está aumentando, inclusive com a construção de um sistema no aeroporto de Heathrow em Londres, baseado no sistema ULTra, desenvolvido por uma empresa privada e uma universidade.

### 2.3. Projeto ULTra

O projeto ULTra foi iniciado em 1995, numa parceria da empresa Advanced Transport Systems Ltd. (ATS) e a Universidade de Bristol. Os testes foram iniciados em Cardiff (Figura 14), onde foi construída uma pista de 1,00 km, parte em via elevada com 5,70 m acima do nível de rua e parte ao nível da rua, com subidas e descidas, curvas em ambas direções e uma estação. Os testes duraram dois anos e os dois veículos usados para testes não apresentaram nenhuma falha.

Os veículos do sistema ULTra (Figura 15) possuem capacidade para quatro assentos reclináveis e cintos, ou carga até 500 kg, e atingem uma velocidade de 40 km/h. O veículo é acessível para cadeirantes e pode levar bicicletas. O motor é elétrico, movido à bateria de 2 kW. Esta bateria adiciona 8% ao peso bruto do veículo e é recarregada enquanto o veículo está estacionado. O comprimento do veículo é de 3,70 m, a largura é de 1,40 m e a altura é de 1,80 m. O veículo emite 43 dBA a uma distância de 2,50 m, não emite poluentes atmosféricos no local e o consumo de energia é de 0,55 MJ por passageiro.km.

A via, segregada do trânsito, pode ter raio de curvatura mínima igual a 5,00 m. A largura total da via é 2,10 m. A largura da via, quando em nível da rua, é de 1,75 m, com largura da pista interna de 1,60 m e altura de 0,25 m. Com pneus de borracha, o veículo tem capacidade para subir rampas com até 20 %, mas por questões de conforto, são admitidas rampas máximas de 10 % em aclave e 6,25 % em declive. Seu sistema de frenagem permite uma desaceleração de 10,2 m/s<sup>2</sup>. A infra-estrutura utilizada é modular, ou seja, permite que seja reaproveitada.



Figura 14 - Vista do projeto ULTra  
Fonte: [www.atsltd.co.uk](http://www.atsltd.co.uk)



Figura 15 - Veículo do ULTra  
Fonte: [www.atsltd.co.uk](http://www.atsltd.co.uk)

O controle do ULTra é dividido em três níveis: Automatic Vehicle Control (AVC), que determina a rota a ser seguida pelo veículo; Automatic Vehicle Operation (AVO) responsável pelas atividades do veículo, como aceleração e abertura das portas e Automatic Vehicle Protection (AVP), que protege o veículo, impedindo que o mesmo passe por situações inseguras.

O controle central gerencia a frota de veículos de forma sincronizada: cada veículo recebe informação do ponto onde está parado e o veículo só parte quando houver uma rota livre. Este controle também gerencia o tráfego de veículos vazios e os direciona para os locais com demanda.

Os veículos são controlados de forma autônoma. Uma vez que o veículo recebe a trajetória a ser cumprida, não há mais nenhuma intervenção a ser feita pelo controle central. Para o veículo manter a trajetória, o veículo possui um sistema de condução que controla a transmissão e a direção que usa um sensor de posição lateral.

A via possui um conjunto de laços indutivos que interagem com sensores a laser ou ultra-som, operando por blocos fixos, semelhantes à operação de trens. Os blocos fixos são definidos pelos laços indutivos ajustados na via que interagem com os sensores no veículo.

Foi feita uma pesquisa para avaliar o uso do sistema e 100% dos participantes avaliaram como satisfatória ou muito satisfatória a experiência com o sistema (ADVANCED TRANSPORT SYSTEMS, 2003).

### **3. AVALIAÇÃO DE PROJETOS EM TRANSPORTE**

A avaliação de projetos é uma atividade que envolve diversos atores, tais como instituições, comunidades, empresas, etc., discutindo sobre aspectos ambientais, institucionais, econômicos e tecnológicos de investimentos em busca de uma meta.

Projeto pode ser definido como um conjunto sistemático de informações que serve de base para a tomada de decisões relativas à alocação de certo montante de recursos (POMERANZ, 1985). Segundo Ferreira e Gomes (1994), a decisão é parte da vida cotidiana, porém é uma das tarefas mais complexas e das mais controvertidas. Para Furtado e Kawamoto (1997), um problema de tomada de decisão é caracterizado por um conjunto de objetivos, alternativas e valores. Sobre este conjunto é necessário considerar as várias soluções possíveis, chamadas ações potenciais.

A complexidade em se conduzir a avaliação de projetos tornou necessário o desenvolvimento de técnicas. Segundo Pomeranz (1985), a elaboração de um projeto constitui, assim, uma técnica de análise cujo objetivo é indicar quais os resultados que podem ser obtidos pela aplicação de um montante de recursos em diferentes usos alternativos. Conforme Ferreira e Gomes (1994), tem-se que escolher entre possíveis alternativas que retratam diferentes pontos de vista, considerando toda uma multiplicidade de fatores direta e indiretamente relacionados com as possíveis conseqüências da decisão a ser tomada.

Em Furtado e Kawamoto (1997) foi definido, de forma sintética, que o objetivo da tomada de decisão em transportes é o de auxiliar o desenvolvimento de programas, planos e alternativas, que tenham como propósito alocar recursos disponíveis para a resolução de um problema de transportes. Tendo em vista o montante de recursos, a duração e a extensão da intervenção e o resultado final, o planejamento em transportes requer métodos precisos e transparentes para a definição do conjunto de alternativas relevantes para a resolução de um problema.

Dentre as ferramentas que podem auxiliar na tomada de decisão, destaca-se a simulação, que segundo Fu, apud Portugal (2005), permite representar ou modelar o comportamento próprio e as interações dos elementos de um sistema para permitir uma avaliação prévia do seu desempenho. Ela permite quantificar os efeitos de várias mudanças no sistema. Simplificadamente, ele é um instrumental descritivo para estimar como o sistema deverá operar se ele for projetado de um determinado modo.

Neste trabalho a simulação é utilizada como uma ferramenta para estimar a operação do TPI numa cidade média brasileira. Com os resultados obtidos a partir da simulação torna-se possível comparar a operação existente por ônibus com um sistema de TPI, ainda não existente. Além de atender à urgência da busca de alternativas tecnológicas para atrair o usuário do transporte privado, a decisão de pautar os estudos para implantação de novas tecnologias em simulações robustas pode reduzir os riscos de decisões inadequadas.

## 4. METODOLOGIA

Neste estudo é feita uma comparação, em um estudo de caso em uma cidade média brasileira, entre a operação por ônibus existente atualmente e o TPI, numa simulação feita a partir dos dados do projeto ULTra. Os seguintes parâmetros são avaliados para fins de comparação:

- Tempo de atendimento ao passageiro;
- Capacidade máxima do sistema;
- Tempo médio de viagem;
- Velocidade operacional média.

O estudo de caso foi feito na cidade de São Carlos (SP), com cerca de 210.000 habitantes. Nela o transporte coletivo é operado, sob concessão da prefeitura, por uma empresa privada que atende a uma demanda de cerca de 65.000 viagens por dia. Os procedimentos de cálculo dos parâmetros mencionados acima são detalhados na seqüência.

### 4.1. Tempo de atendimento ao passageiro

Esta atividade tem o objetivo de avaliar os tempos de atendimento do TPI e compará-los com os do sistema de ônibus. Para realizar a simulação do atendimento é utilizado o seguinte conjunto de padrões para estimar parâmetros de operação de um sistema de TPI para a cidade de São Carlos:

- O padrão de chegadas é considerado estocástico. Este padrão é levantado observando o processo de chegadas de passageiros em um ponto de parada num corredor de ônibus da cidade de São Carlos.
- O padrão de atendimento é composto de dois movimentos:
  - O tempo entre a chamada do veículo e sua chegada à estação é considerado estocástico, com base no resultado do projeto ULTra.
  - O tempo para o passageiro embarcar e informar seu destino é considerado determinístico, com base em observação da média dos tempos observados em embarques em ônibus, mais um tempo para a informação do destino.
- É considerado o padrão de atendimento tipo FIFO (First In, First Out), ou seja, o primeiro cliente a chegar à estação é o primeiro cliente a ser atendido.

- Haverá apenas um canal de atendimento em cada estação.
- Existirá apenas um canal de serviço em cada rota, dada a natureza da via.
- A população é considerada infinita, apesar da população que utiliza ônibus ser finita. A capacidade de armazenamento do sistema também é considerada infinita.

O padrão de chegadas foi obtido numa parada de ônibus pela medida dos intervalos de chegadas consecutivas de passageiros. Em seguida, o tempo entre cada chegada de ônibus e sua partida (ou o instante quando o ônibus fecha a porta após o último passageiro embarcar) foi registrado. Foram utilizados apenas tempos de embarque quando este fosse somente de um passageiro, pois não inclui os atrasos produzidos pela formação de fila de passageiros. A tabulação dos dados de campo deu a distribuição de intervalos de chegadas consecutivas entre as paradas de ônibus, assim como o tempo médio de embarque por passageiro. Esta informação, associada com a geração de números aleatórios, foi a base para a simulação de chegadas de passageiros em estações do TPI. O processo de simulação adotado pode ser resumido na Figura 16 e se encontra detalhado em (HOTTA e SILVA, 2006).

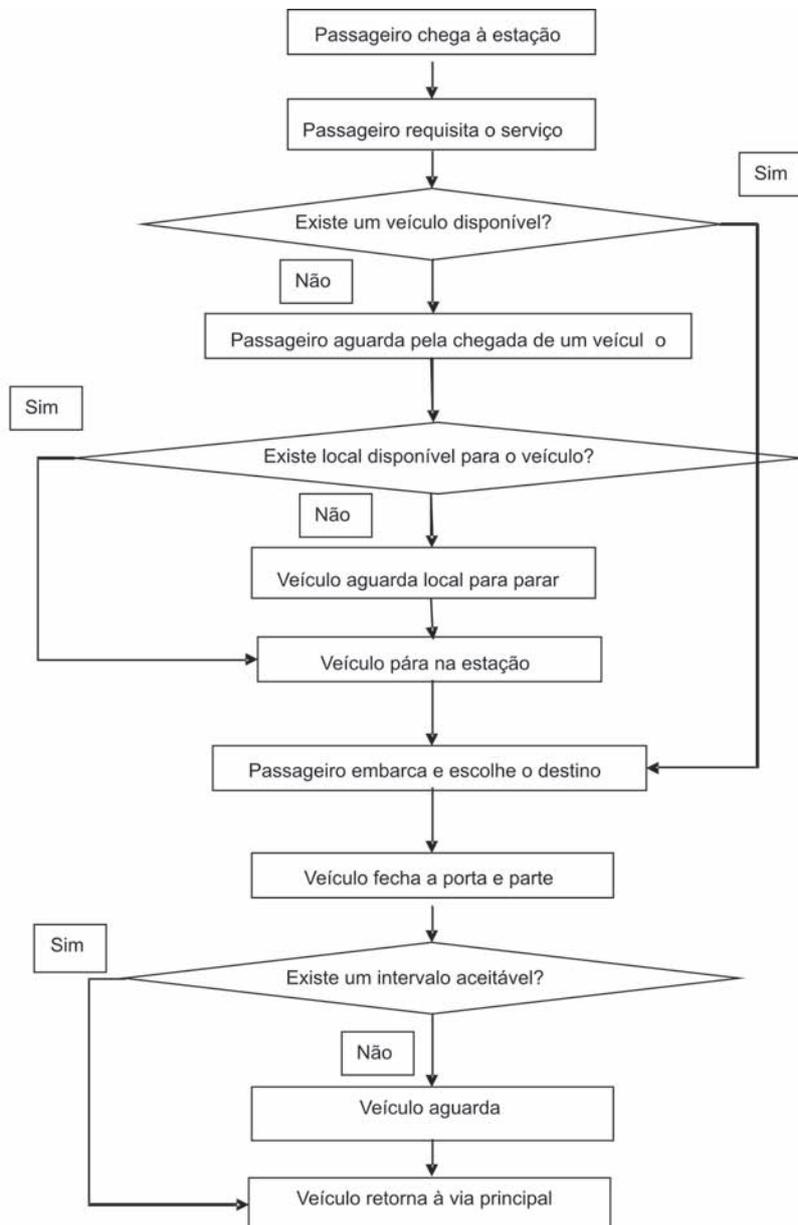


Figura 16 - Fluxograma da simulação de atendimento à demanda no TPI

## 4.2. Capacidade máxima do sistema

Nesta seção é determinada a capacidade máxima de atendimento, ou seja, o número de passageiros que o sistema pode atender em São Carlos. Inicialmente foram levantados os dados da operação de ônibus em São Carlos no trecho mais carregado, para estimar a ocupação. Depois foi levantado o dado referente à capacidade do projeto ULTra. O passo seguinte foi de determinar a ocupação do tramo mais carregado caso as viagens dos usuários de ônibus fossem realizadas de forma direta entre a origem e destino. Para realizar tal atividade foram utilizados dados da pesquisa sobre e desce dos usuários de ônibus realizada na cidade de São Carlos no ano de 2001.

Naquela pesquisa, a área urbana da cidade foi dividida em 41 áreas ou zonas. Estas áreas foram consolidadas em 23 zonas para atender a uma limitação do programa computacional Integration (que permite, no máximo, 25 zonas de origem e destino), utilizado na próxima atividade. As zonas consolidadas foram introduzidas no SIG-T (Sistema de Informações Geográficas para Transportes) TransCAD, com o qual foram definidos os centróides de cada zona.

O TransCAD também foi alimentado com a rede de linhas de ônibus que operam na cidade. Com estes dois mapas, foi gerado um terceiro mapa, que continha os centróides e os tramos que os conectavam através do menor caminho. Com esse terceiro mapa e a pesquisa sobre e desce, o TransCAD foi usado para gerar um mapa com os carregamentos dos tramos, com o que foi possível determinar o tramo mais carregado.

A atividade seguinte é a determinação da capacidade máxima de atendimento à demanda. Para isso foi projetada uma via principal com uma estação off-line (Figura 17). Em primeiro lugar foi verificada a capacidade da via principal, sem veículos entrando ou saindo da estação. O mesmo procedimento foi feito para veículos entrando e saindo da estação. Para simular a parada dos veículos na estação foi utilizado um módulo do programa Integration que simula parada de ônibus. Neste módulo foi necessário o levantamento de tempo de embarque. Este tempo foi observado durante a exibição do vídeo do projeto ULTra.

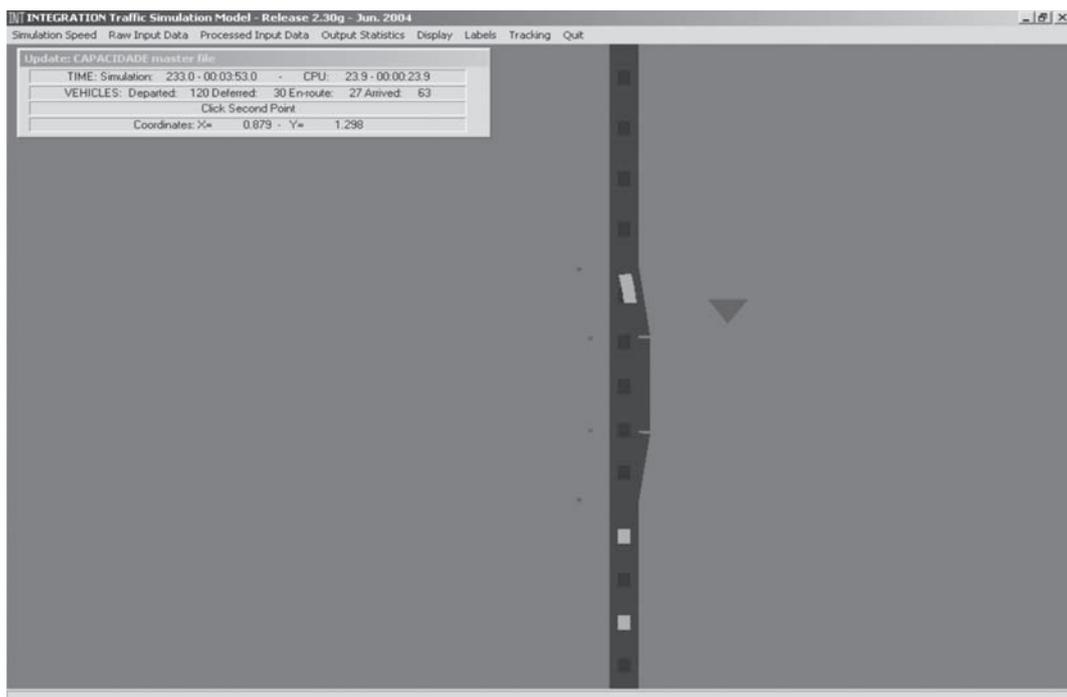


Figura 17 - Imagem da simulação de uma via com uma estação

Partiu-se de uma demanda de 100 veículos/h na via principal e 25 veículos/h na estação até atingir a demanda de 1500 veículos/h na via principal e de 150 veículos/h na estação. Nesta parte da simulação são coletados e armazenados os tempos de viagem e posteriormente calculadas as velocidades operacionais.

Para alimentar o Integration é necessário determinar alguns parâmetros, que foram baseados no trabalho de Szillat (2001):

- A velocidade máxima em um tramo seria de 40 km/h, ou seja, seria a velocidade de fluxo livre.

- A densidade de congestionamento é de 125 veículos/km. Como o TPI opera por sistemas de bloco, foi adotado que cada bloco teria o tamanho do veículo (4 metros). Para prevenir qualquer erro de posição foi adotado o distanciamento mínimo de um bloco entre os veículos. Portanto, em 8 metros (dois blocos) há um veículo, resultando na densidade 125 veículos/km, citada anteriormente.

- A partir da equação (4.1), foi calculada a distância mínima que os veículos devem guardar entre si:

$$\Delta X = t_r + \frac{v^2}{2a} + \varepsilon_{pos} \quad (4.1)$$

$\Delta X$  = distância entre os veículos, em metros;

$t_r$  = tempo de reação, adotado como 0,3 s (SZILLAT, 2001);

$v^2$  = velocidade do veículo em m/s;

$a$  = desaceleração, adotado como 3,0 m/s<sup>2</sup>;

$\varepsilon_{pos}$  = erro de posição, adotado como 4 metros (um bloco).

A partir da distância entre os veículos, é determinada a densidade de tráfego. Com a densidade do tráfego e a velocidade do fluxo, é determinado o fluxo de veículos. Traçando-se o gráfico de fluxo x velocidade, é possível determinar o fluxo de saturação e a respectiva velocidade (velocidade de capacidade).

Com base nestes dados, é possível traçar o modelo de fluxo proposto por Van Aerde (2004). Para tanto, é necessário traçar uma nova relação com as equações 4.2 a 4.7:

$$k = \frac{1}{c_1 + \frac{c_2}{v_f - v} + c_3 v} \quad (4.2)$$

$$q = vk \quad (4.3)$$

$$c_1 = c_{vc} c_2 \quad (4.4)$$

$$c_2 = \frac{1}{k_j \left( c_{vc} + \frac{1}{v_f} \right)} \quad (4.5)$$

$$c_3 = \frac{1}{v_c} \left( \frac{v_c}{q_c} - c_1 - \frac{c_2}{v_f - v_c} \right) \quad (4.6)$$

$$c_{vc} = \frac{2v_c - v_f}{(v_f - v_c)^2} \quad (4.7)$$

- k: densidade de fluxo (veículos/km);  
 v: velocidade (km/h);  
 v<sub>f</sub>: velocidade de fluxo livre;  
 c<sub>1</sub>: constante de calibração 1 (km);  
 c<sub>2</sub>: constante de calibração 2 (km<sup>2</sup>/h);  
 c<sub>3</sub>: constante de calibração 3 (h);  
 v<sub>c</sub>: velocidade correspondente à capacidade (km/h);  
 q<sub>c</sub>: fluxo de saturação (veículos/h);  
 k<sub>j</sub>: densidade de congestionamento (veículos/km);

De posse destas informações, é possível alimentar os arquivos de entrada do Integration. Para os tramos da via principal, foram utilizados os seguintes dados:

$$\begin{aligned}
 K_j &= 125 \text{ veículos/km} \\
 V_f &= 40 \text{ km/h} \\
 q_c &= 1380 \text{ veículos/h} \\
 v_c &= 25 \text{ km/h}
 \end{aligned}$$

Para os tramos que se situam na estação é utilizada uma velocidade menor, por conta do trecho possuir situações perigosas. Os dados utilizados foram:

$$\begin{aligned}
 K_j &= 125 \text{ veículos/km} \\
 V_f &= 20 \text{ km/h (valor adotado)} \\
 q_c &= 1235 \text{ veículos/h} \\
 v_c &= 15 \text{ km/h}
 \end{aligned}$$

### 4.3. Tempo médio de viagem

Para realizar esta avaliação foram necessários os dados coletados em campo durante duas viagens de ônibus. Foram colhidos, para cada passageiro, local e o horário de embarque e desembarque. Com auxílio do mapa de itinerários dos ônibus da cidade, foram determinadas: a distância que cada passageiro percorreu utilizando o ônibus e a velocidade média em cada viagem.

Para a simulação foram necessários os carregamentos nos tramos e os dados coletados de tempo de viagem de usuários. Primeiro foi traçado o trajeto realizado pelo ônibus. Neste trajeto foram introduzidos os locais de embarque e desembarque de algumas viagens observadas, por conta da limitação de zonas de origem e destino admitidas pelo programa. Foram impostas restrições baseadas na observação das características da malha viária da cidade de São Carlos.

Para os tramos considerados de tráfego local, o fluxo inicial é considerado igual a 100 veículos/h. Para os tramos de tráfego médio, o fluxo inicial considerado é igual a 250 veículos/h e para os tramos de tráfego pesado, o fluxo inicial considerado é de 500 veículos/h. O fluxo é incrementado até atingir 500, 1250 e 3000 veículos/h respectivamente. Nesta parte da simulação são coletados e armazenados os tempos de viagem e posteriormente calculadas as velocidades operacionais e comparados com o tempo de viagem e a velocidade operacional das viagens feitas pelo ônibus.

#### 4.4. Velocidade operacional média

A partir do mapa, com os tramos carregados gerados pelo TransCAD, é projetada a imagem do mapa no Integration. A rede é simplificada de forma a atender a limitação do Integration para números de tramos. As interseções dos tramos são consideradas do tipo rotatória, diferente do projeto ULTra, que utiliza interseções em desnível. A Figura 18 mostra a rede resultante.

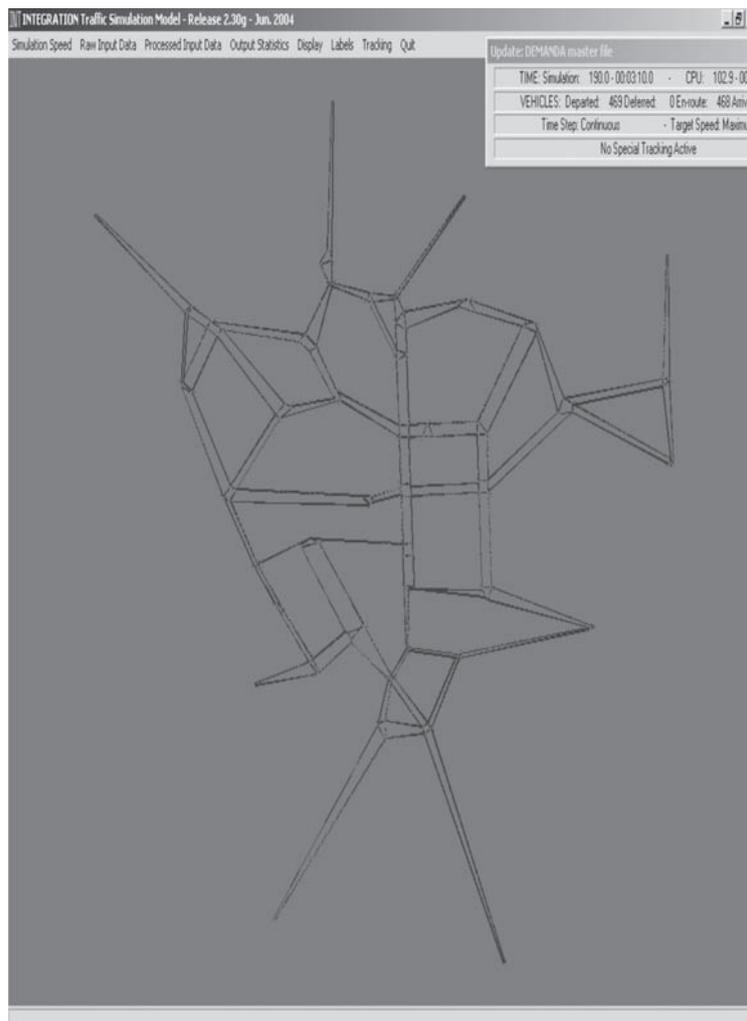


Figura 18 - Imagem da rede resultante no *Integration*

A demanda usada é resultado da consolidação das zonas de OD e da distribuição das demandas maiores que 5 viagens, por conta de limitação de número de pares de OD para alimentar o Integration. São simuladas duas horas de viagem devido à extensão da rede. A cada 10 minutos é registrada a imagem da rede para avaliar a sua dinâmica. Ao final da simulação é possível comparar a velocidade média dos veículos do ULtra na rede com a velocidade operacional do ônibus.

## 5. RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos no estudo de caso para a cidade de São Carlos.

### 5.1. Tempo de atendimento ao passageiro

O resumo do padrão de chegadas obtido pela observação dos intervalos de chegadas consecutivas está descrito na Tabela 1. O padrão de chegadas considerado na simulação do sistema do TPI, obtido usando a técnica de Monte Carlo, está descrito na Tabela 2.

Tabela 1 - Padrão de chegadas observado					Tabela 2 - Padrão de chegadas simulado				
Intervalo	Pto Médio	Amos.	%	% Acum.	Intervalo	Pto Médio	Amos.	%	% Acum.
0 - 15	8	14	36%	36%	0 - 15	8	13	33%	33%
16 - 30	23	6	15%	51%	16 - 30	23	6	15%	49%
31 - 45	38	6	15%	67%	31 - 45	38	9	23%	72%
46 - 60	53	5	13%	79%	46 - 60	53	3	8%	79%
61 - 120	91	4	10%	90%	61 - 120	91	3	8%	87%
121 - 180	151	3	8%	97%	121 - 180	151	3	8%	95%
181 - 240	211	1	3%	100%	181 - 240	211	2	5%	100%

Trinta embarques foram observados na pesquisa de campo, com o valor médio de seis segundos, os quais foram usados na simulação do sistema de TPI. A demanda estimada, com base nos percursos dos ônibus, é igual a 1813 passageiros. Utilizando uma ocupação média igual 1,4 passageiro/veículo, o fluxo estimado de veículos para atender à demanda é igual a 1295 veículos. Os outros resultados obtidos com a simulação estão resumidos na tabela 3.

Tabela 3 - Simulação do tempo de atendimento

Atributo	Ônibus	TPI					
		2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2
<b>Headway</b>	--						
Fluxo máximo (veículos/hora)	--	1333	1385	1440	1500	1565	1636
Porcentagem da via ocupada	--	97%	94%	90%	86%	83%	79%
Tempo médio de processam. (s)	503	1685	437	106	58	60	46
Tempo máximo de processam. (s)	1628	2906	803	207	160	135	123
Nº médio de pass. no sistema	11,4	9,8	6,7	2,4	1,7	1,8	1,6
Nº máximo de pass. no sistema	20	19	11	7	4	5	4

A simulação iniciou-se com headway de 2,7 segundos. Apesar do número médio de passageiros no sistema para o TPI ser ligeiramente menor que no caso do ônibus para um headway de 2,7 segundos, o tempo médio de processamento é 3,35 vezes maior no TPI do que para o ônibus. Este fato sugere a necessidade de um exame cuidadoso de vários parâmetros para evitar conclusões erradas. Uma pequena redução no valor do headway (de 2,6 segundos para 2,5 segundos) produz uma melhora significativa no nível de serviço, com uma redução em quatro vezes no tempo médio de processamento.

Existe outra importante redução, cerca de 50 % no tempo médio de processamento quando o headway foi reduzido de 2,5 segundos para 2,4 segundos. Os ganhos subsequentes não são tão grandes, porque as características da aceleração do veículo e tempo de embarque dos passageiros tornam-se mais importantes no tempo total de processamento.

## 5.2. Capacidade máxima do sistema

No corredor de ônibus da cidade, a frequência chega a 63 veículos/h. Considerando que a lotação do veículo de 50 passageiros, chega-se à oferta de 3150 assentos/h.

Diversos autores (LOWSON, 2003; ADVANCED TRANSPORT SYSTEMS, 2005; SZILLAT, 2001) descrevem a capacidade de TPI estimada no fluxo máximo possível com base apenas no headway de segurança admissível. No caso do ULTra, por exemplo, um headway mínimo de três segundos resulta em um fluxo de 1200 veículos por hora. Considerando que cada veículo tem quatro assentos, isso conduz a uma capacidade teórica de 4800 assentos por hora. Para uma ocupação média de 1,4 passageiros por veículo, como o valor observado em Cardiff, a capacidade real vai para 1680 passageiros por hora (LOWSON, 2003).

A simulação, feita em SIG-T, aponta que, se as viagens fossem realizadas de forma direta entre origem e destino, o carregamento diminuiria para 1158 passageiros no trecho mais carregado (Figura 19). Utilizando o fator de ocupação de 1,4 passageiros por veículo, foi estimado que seriam necessários 827 veículos para atender a demanda máxima. A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos através de simulação de um corredor com uma estação.

Tabela 4 - Velocidade operacional média dos veículos

	Fluxo na Estação (veículos/h)							
	0 veic	25 veic	50 veic	75 veic	100 veic	125 veic	150 veic	
Fluxo na Via Principal (veículos/hora)	100	38,9	35,1	31,5	30,7	28,4	27,6	25,5
	200	38,3	36,1	34,2	31,7	30,4	29,4	27,8
	300	37,6	35,3	34,4	33,2	31,5	30,0	28,9
	400	36,9	35,2	33,8	32,7	31,5	30,3	29,0
	500	36,0	34,3	33,4	32,7	31,4	30,3	29,5
	600	35,1	33,7	32,8	31,8	30,7	29,8	28,9
	700	34,1	33,0	32,0	31,1	30,3	29,4	28,4
	800	33,2	32,2	31,1	30,2	29,4	28,5	27,4
	900	32,0	31,1	30,1	29,3	28,3	27,2	25,6
	1000	30,5	29,5	28,6	27,6	26,7	25,6	24,2
	1100	28,8	27,8	26,7	25,7	24,4	23,0	21,3
	1200	26,1	24,6	22,6	21,1	19,8	17,7	15,4
	1300	21,0	18,9	16,3	13,8	11,4	9,3	8,3
	1400	12,0	9,7	8,7	7,4	6,4	5,9	5,4
	1500	6,6	6,1	5,5	4,9	4,5	4,2	3,9

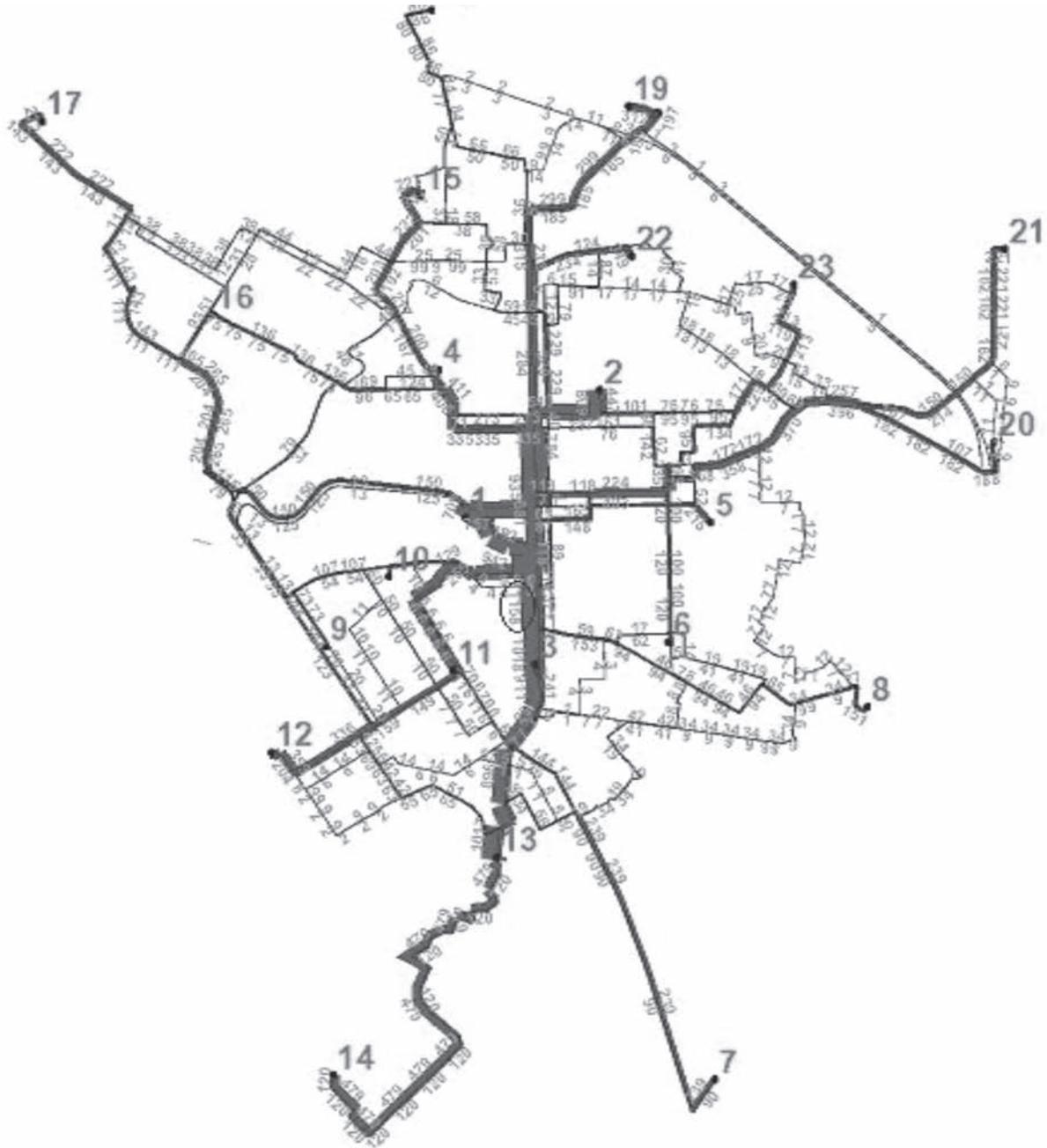


Figura 19 - Carregamento dos tramos simulados através do SIG -T

Caso houvesse uma demanda por embarques igual à observada em uma estação no centro da cidade, no corredor de ônibus (78 passageiros/hora ou 57 veículos/hora), a velocidade operacional obtida seria igual a 22,6 km/h, superior à velocidade operacional dos ônibus atualmente, que é de 18,0 km/h.

Como se pode observar, até o fluxo de 1200 veículos/hora na via principal, a velocidade operacional não sofre decréscimos significativos, comparando-se o aumento do fluxo de veículos. A partir do fluxo de 1300 veículos/horas na via principal, a velocidade operacional diminui consideravelmente. Isto se deve ao fato de que o fluxo na via aproxima-se do fluxo de saturação, que é estimado em 1380 veículos/hora. Portanto, para estimativa máxima de capacidade, é adotado o valor de 1200 veículos/hora, que é a estimativa feita pelo projeto ULTra.

### 5.3. Tempo médio de viagem

A coleta de dados durante a viagem apresentou o resultado da Tabela 5, enquanto a Tabela 6 demonstra o resultado obtido pela simulação. O tempo de viagem obtido para o TPI é inferior ao tempo de viagem observado para as viagens através do ônibus. Mesmo em situação onde as vias do TPI possuem um grande volume de tráfego, a velocidade operacional é praticamente 50% maior que a velocidade operacional do ônibus. A velocidade sofre pouca influência de incremento do tráfego. Convém lembrar que as vias do TPI não possuem cruzamento em nível, o que favorece amplamente as viagens feitas em TPI e que as viagens são feitas de forma direta, entre a origem e destino.

Tabela 5 - Características da viagem por ônibus coletados

Período	Pass. Nº	Dist. média (m)	Tempo médio (s)	Tempo médio (min)	Vel. média (km/h)
Manhã	65	6728	1183	19:43	20,5
Tarde	77	7843	1379	22:59	20,5

Tabela 6 - Características da viagem simulada por TPI

Baixo (veíc/h)	Médio (veíc/h)	Alto (veíc/h)	Veíc/km (km)	Veíc/h (h)	Exten. (km)	Tempo (min)	Vel. Média (km/h)
0	0	0	119,6	3,5	7,97	14,00	34,2
100	250	600	119,6	3,5	7,97	14,00	34,2
150	375	900	119,6	3,5	7,97	14,00	34,2
200	500	1200	119,6	3,7	7,97	14,80	32,3
250	625	1500	119,6	3,7	7,97	14,80	32,3
300	750	1800	119,6	3,8	7,97	15,20	31,5
400	1000	2400	119,6	4,1	7,97	16,40	29,2
500	1250	3000	119,6	4,0	7,97	16,00	29,9

### 5.4. Velocidade operacional média

Atualmente a operação das 56 linhas percorre 622 km por hora e consomem 34,5 horas. A velocidade média é de 18,0 km.

A simulação demonstrou que os veículos do TPI percorreriam 37438 km e consumiriam 1144 horas, resultando em uma velocidade média de 32,7km. Apesar da velocidade do TPI ser 80% maior que a velocidade do ônibus, a simulação mostra que se existissem interseções em nível do tipo rotatória o fluxo de veículos apresentaria congestionamentos nas aproximações das interseções.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou uma alternativa de transporte público com características de transporte individual, como forma de oferecer um transporte público com qualidade. Para isso, foram feitas simulações com a demanda de viagens por passageiros de ônibus como

forma de avaliar objetivamente a alternativa. Durante a comparação entre os dados coletados de transporte por ônibus e a simulação da operação do TPI, foi constatado que o último oferece um nível de serviço superior ao ônibus.

No primeiro item avaliado, que foi o tempo de atendimento ao passageiro, que é o tempo entre a chegada do passageiro no local de embarque e seu efetivo embarque, o TPI apresentou um desempenho superior ao ônibus. Para o fluxo estimado no corredor de ônibus, o TPI atendeu de forma mais rápida do que o ônibus, porém com um headway menor do que o recomendado para o ULTra, que adota um headway de 3 segundos. Convém lembrar que o fluxo estimado para o atendimento nesta primeira fase foi superior ao estimado pelo SIG-T, situação em que o TPI atenderia à demanda com um headway inferior ao recomendado para o ULTra.

Para determinar a capacidade máxima do sistema do TPI, foram realizadas simulações que apontaram que a capacidade máxima seria igual a 1200 veículos/hora numa via singela. Esta capacidade está de acordo com o projeto ULTra, que restringe a capacidade pelo headway mínimo de 3 segundos. Este fluxo disponibilizaria 4800 assentos/hora, que é superior ao número de assentos disponibilizados pelo ônibus (3150 assentos/hora) para a operação realizada atualmente, lembrando-se que este valor não corresponde à capacidade máxima.

Utilizando a lotação de 1,4 passageiro/veículo, a capacidade do TPI seria igual a 1680 passageiros por sentido por via, 45 % superior à demanda estimada de 1158 passageiros. Apesar de ser um valor inferior ao número de assentos disponibilizados pelo ônibus, pode-se afirmar, com base na demanda estimada, que parte dos passageiros que passam pelo corredor de ônibus não teria necessidade de atravessar este trecho, caso houvesse viagens perimetrais.

Pode-se concluir assim que existe ainda uma margem para crescimento da demanda. Parte da demanda em alguns trechos corresponde ao tráfego de passagem, daí poder-se-ia programar para desviar este tráfego para outras vias do TPI, desde que houvesse mais opções de vias, como forma de atingir a capacidade. Outra opção seria a construção de duas ou mais vias do TPI em determinados corredores e estações com mais de um berço para aumentar a sua capacidade de atendimento.

Na simulação do tempo de viagem por passageiro, a simulação demonstrou que a viagem por TPI consome menos tempo que ônibus. Isso se deve ao fato do TPI fazer viagens diretas da origem ao destino, sem paradas intermediárias. As vias propostas para esta atividade tinham como características operarem sem interseção com outras vias, o que também contribuiu para o reduzido tempo de viagem. Outro fato observado é que a velocidade sofre pouca influência do tráfego do próprio TPI, ou seja, houve um pequeno acréscimo no tempo de viagem, mesmo com aumento do fluxo de veículos na via.

A última atividade executada, que foi a determinação da velocidade média dos veículos, teve resultados contraditórios: apesar da velocidade média dos veículos do TPI mostrar-se superior ao ônibus, a evolução do tráfego mostra que nas interseções, que são em nível, ocorre acúmulo de veículos. Isso reforça a necessidade de que as interseções das vias do TPI sejam em desnível. Porém, este tipo de solução acaba encarecendo ainda mais a construção da estrutura do TPI, que já se situa na faixa de R\$15.000.000,00/km.

Embora esse estudo não esgote o assunto, já que às atividades aqui conduzidas devem se somar outras avaliações, dos pontos de vista econômico, social e ambiental (como discutido em HOTTA e SILVA, 2007), os resultados obtidos mostraram que o TPI pode ser uma alternativa

interessante para transporte público urbano. As atividades aqui desenvolvidas, executadas a partir da ferramenta de simulação, demonstraram que o TPI tem desempenho superior ao ônibus, ainda que com as avaliações não tenha sido possível simular toda a operação do TPI. Isso dá novo alento a prosseguir com pesquisas em soluções tecnológicas diversas ao que existe atualmente, o que certamente contribui para a busca por um transporte público de qualidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADVANCED TRANSPORT SYSTEMS LTD. Summary report on ULTra passenger trials. Bristol, 2003.
- ADVANCED TRANSPORT SYSTEMS LTD. ULTra Summary. Bristol, 2005.
- BELL, J. Morgantown, West Virginia - Personal Rapid Transit (PRT). Disponível em <<http://web.presby.edu/~jtbell/transit/Morgantown>>. Acesso em 17 ago. 2006.
- BLY, P. H.; TEYCHENNE, R. Three financial and socio-economic assessments of a personal rapid transit system. Disponível em:  
<[http://www.jpods.com/downloads/JPodsDetails/economic\\_assessments.pdf](http://www.jpods.com/downloads/JPodsDetails/economic_assessments.pdf)>. Acesso em: 12 abr. 2006.
- BUCOLO, S.; GINN, S.; GILBERT, D. Using virtual reality models to better communicate how transport infrastructure can interface and interact with the built urban environment. Cairns, PROCEEDINGS OF THE 21st ARRB AND 11th REAAA CONFERENCE, 2003.
- DEMARCHI, S. H., Influência dos veículos pesados na capacidade e nível de serviço de rodovias de pista dupla. 2000. 166 p. Tese - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.
- FERRAZ, A. C. P.; TORRES, I. G. E. Transporte Público Urbano. 1ª Ed. São Carlos, Editora RiMa, 2001.
- FERREIRA, A. C. S.; GOMES, L. F. Critérios de Decisão em Transportes - Uma análise comparativa de dois métodos analíticos para a redução de interdependência. CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 8º, 1994, Recife. Anais, 1994 volume 2, p 143-152.
- FURTADO, N; KAWAMOTO, E. Avaliação de Projetos de Transporte. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos. Apostila. 2002.
- HOTTA, L.H., Avaliação Comparativa de Tecnologia de Transporte Público Urbano: ônibus x transporte público individualizado. 2007. 85 p Dissertação Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2007.
- HOTTA, L. H; SAUNDERS, M. J.; SILVA, A. N. R. Transporte Público Individualizado: sonho intangível ou necessidade urgente? 13º CONGRESO LATINOAMERICANO DE TRANSPORTE PUBLICO Y URBANO, Lima, Perú, 2005.
- HOTTA, L. H.; SILVA, A. N. R. The use of simulation to asses PRT viability as a public transportation alternative. INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF TRANSPORT SIMULATION, Lausanne, Suíça, 2006.
- HOTTA, L. H.; SILVA, A. N. R. O transporte público individualizado em uma avaliação de tecnologias para transporte em cidades médias. 14º CONGRESO LATINOAMERICANO DE TRANSPORTE PÚBLICO Y URBANO, Rio de Janeiro, 2007.

- JOHANSSON B.; MARTENSSON, A. Energy and environmental costs for electric vehicles using CO<sub>2</sub> - neutral electricity in Sweden. Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund, 1999.
- KIEFFER, J. Minimum Essential Features of PRT. Journal of Advanced Transportation. Volume 2, No. 3, p. 192-214, 1988.
- LOWSON, M. A new approach to effective and sustainable urban transport, paper 03-2140, PROCEEDINGS OF THE TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. Washington, D.C. 2003.
- MASCARÓ, J. L. Desenho Urbano e Custos de Urbanização. 2ª ed. Porto Alegre: D.C. Luzzato Editores Ltda. 1989.
- NJ TRANSIT. Viability of Personal Rapid Transit in New Jersey. Trenton, 2007, 80 p.
- POMERANZ, L. Elaboração e análise de projetos. São Paulo. Ed. Hucitec Ltda. 1985.
- PORTUGAL, L. S. Simulação de Tráfego: Conceitos e Técnicas de Modelagem. Rio de Janeiro: Ed. Interciência. 2005.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS. Reorganização do Transporte Coletivo da Cidade de São Carlos. Relatório. São Carlos, 2001.
- SCHNEIDER, J. B. Morgantown group rapid transit (GRT) system. Disponível em: <<http://faculty.washington.edu/jbs/itrans/morg.htm>>. Acesso em: 12 abr. 2005.
- SZILLAT, M. T. A Low-level PRT Microsimulation. 2001. 209 p. Tese - University of Bristol. 2001.
- TÈGNER, G. Comparison of costs between bus, PRT, LRT and metro/rail. Disponível em: <<http://faculty.washington.edu/jbs/itrans/gorancomp.htm>> Acesso em: 06 out. 2006.
- VAN AERDE, M. Integration release 2.30: User's Guide. Vol. I, II, III. Kingston: M. Van Aerde & Assoc. Ltd. 2004.
- VUCHIC, V. R. Urban public transportation: Systems and technology. New Jersey: Ed. Prentice-Hall. 1981.
- YODER, S. L., WESEMAN, S.E., DELAURENTIS, J. Capital costs and ridership estimates of personal rapid transit. Transportation Research Record. Washington, volume 1704, p 58-67. 2000.
- ZARATTINI, C. Circular (ou não) em São Paulo. Revista dos Transportes Públicos. São Paulo, nº 101, p. 47-64. 2003.
- ZUYLEN, H. V.; OUWCHAND, A. The innovation process for Personal Rapid Transit in Eindhoven. Delft: University of Technology. 2004.