

# **O USO DA MICROSSIMULAÇÃO PARA AVALIAR INDICADORES DE CONFIABILIDADE DO TRANSPORTE COLETIVO URBANO EM CORREDORES ESTRUTURAIS DE ÔNIBUS**

*Thais Cristina Cunha e Silva. thaisccs@gmail.com*

*José Aparecido Sorratini, Universidade Federal de Uberlândia. sorratin@ufu.br*

## **RESUMO**

A confiabilidade é, para o transporte coletivo urbano por ônibus, um dos mais importantes indicadores no processo de escolha do modo, pelo usuário, para a realização de uma viagem. O presente trabalho avalia como são afetados os indicadores de confiabilidade do transporte coletivo em corredores estruturais de ônibus. O caso estudado foi o da Avenida João Naves de Ávila, em Uberlândia, estado de Minas Gerais, Brasil. A cidade, com população superior a 600 mil habitantes, teve inaugurado em 2006 seu primeiro corredor estrutural a fim de priorizar o transporte coletivo na área. As estações implantadas são fechadas, o pagamento da tarifa é feito antes do embarque, mas o projeto inicial com plataformas elevadas, no mesmo nível do piso do ônibus, foi abandonado, o que pode ter comprometido a eficácia do sistema como um todo e descaracterizado um corredor estrutural que poderia se parecer com um moderno sistema rápido por ônibus – *Bus Rapid Transit* – BRT. Este trabalho utilizou a simulação para avaliar a confiabilidade do transporte por ônibus, pois ela se mostra como uma ferramenta importante no planejamento do transporte coletivo urbano. Ao permitir a análise do sistema sem a necessidade de intervenção direta no sistema estudado, o uso da simulação reduz o custo dos estudos e permite a previsão de como as modificações no sistema afetarão o desempenho do transporte, além de garantir celeridade na análise e na escolha da melhor solução.

*Keywords: transporte coletivo urbano, confiabilidade, microssimulação, SATURN, DRACULA.*

## **INTRODUÇÃO**

A qualidade do transporte público é afetada por diversas características do sistema, uma vez que a viagem engloba não só o tempo gasto dentro do veículo, mas também o tempo de espera e possíveis tempos de transferência. Segundo Ferraz e Torres (2004, p. 101):

De maneira geral, são doze os principais fatores que influem na qualidade do transporte público urbano: 1- acessibilidade, 2- frequência de atendimento, 3- tempo de viagem, 4- lotação, 5- confiabilidade, 6- segurança, 7- características dos veículos, 8- características dos locais de parada, 9- sistema de informações, 10- conectividade, 11- comportamento dos operadores e 12- estado das vias.

Dos fatores supracitados que influenciam o transporte coletivo urbano, este trabalho concentra-se na confiabilidade. O conceito de confiabilidade na literatura especializada varia extensamente. O *TRB* (2003), por exemplo, define que a confiabilidade engloba tanto o desempenho no horário programado quanto a regularidade de *headways* entre veículos consecutivos. Já van Oort e van Nes (2004) definem-na como a probabilidade de que uma viagem seja realizada de acordo com as características esperadas: tempo de viagem, conforto e custos, e Polus (1978) define a confiabilidade em serviços de ônibus como a habilidade de prover um serviço consistente, durante um período de tempo.

Sabe-se, no entanto, que a confiabilidade é um dos fatores de decisão para o usuário. Segundo Bates *et al.* (2001):

Dentro do campo de transporte, o impacto da falta de confiabilidade acontece primariamente no uso do tempo (...). No entanto, as consequências mais comuns da falta de confiabilidade estão nas possíveis chegadas com atraso, no gasto maior de tempo em certas atividades do que o planejado ou desejado, bem como no estresse associado à falta de certeza propriamente dita. (...) [Tradução dos autores].

Desta maneira, entende-se que a confiabilidade do transporte coletivo urbano é uma característica de extrema importância na decisão do usuário sobre qual modo de transporte deve adotar, uma vez que as consequências associadas à falta de confiabilidade afetam diretamente o planejamento do usuário. Não se trata somente da perda de tempo, mas também da ansiedade causada pela incerteza de como a viagem transcorrerá (BATES *et al.*, 2001).

Como é uma das características de maior importância na decisão do usuário, é relevante saber o que afeta a confiabilidade do transporte coletivo urbano. Segundo Sorratini *et al.* (2008), a confiabilidade do transporte coletivo urbano é afetada por quatro grandes grupos de características, a saber:

*O uso da microssimulação para avaliar indicadores de confiabilidade do transporte coletivo urbano em corredores estruturais de ônibus*  
CUNHA e SILVA, Thais Cristina; SORRATINI, José Aparecido

1. Características do tráfego, tais como composição e níveis de congestionamento;
2. Características da rota, tais como comprimento, número de faixas de rolamento nas vias e existência de faixa exclusiva para ônibus;
3. Características dos passageiros, tais como volume de pessoas nos pontos e escolha de rota pelos passageiros;
4. Características operacionais, tais como sistema de bilhetagem, disponibilidade e manutenção da frota e variabilidades no comportamento do motorista.

Levando em consideração o referido acima, foram utilizados dois programas de simulação a fim de entender como a confiabilidade é afetada conforme são variadas as características do sistema de transporte. É importante ressaltar, então, que a simulação de tráfego é hoje o método mais comumente escolhido para avaliar e aprimorar sistemas de transporte. Segundo Portugal (2005, p. 25):

O propósito principal da simulação é representar ou modelar o comportamento próprio e as interações dos elementos de um sistema para permitir uma avaliação prévia do seu desempenho. A simulação é mais um instrumento (por sinal, dos mais poderosos) do analista que pretende determinar o melhor sistema a ser implementado ou melhorado.

Desta maneira, a simulação se torna uma ferramenta na avaliação de sistemas de tráfego, podendo ser utilizada para teste de diversos cenários e permitindo, assim, avaliar a resposta do modelo do sistema às variações nas condições de operação sem que seja necessária sua implantação e o conseqüente investimento. O processo de simulação de tráfego apresenta outras grandes vantagens. Primeiramente, facilita a introdução de variações nas taxas de fluxo, o que torna o ambiente simulado mais verossímil por representar a flutuação da demanda que ocorre na realidade. Além disso, o processo de simulação computacional adota um processo de modelagem evolutivo, em que ocorre o aperfeiçoamento de acordo com o conhecimento adquirido (PORTUGAL, 2005).

Os dados necessários para o cálculo dos indicadores de confiabilidade foram obtidos por meio de um microssimulador de tráfego. Na microssimulação, os veículos são tratados de forma individualizada, ou seja, cada veículo conserva as características individuais que são de interesse para o sistema. Segundo Xin *et al.* (2008), a microssimulação emergiu como valiosa ferramenta para pesquisadores e engenheiros de tráfego devido ao nível de detalhamento, o realismo das modelagens e facilidade de uso. Nos modelos de microssimulação, o trânsito ao longo dos arcos é regido por leis de veículos seguindo o líder – *car-following* e o comportamento nas interseções é mais complexo e detalhado (PORTUGAL, 2005). Os programas utilizados no desenvolvimento deste trabalho serão apresentados mais adiante.

## **INDICADORES DE CONFIABILIDADE**

Este trabalho avaliou o corredor estrutural de ônibus da Avenida João Naves de Ávila, em Uberlândia, Minas Gerais, Brasil. Para aferir a confiabilidade no corredor estrutural estudado foram calculados quatro indicadores: a variabilidade no tempo de viagem; a variabilidade do intervalo entre veículos sucessivos, ou *headway*, a variabilidade do tempo de espera pelos passageiros e a regularidade.

A variabilidade no tempo de viagem é representada por mudanças no tempo médio de viagem, dentro de um determinado período do dia. Segundo Bates *et al.* (2001), o maior impacto da variabilidade do tempo de viagem é na escolha de horário de partida, já que o usuário pode ter que lidar com viagens que levam mais tempo para serem completadas do que o planejado. O tempo de viagem é afetado pelo comprimento do percurso, condições meteorológicas, carregamento de passageiros, volume de tráfego e características físicas da rota (POLUS, 1978). A variabilidade no tempo de viagem foi calculada, neste trabalho, como o inverso do coeficiente de variação do tempo de viagem (média/desvio padrão), a fim de estabelecer uma correlação positiva entre o indicador e a qualidade do serviço fornecido (STERMAN e SCHOFER, 1976). Desta forma, quanto maior o valor de indicador, mais confiável é o cenário.

A variabilidade de *headway* é representada por mudanças nos intervalos programados entre veículos sucessivos de uma mesma linha. Quando o intervalo entre ônibus é irregular, ocorre a falta de serviço em certos horários e o acúmulo de veículos em outros, gerando picos de demanda. Tais picos de demanda resultam em ônibus lotados, que não param em outros pontos devido à falta de capacidade para mais passageiros. A variabilidade do *headway* será computada como o coeficiente de variação (desvio padrão/média), de maneira que, quanto menor o indicador, mais confiável é o cenário.

A variabilidade do tempo de espera pode ser entendida como a probabilidade de que o passageiro esperará menos do que um valor prefixado. No entanto, pode ser avaliado também o tempo de espera em excesso, que é o tempo a mais que o passageiro deve esperar em virtude de atraso na execução do serviço. O tempo de espera, de modo geral, tem relação mais com a confiabilidade do transporte do que com a frequência, uma vez que os usuários que conhecem a programação do transporte sabem com que antecedência devem se dirigir ao ponto de ônibus. Portanto, quando a confiabilidade do transporte é baixa, o tempo de espera no ponto aumenta, uma vez que não se sabe ao certo quando o próximo veículo atenderá o ponto de embarque. Desta maneira, a análise do tempo de espera é fundamental na determinação da confiabilidade do transporte. Segundo van Oort e van Nes (2004):

Em áreas urbanas, passageiros tendem a chegar aleatoriamente aos pontos, pelo menos para serviços com intervalo de tempo entre veículos de 12 minutos ou menos. No caso de serviços regulares, o tempo médio de espera será igual à metade do *headway*. [Tradução dos autores].

Sendo assim, será considerado o tempo programado de espera igual à metade do *headway* programado. No caso estudado, o *headway* programado durante o período simulado (pico da manhã) foi de 5 minutos, o que levou ao tempo de espera programado de 2,5 minutos.

A regularidade é a característica que diz respeito à variação do tempo de viagem em relação à média. A manutenção da regularidade afeta tanto a oferta quanto a demanda pelo transporte. Quanto à oferta, maior regularidade resulta em distribuição regular de passageiros e, conseqüentemente, em menores picos de ocupação dos veículos. No lado da demanda, a regularidade ajuda a manter seu nível, uma vez que o passageiro aprecia mais o transporte público quando tem menores tempos de viagem e veículos mais vazios, além de contribuir para a atração de nova demanda (van OORT e van NES, 2004).

Uma das maneiras utilizadas neste trabalho para calcular a regularidade do serviço foi a porcentagem de desvio médio da regularidade (PRDM – *Percentage Regularity Deviation Mean*), expresso pela Equação (1) abaixo. Quanto menor o PRDM, melhor é a regularidade do serviço.

$$PRDM = \frac{\sum |TIT - TIA|}{n} \times 100 \quad (1)$$

Onde TIT = *headway* programado para o ponto de parada, TIA = *headway* real no ponto e n = número de veículos no ponto.

Normalmente, quando o tempo de espera é calculado, leva-se em consideração apenas a frequência, mas a verdade é que a regularidade também influencia. Neste trabalho, foi calculado o tempo médio de espera (TWM) e a frequência percebida (Fp), cujas equações (2) e (3), respectivamente, levam em conta a regularidade calculada por meio do PRDM.

$$TWM = \frac{1}{2} TITM (1 + PRDM^2) \quad (2)$$

Onde TITM = *headway* médio programado, e

$$Fp = \frac{F}{(1 + PRDM^2)} \quad (3)$$

Onde F = frequência programada.

A frequência percebida, por sua vez, pode ser usada para calcular o impacto na demanda, em termos de número de passageiros. Segundo van Oort e van Nes (2004), a relação entre as duas variáveis é quase linear e consideram que cada 1% de variação na frequência percebida resulta numa mudança de 0,36% no nível de demanda, ou seja, a elasticidade da frequência em relação à demanda no transporte coletivo é de 0,36.

Os indicadores referidos foram calculados para a análise da linha de ônibus que atende o corredor de ônibus da Avenida João Naves de Ávila em Uberlândia, MG, em toda sua extensão.

## **ESTUDO DE CASO: UBERLÂNDIA, MG, BRASIL**

O presente trabalho baseou-se no corredor estrutural de ônibus da Avenida João Naves de Ávila, em Uberlândia, estado de Minas Gerais, Brasil. O sistema de transporte coletivo de Uberlândia, antes de 1997, não possuía integração física ou tarifária. Naquele sistema, as linhas de ônibus faziam as rotas ligando bairros, geralmente passando pelo centro da cidade e, no caso de haver necessidade de transbordo, o usuário pagava uma nova tarifa.

Com o propósito de aperfeiçoar o transporte coletivo na cidade, a Prefeitura de Uberlândia implantou, em 1997, o Sistema Integrado de Transporte – SIT. O SIT visa diminuir o número de transferências realizadas, bem como reduzir os gastos dos usuários mediante a integração tarifária. Para tanto, foram construídos cinco terminais de ônibus: 1- Central, 2- Umuarama, 3- Santa Luzia, 4- Planalto e 5- Industrial. Com o crescimento da população e com o objetivo de priorizar o serviço de transporte coletivo urbano, a cidade, com população 608.369 habitantes<sup>1</sup>, teve inaugurado, em 2006, seu primeiro corredor estrutural.

O corredor tem 7.334 m de extensão no sentido Centro – Bairro e 7.796 m no sentido Bairro – Centro, ligando o terminal Central ao terminal Santa Luzia, e 13 estações fechadas de embarque e desembarque, com pagamento antecipada da tarifa, e com utilização da faixa da esquerda para circulação exclusiva de ônibus. A Figura 1 mostra um esquema da localização das estações, bem como sua posição relativa aos dois terminais atendidos.

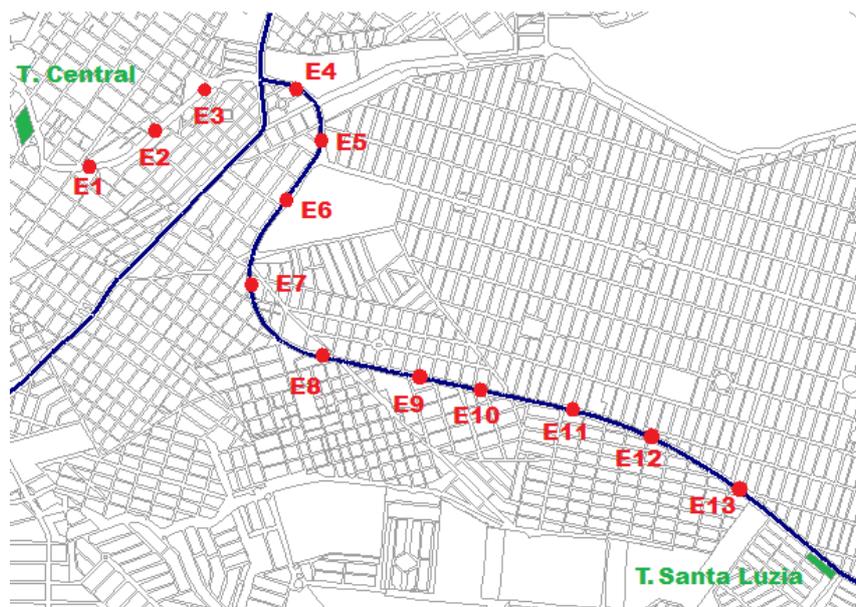


Figura 1 – Esquema de localização das 13 estações de parada do corredor estrutural

<sup>1</sup> Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, referentes ao ano de 2007

O corredor estrutural é utilizado por 12 linhas de ônibus. No entanto, apenas uma dessas linhas o percorre em sua totalidade, realizando parada em suas 13 estações e nos dois terminais. Essa linha, a T131 – Terminal Central – Terminal Santa Luzia, foi adotada como objeto de estudo deste trabalho.

Partindo da rede da cidade, a modelagem do problema foi realizada em dois programas, *Simulation and Assignment of Traffic in Urban Road Networks* (ITS, 2009) e *Dynamic Route Assignment Combining User Learning and Microsimulation* (LIU, 2007) ambos desenvolvidos pelo *Institute of Transport Studies* da Universidade de Leeds, Inglaterra.

### **SATURN: Simulation and Assignment of Traffic in Urban Road Networks**

A estruturação da rede utilizada para as simulações necessárias para o desenvolvimento deste trabalho foi feita no programa *Simulation and Assignment of Traffic in Urban Road Networks* – SATURN – Simulação e alocação de tráfego em redes de vias urbanas). O programa, desenvolvido pelo *Institute of Transport Studies*, da *University of Leeds*, foi utilizado como editor de rede e base de dados.

O módulo P1X do SATURN, que permite editar a rede, foi utilizado para introduzir graficamente a Avenida João Naves de Ávila e suas principais interseções. O trabalho foi desenvolvido com a versão acadêmica do programa, de maneira que não foi possível introduzir toda a rede urbana da cidade e compreender todo o perímetro urbano. A Tabela 1 mostra os dados da rede introduzida, bem como os limites da versão acadêmica do programa SATURN. Percebe-se, na Tabela 1, que o número de interseções de simulação limitou o tamanho da rede a ser simulada.

Tabela 1 – Dados da rede e limites do programa

Dados da rede	Rede de Uberlândia	Limite do SATURN
Número de interseções de simulação	483	500
Número de arcos de simulação	1.436	1.680
Número de conversões simuláveis	3.345	3.350
Números de estágio de semáforo	149	1.960

Vê-se que a rede foi introduzida quase ao máximo permitido pelo programa, tendo como limite superior o número de interseções simuláveis. A Figura abaixo mostra como ficou configurada parte da rede urbana que contém a Avenida João Naves de Ávila.



Figura 2 – Rede contendo a Avenida João Naves de Ávila e principais interseções, em Uberlândia, MG, Brasil

Após a introdução da rede da cidade foram editados os dados referentes às características das vias, como número de faixas e velocidade permitida, e às características das interseções, como tipo de controle (Sinal do tipo Pare, Dê a Preferência ou semáforo, por exemplo) e movimentos permitidos. Além disso, foram inseridas as rotas das 12 linhas de ônibus que fazem paradas nas estações do corredor estudado, formando assim, o banco de dados necessários para a realização da microssimulação no DRACULA.

### **DRACULA – Dynamic Route Assignment Combining User Learning and Microsimulation**

O programa computacional *Dynamic Route Assignment Combining User Learning and Microsimulation* (DRACULA – Alocação dinâmica de rota, combinando aprendizado do usuário e microssimulação) também foi desenvolvido pelo *Institute of Transport Studies*, da *University of Leeds*. O objetivo principal do programa, como modelo de microssimulação, é representar as escolhas individuais dos motoristas em tempo real, uma vez que esse comportamento evolui à medida que o motorista adquire conhecimento da rede em que se insere. Associado a essa representação está a simulação dos movimentos dos veículos individualmente, segundo por segundo, que segue as regras de mudança de faixa e sofre a influência dos controles de tráfego. Assim, consegue-se, por meio do DRACULA, modelar a evolução do sistema de tráfego de modo que as variações de demanda em um mesmo dia e entre dias diferentes sejam incluídas e que a interação entre a demanda e a oferta seja modelada.

Desta maneira, após a conclusão das edições no SATURN, a rede foi exportada para o DRACULA, para a realização da microssimulação. Para isso, foi necessário converter manualmente o arquivo da rede utilizado pelo SATURN (.dat) para a extensão utilizada pelo DRACULA (.net). O DRACPREP é o primeiro módulo do DRACULA a ser executado, pois sua função básica é preparar os arquivos e a rede, bem como gerar um banco de dados

para a simulação que será realizada pelo segundo módulo, o DRACSIM. O programa DRACPREP foi utilizado em todas as simulações realizadas, uma vez que os arquivos de parâmetros de controle e serviço de ônibus foram modificados de acordo com cada cenário proposto. Após a preparação dos arquivos, o DRACSIM foi utilizado para a realização das simulações. O horário simulado foi o pico da manhã, com duração de 90 minutos. A Figura mostra uma das simulações realizadas na rede.

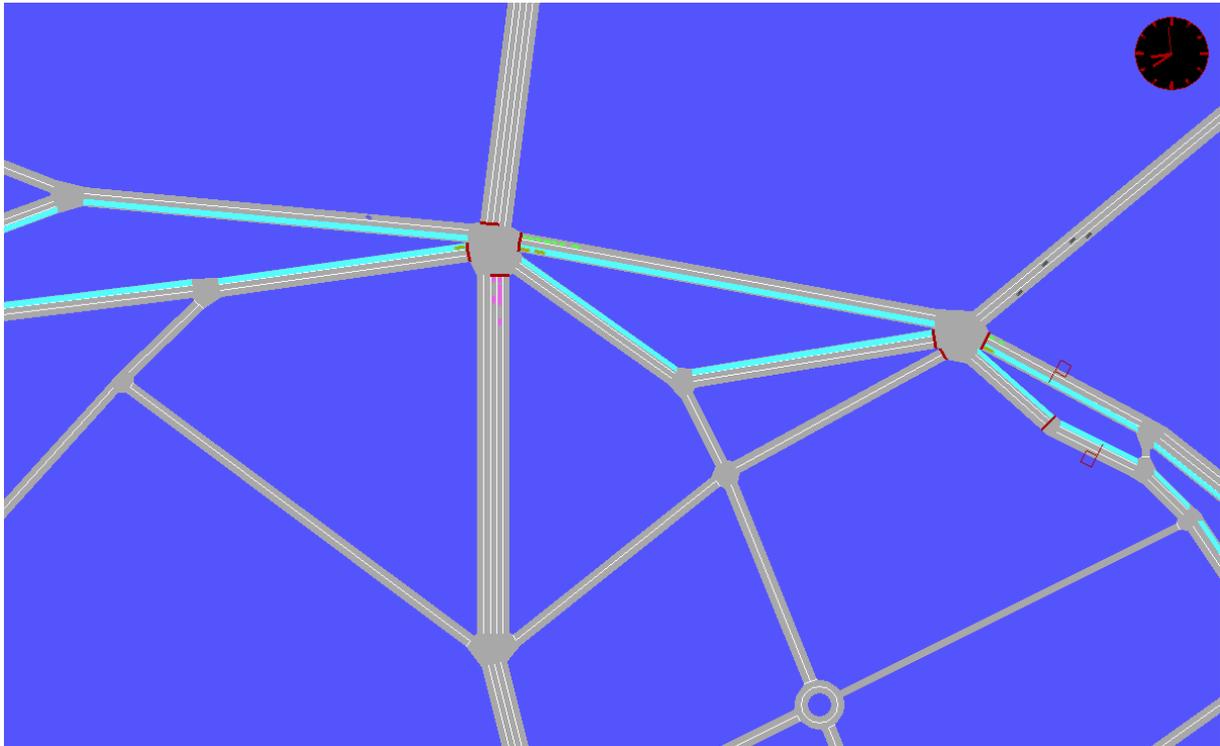


Figura 3 – Simulação da rede urbana que contém a Avenida João Naves de Ávila no DRACULA

Foram simulados cinco grandes cenários: o cenário base, o cenário em que houve variação na demanda, o cenário que considerou variação no congestionamento da via de circulação, o cenário em que foi considerada uma variação no tempo de embarque e o cenário em que houve alteração no tipo de ponto de parada.

O cenário base visou representar a realidade, a fim de analisar a confiabilidade do corredor em sua operação normal. Portanto, além dos dados de entrada exportados do SATURN, os dados de entrada no DRACULA foram baseados em pesquisa de campo. O número de passageiros por ponto por hora foi obtido por meio de pesquisa embarque-desembarque realizada no dia 06 de novembro de 2008, durante o pico do período da manhã, na linha T131. Vale ressaltar que o programa só aceita dados de entrada por ponto de ônibus e não especificamente por linha. Para a variação de demanda por transporte coletivo foram testados três cenários, com acréscimos de 10%, 15% e 20% sobre a demanda inicial. No cenário de aumento de congestionamento no trânsito em geral foram simuladas quatro variações: 1%, 2,5%, 5% e 10%. No cenário de variação no tempo de embarque, dois tempos de embarque alternativos foram simulados: 2 segundos por passageiros, que representou o caso de embarque em nível, em que o passageiro não precisa subir degraus,

e 8 segundos por passageiros, que simulou o embarque lento, sendo que no cenário base a média é de 5 segundos por passageiro. E, finalmente, no cenário de variação do tipo de ponto, foi simulada a existência de baía em todos os pontos de ônibus, sendo todas as baias padronizadas com 80 metros de comprimento, inclusive as baias que existem no cenário base. Para todos os cenários variados, as alterações foram realizadas a partir do cenário base e foram, em cada uma das situações, as únicas características alteradas.

## RESULTADOS

Seguem nas tabelas a seguir os dados compilados e reunidos de acordo com os indicadores informados anteriormente. Os dados apresentados são médias relativas às viagens realizadas durante os 90 minutos de simulação, em que foram simuladas 18 viagens da linha T131. Para cada cenário testado foram feitas cinco simulações e os resultados apresentados nas tabelas são as médias dessas simulações.

### Tempo de viagem

O primeiro indicador apresentado refere-se ao tempo de viagem. São apresentados os resultados que foram separados de acordo com o sentido de movimento, a fim de possibilitar a comparação entre os indicadores. A Tabela 2 mostra os resultados da simulação para o sentido Centro – Bairro e a Tabela 3 mostra no sentido inverso.

Tabela 2 – Resultados para os tempos de viagem no sentido Centro – Bairro

Sentido Centro – Bairro				
Tempo de viagem (minutos)				
Cenários		Média (min)	Desvio padrão (min)	Confiabilidade
Cenário Base		21,14	2,27	9,40
Aumento na demanda	10%	21,28	1,87	11,51
	15%	21,29	1,89	11,47
	20%	21,59	1,63	13,84
Aumento no congestionamento	1%	21,31	1,99	11,58
	2,5%	21,32	2,27	9,72
	5%	20,99	2,14	9,82
	10%	21,49	2,12	10,58
Tempo de embarque	2 seg	20,39	1,90	10,81
	8 seg	21,76	2,10	10,49
Tipo de ponto		21,18	1,73	12,88

Percebe-se que todos os cenários propostos apresentaram melhor confiabilidade do que o cenário base. No entanto, isso se deveu ao alto desvio padrão registrado nas simulações deste cenário. Convém analisar as variações ocorridas nos tempos médio de viagem.

*O uso da microssimulação para avaliar indicadores de confiabilidade do transporte coletivo urbano em corredores estruturais de ônibus*

*CUNHA e SILVA, Thais Cristina; SORRATINI, José Aparecido*

O cenário de aumento de demanda por transporte coletivo se mostrou consistente nos resultados no que diz respeito ao tempo médio de viagem, ou seja, houve aumento do tempo de viagem conforme aumentou o número de passageiros, apesar desse aumento ter sido pequeno para pequenas variações na demanda. Com o aumento de 10% na demanda, o tempo de viagem aumentou em 8,4 segundos em relação ao cenário base. Quando o aumento do número de passageiros foi de 15%, a viagem foi mais longa por 9 segundos e quando a demanda aumentou 20%, o tempo de viagem teve acréscimo de 27 segundos, em relação ao cenário base. Conclui-se que o aumento no tempo de viagem foi mais significativo quando o aumento de demanda foi de 20%.

No cenário de aumento de congestionamento no trânsito em geral pode-se perceber que as variações no tempo de viagem não ocorreram de acordo com o esperado, com aumento e diminuição sem relação com o aumento da taxa de congestionamento. Conclui-se que o aumento da taxa de congestionamento não afetou diretamente o desempenho do transporte público no corredor de ônibus da Avenida João Naves de Ávila, por haver separação do trânsito geral com a faixa exclusiva para ônibus, que só pode ser utilizada por veículos particulares onde as conversões à esquerda são permitidas.

Para o cenário de variação no tempo de embarque, considerando-se que cada passageiro demoraria dois segundos para embarcar, o tempo médio de viagem reduziu de 45 segundos, o que é coerente com a realidade, uma vez que o tempo de viagem é influenciado pelo tempo de parada do ônibus. Quando o tempo de embarque passou para 8 segundos por passageiro, o tempo de viagem aumentou, o que está novamente coerente com o esperado. Nota-se que a viagem demorou 37,2 segundos a mais para ser concluída. No entanto, em ambos os casos a confiabilidade aumentou em relação ao cenário base, o que não está de acordo com a realidade. Vale ressaltar que o DRACULA simula apenas o tempo de embarque de passageiros, já que a simulação do tempo de desembarque ainda não está disponível no programa.

No último cenário, onde foi considerado que todos os pontos de parada dos ônibus dispunham de baias de 80 metros de comprimento, o tempo médio de viagem aumentou em 2,4 segundos, mantendo-se muito próximo ao tempo médio de viagem para o cenário base.

Tabela 3 – Resultados para o tempo de viagem no sentido Bairro – Centro

Sentido Bairro – Centro				
Tempo de viagem (minutos)				
Cenários		Média (min)	Desvio padrão (min)	Confiabilidade
Cenário Base		18,73	1,62	11,80
Aumento na demanda	10%	18,85	1,75	10,93
	15%	19,25	1,92	10,10
	20%	19,50	1,83	11,04
Aumento no congestionamento	1%	18,57	1,38	13,84
	2,5%	19,06	1,53	13,39
	5%	18,47	1,72	10,99

O uso da microssimulação para avaliar indicadores de confiabilidade do transporte coletivo urbano em corredores estruturais de ônibus  
 CUNHA e SILVA, Thais Cristina; SORRATINI, José Aparecido

	10%	18,67	1,44	13,83
Tempo de embarque	2 seg	17,66	0,85	21,68
	8 seg	20,86	2,35	9,20
Tipo de ponto		18,33	1,39	13,63

Da mesma maneira que ocorreu no sentido Centro – Bairro de movimento, o cenário de aumento de demanda se mostrou coerente com a realidade no que diz respeito ao tempo médio de viagem. Quando houve um acréscimo de 10% na demanda, o tempo de viagem aumentou em 7,2 segundos em relação ao cenário base. Quando o aumento do número de passageiros foi de 15%, a viagem foi mais longa por 31,2 segundos e quando a demanda aumentou em 20% o tempo de viagem teve acréscimo de 46,2 segundos. Para todos os cenários, a confiabilidade do transporte diminuiu em relação ao cenário base, o que é está de acordo com a realidade.

Para o cenário de aumento no congestionamento do trânsito em geral, como aconteceu no outro sentido, as variações no tempo de viagem e na confiabilidade não aconteceram da maneira esperada, o que reforça a conclusão de que a separação do tráfego, no caso estudado, reduz a influência do aumento do congestionamento sobre a confiabilidade do transporte.

Quando foi simulada a redução no tempo de embarque para 2 segundos, o tempo médio de viagem diminuiu em 1 minuto e 4 segundos, apresentando a maior confiabilidade entre todos os cenários, inclusive o cenário base. Quando o tempo de embarque passou para 8 segundos, percebeu-se que houve aumento no tempo de viagem em 2 minutos e 8 segundos e conseqüente redução da confiabilidade. Conclui-se que este cenário está mais em acordo com a realidade do que no mesmo cenário do sentido Centro – Bairro.

O último cenário, em que todos os pontos são dotados de baia de 80 metros de comprimento, o tempo de viagem foi reduzido em 24 segundos e a confiabilidade aumentou em relação ao cenário base.

### **Intervalo de tempo e Tempo de espera**

Os próximos indicadores a serem considerados fizeram referência à confiabilidade do intervalo de tempo – *headway* e ao tempo de espera em excesso, ou seja, o tempo que o passageiro espera, em média, além de 2,5 minutos, que é a metade do *headway* da linha T131. Nota-se que o tempo mostrado na Tabela 4 refere-se ao tempo calculado referente aos dados da simulação.

Tabela 4 – Resultado para ao *headway* no sentido Centro – Bairro

Sentido Centro – Bairro				
Headway (minutos)				
Cenários	Média (min)	Desvio padrão (min)	Não Confiabilidade	Tempo de espera em excesso (min)

O uso da microssimulação para avaliar indicadores de confiabilidade do transporte coletivo urbano em corredores estruturais de ônibus  
 CUNHA e SILVA, Thais Cristina; SORRATINI, José Aparecido

Cenário Base		5,02	0,10	0,02	1,03
Aumento na demanda	10%	4,33	0,11	0,03	1,08
	15%	4,86	0,14	0,03	1,01
	20%	4,56	0,11	0,02	1,27
Aumento no congestionamento	1%	4,97	0,13	0,03	1,00
	2,5%	5,06	0,10	0,02	1,04
	5%	5,02	0,09	0,02	1,03
	10%	5,00	0,08	0,02	1,07
Tempo de embarque	2 seg	5,18	0,15	0,03	0,96
	8 seg	4,98	0,15	0,03	1,07
Tipo de ponto		5,45	0,27	0,05	1,97

Quanto ao *headway* médio, o cenário de aumento de demanda não mostrou um padrão de variação, assim como ocorreu na coluna “Não confiabilidade”, o que não permite uma conclusão clara sobre como o aumento de demanda afeta o *headway*. O tempo de espera em excesso não variou diretamente com os aumentos na demanda e observou-se uma redução em relação ao cenário base quando o aumento de demanda foi de 15% e aumento nesse índice para as outras duas variações.

Para o cenário com aumento no congestionamento, o *headway*, a não confiabilidade e o tempo de espera em excesso não variaram novamente da maneira esperada, conforme visto nos indicadores de confiabilidade no tempo de viagem.

Quando houve a redução do tempo de embarque para 2 segundos por passageiro, o *headway* e a não confiabilidade desse indicador aumentaram, mas o tempo de espera em excesso diminuiu, atingindo o menor valor entre todos os cenários. Quando o tempo de embarque foi elevado para 8 segundos por passageiro houve queda do *headway* médio e piora na confiabilidade em relação ao cenário base. O tempo de espera em excesso neste cenário aumentou e passou para 1 minuto e 4 segundos.

O *headway*, quando todos os pontos foram dotados de baias com 80 metros de comprimento aumentou e o parâmetro neste cenário se mostrou menos confiável que o cenário base. A existência de baias em todos os pontos de parada gerou aumento no tempo de espera em excesso, em relação ao cenário base.

A Tabela 4 mostra os resultados para o intervalo de tempo – *headway* para o sentido Bairro – Centro.

Tabela 5 – Resultado para ao *headway* no sentido Bairro – Centro

Sentido Bairro – Centro				
Headway (minutos)				
Cenários	Média (min)	Desvio padrão (min)	Não Confiabilidade	Tempo de espera em excesso (min)
Cenário Base	4,95	0,07	0,01	0,42

O uso da microssimulação para avaliar indicadores de confiabilidade do transporte coletivo urbano em corredores estruturais de ônibus

CUNHA e SILVA, Thais Cristina; SORRATINI, José Aparecido

Aumento na demanda	10%	4,98	0,06	0,01	0,33
	15%	4,89	0,12	0,02	0,33
	20%	4,86	0,12	0,02	0,31
Aumento no congestionamento	1%	4,96	0,08	0,02	0,40
	2,5%	4,95	0,08	0,02	0,43
	5%	4,92	0,09	0,02	0,46
	10%	4,97	0,02	0,02	0,44
Tempo de embarque	2 seg	5,00	0,07	0,01	0,34
	8 seg	4,90	0,15	0,03	0,44
Tipo de ponto		4,91	0,09	0,02	0,44

Quanto ao *headway* simulado, para o cenário em que houve aumento de 10% na demanda por transporte coletivo difere dos outros resultados, pois apresenta *headway* maior do que os dos cenários com aumento de 15% e 20%. Nos outros dois cenários, o *headway* diminuiu com o aumento a demanda. Na coluna “Não confiabilidade” percebe-se novamente que o cenário com 10% de aumento na demanda apresentou um resultado diferente dos demais, com o mesmo valor de não confiabilidade que o cenário base. O tempo de espera em excesso foi, para todos os cenários, menor do que o encontrado no cenário base, o que não era o esperado.

Para o cenário com aumento no congestionamento do trânsito em geral o *headway* variou em desacordo com os aumentos na taxa de congestionamento. Existe, no entanto, consistência na coluna “Não confiabilidade”, em que todos os cenários se mostraram menos confiáveis que o cenário base. Quanto ao tempo de espera em excesso, exceto pelo cenário de aumento de 1%, os resultados foram maiores do que os do cenário base. Conforme analisado no sentido Centro – Bairro, não se pode concluir sobre o cenário como um todo, devido à inconsistência dos resultados.

No cenário com redução do tempo de embarque para 2 segundos por passageiro, o *headway* médio obtido na simulação foi igual ao *headway* programado, de 5 minutos, a não confiabilidade do cenário manteve-se igual à do cenário base e o tempo de espera caiu e ficou entre os mais baixos para o sentido Bairro – Centro. Quando o tempo de embarque foi elevado para 8 segundos por passageiro, o *headway* do cenário simulado foi menor do que o do cenário base, mas a não confiabilidade do cenário aumentou, assim como o tempo de espera em excesso, comportando-se de acordo com o esperado.

Finalmente, quando todos os pontos foram dotados de baia com 80 metros de comprimento, o *headway* diminuiu em relação ao cenário base e houve aumento da não confiabilidade, o que é consistente com a realidade. No entanto, o tempo de espera em excesso aumentou em relação ao cenário base.

## Regularidade

Os indicadores de regularidade foram calculados de acordo com as fórmulas apresentadas na seção Indicadores de Confiabilidade acima.

Tabela 6 – Resultados para a regularidade em ambos os sentidos

Sentido Centro – Bairro						
Cenários		PRDM (%)	TWM (minutos)	Frequência percebida (ônibus/hora)	Mudança na frequência (%)	Mudança no nível de demanda (%)
Cenário Base		33,65	2,84	10,63	-	0,36
Aumento na demanda	10%	44,05	3,03	9,99	-6,06	-2,18
	15%	37,29	2,92	10,39	-2,30	-0,83
	20%	42,76	3,00	10,08	-5,17	-1,86
Aumento no congestionamento	1%	33,60	2,87	10,61	-0,22	-0,08
	2,5%	35,17	2,87	10,54	-0,86	-0,31
	5%	28,57	2,77	10,92	2,67	0,96
	10%	34,68	2,87	10,55	-0,75	-0,27
Tempo de embarque	2 seg	52,37	3,21	9,41	-11,54	-4,15
	8 seg	34,27	2,86	10,58	-0,53	-0,19
Tipo de ponto		58,49	3,58	8,89	-16,43	-5,92

Tabela 7 – Resultados para a regularidade em ambos os sentidos (continuação)

Sentido Centro – Bairro						
Cenários		PRDM (%)	TWM (minutos)	Frequência percebida (ônibus/hora)	Mudança na frequência (%)	Mudança no nível de demanda (%)
Cenário Base		27,04	2,73	11,04	-	0,36
Aumento na demanda	10%	26,86	2,73	11,06	0,13	0,05
	15%	28,01	2,75	10,99	-0,49	-0,18
	20%	24,28	2,69	11,21	1,49	0,54
Aumento no congestionamento	1%	24,99	2,69	11,20	1,41	0,51
	2,5%	26,86	2,73	11,06	0,13	0,05
	5%	28,01	2,75	10,99	-0,49	-0,18
	10%	24,28	2,69	11,21	1,49	0,54
Tempo de embarque	2 seg	18,19	2,60	11,56	4,72	1,70
	8 seg	33,27	2,86	10,62	-3,83	-1,38
Tipo de ponto		27,91	2,73	11,04	-0,06	-0,02

Pode-se perceber, por meio da análise da PRDM (porcentagem de desvio médio da regularidade), no sentido Centro – Bairro, que a variação se dá de maneira inconsistente. Observa-se, por exemplo, que a PRDM é menor para quando o congestionamento

aumentou 5% do que para o cenário base, ou que é maior para o cenário em que foi considerado que os passageiros levam 2 segundos para embarcar do que a PRDM para quando o tempo de embarque é de 8 segundos. No sentido Bairro – Centro nota-se que o valor da PRDM diminuiu para todos os cenários, sinalizando maior regularidade nesse sentido de movimento. Algumas inconsistências persistem, tal como a ausência de um padrão de variação para os cenários com aumento de demanda e aumento de congestionamento. No entanto, percebe-se que o cenário em que o embarque foi realizado em dois segundos por passageiro, a PRDM caiu e o cenário se mostrou mais regular e confiável que o cenário base, com conseqüente aumento de frequência percebida e redução do tempo de espera.

Em ambos os sentidos de movimento todos os cenários avaliados resultaram em tempos de espera e frequência percebida bem próximos aos do cenário base, o que indica que esses dois parâmetros não foram importantes na avaliação da confiabilidade.

## **CONCLUSÕES**

O corredor da Avenida João Naves de Ávila, como foi implantado, não representa o melhor cenário possível. A partir da análise dos resultados apresentados percebe-se que o cenário com os melhores indicadores foi o que considerou o embarque rápido dos passageiros, realizado em 2 segundos por pessoa. Isso indica que o embarque em nível, ou seja, quando o passageiro não precisa subir degraus, melhorou os indicadores de confiabilidade do corredor estrutural analisado. No entanto, houve melhora na qualidade do serviço prestado em geral pela linha T131 do transporte coletivo urbano:

- Os pontos de parada, antes formados por marquises de concreto, foram substituídos por estações fechadas, aumentando o conforto, ao oferecer um ponto de parada com mobiliário bem mantido e protegido de intempéries, e a segurança dos passageiros, pois a estação fechada permite o controle do acesso aos usuários;
- Veículos novos e mais modernos foram alocados para as linhas que têm ponto de parada no corredor, pela necessidade de portas na lateral esquerda do ônibus, aumentando o conforto dos passageiros e a segurança da viagem. Além disso, alguns veículos de piso baixo circulam no corredor;
- Novas possibilidades de conexão com outras linhas foram criadas, uma vez que em três das estações podem ser realizadas transferências para outras linhas de ônibus sem necessidade de ir ao Terminal Central, aumentando a conectividade do sistema para os usuários;

O corredor estrutural de ônibus da Avenida João Naves de Ávila foi o primeiro a ser implantado na cidade, mas outros quatro projetos de corredores estruturais estão em

desenvolvimento. Deve-se, portanto, considerar a experiência com o primeiro corredor a fim de melhorar os próximos projetos.

O uso de simulação permitiu uma visão mais ampla da implantação do corredor estrutural de ônibus da Avenida João Naves de Ávila e seu reflexo na qualidade do transporte coletivo urbano que o percorre. As simulações mostraram como o projeto poderia ter sido melhorado, caso soluções de planejamento de transporte, como a microssimulação, tivessem sido adotadas ainda na fase de projeto. Espera-se que a análise aqui apresentada possa auxiliar no aprimoramento dos próximos projetos de corredores estruturais, a fim de assegurar a melhoria da qualidade do transporte público urbano.

## REFERÊNCIAS

- Bates, J.; Polak, J.; Jones, P.; Cook, A. (2001). The Valuation of Reliability for Personal Travel. *Transportation Research Part E*, pp. 191–229.
- Ferraz, A. C. P; Torres, I. G. E. (2004). Transporte Público Urbano. 2ª ed. São Carlos: Rima Editora, 410 p.
- ITS – Institute for transport studies (2009). The University of Leeds and ATKINS Planning Consultants Ltd. SATURN – Simulation and Assignment of Traffic in Urban Road Networks. Manual – Version 10.8. Leeds, Reino Unido: ITS/ATKINS, 1218 p.
- Liu, R. (2007). DRACULA 2.4 User Manual. Leeds, Reino Unido: Institute for Transport Studies, University of Leeds, 149 p.
- Polus, A. (1978). Modelling and Measurements of Bus Service Reliability. *Transport Research*, vol. 12, pp. 253–256.
- Portugal, L. S. (2005). Simulação de tráfego: conceitos e técnicas de modelagem. 1ª Ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, vol. 1, 198 p.
- Sorratini, J. Ap.; Liu, R; Sinha, S. (2008). Assessing Bus Transport Reliability Using Microsimulation. *Transportation Planning and Technology*, vol. 31, n. 3, pp. 303-324, jun. 2008.
- Sterman, B. P.; Schofer, J. L. (1976). Factors Affecting Reliability of Urban Bus Services. *Transportation Engineering Journal*, p 147 – 159, fev.
- TRB – Transportation Research Board. (2003). Kittelson & Associates, Inc. TCQSM – Transit Capacity and Quality of Service Manual. TRCP Report 100, 2nd edition, May, 2003. Disponível em: <[http://gulliver.trb.org/publications/tcrp/trcp\\_webdoc\\_6-e.pdf](http://gulliver.trb.org/publications/tcrp/trcp_webdoc_6-e.pdf)>. Acesso em: 27 ago. 2009.
- van Oort, N.; van Nes, R. (2004). Service Regularity Analysis for Urban Transit Network Design. In: Transportation Research Board, 83rd TRB annual Meeting, Washington, DC, CD 1.
- Xin, W.; Hourdos, J.; Michalopoulos, P. (2008). Enhanced Micro-Simulation Models for Accurate Safety Assessment of Traffic Management ITS Solutions. Relatório – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Minnesota, Estados Unidos. 107 p. Disponível em:

*O uso da microssimulação para avaliar indicadores de confiabilidade do transporte coletivo urbano em corredores estruturais de ônibus*  
CUNHA e SILVA, Thais Cristina; SORRATINI, José Aparecido

<<http://www.its.umn.edu/Publications/ResearchReports/reportdetail.html?id=1704>>.  
Acesso em: 08 dez. 2009.