

ANÁLISE DE CAPACIDADE DE TERMINAIS URBANOS DE ÔNIBUS: METODOLOGIA ADAPTADA

Luciana Guadalupe Ferronato

Empresa Pública de Transporte e Circulação – EPTC

RESUMO

Terminais urbanos de ônibus proporcionam conforto para o usuário e organização da circulação de veículos e pedestres no entorno. Evita-se desperdício de recursos com uma maior atenção ao projeto desses equipamentos e um ponto relevante a considerar é a capacidade de atendimento. Esta comunicação relata a adaptação de uma metodologia do TCRP de avaliação da capacidade de terminais urbanos de ônibus, aplicável não somente para dimensionamento mas, também, para simulação de diferentes planos operacionais. A adaptação refere-se à forma de operação e aos níveis locais dos parâmetros em análise. A metodologia foi aplicada ao caso do Terminal Triângulo, que opera com a maior parte das linhas de ônibus em sistema de passagem, sendo que apenas duas linhas têm ali ponto final. O local é, tradicionalmente, um ponto de integração entre os sistemas urbano e metropolitano. Para um futuro próximo, está prevista a implantação de um sistema tronco-alimentado, com integração tarifária através de bilhetagem eletrônica, tendo esse terminal como um dos principais elementos de infra-estrutura. Dados levantados após a consolidação da operação permitiram ajustar a metodologia.

ABSTRACT

Urban bus terminals provide comfort for users and organization of traffic and pedestrian flows in the neighborhoods. Resources can be better allocated with more attention to planning phase of transit facilities, and capacity analysis is a relevant point to consider. This communication reports the adaptation of a methodology from TCRP for capacity analysis of urban bus terminals, applicable for sizing and simulation of different operational plans. The adaptation is relative to operational scheme and local levels of the parameters in analysis. The methodology was applied to the Triangle Terminal, which operates with most of the routes driving through and only two routes with end point there. The place is, traditionally, a point of integration between urban and metropolitan systems. The integration of bus transit services is foreseen with electronic fare payment, and the Triangle Terminal is one of the main infrastructure elements of the project. Local data had allowed adjusting the methodology.

1 INTRODUÇÃO

Terminais urbanos são elementos-chave na qualificação dos serviços de transporte coletivo, podendo proporcionar melhores condições de conforto para o usuário, assim como uma melhor organização da circulação de veículos e pedestres no seu entorno. O volume de recursos demandados para a construção de terminais indica o grau de importância do planejamento bem fundamentado, a fim de evitar o desperdício. A bibliografia em português sobre o tema é notadamente escassa.

Porto Alegre, capital do Estado do Rio Grande do Sul, com aproximadamente 1,5 milhão de habitantes (IBGE, 2000) e cujo sistema de transporte coletivo por ônibus transporta diariamente em torno de 1 milhão de passageiros, teve uma experiência de operação tronco-alimentada nos anos 80, posteriormente revertida. Hoje a cidade é servida por uma rede de 326 linhas, em sua maioria radiais, sendo apenas 10 linhas transversais, operando sem integração tarifária. A integração ocorre em pequena escala, transportando cerca de 2% dos passageiros em 3% das viagens do sistema.

Esta comunicação relata a adaptação de uma metodologia de avaliação da capacidade de terminais urbanos de ônibus, aplicável não somente para dimensionamento como para simulação de diferentes planos operacionais. A adaptação refere-se à forma de operação e aos níveis locais dos parâmetros em análise. A metodologia foi aplicada ao caso do Terminal Triângulo, inaugurado recentemente e cuja proposta de operação foi apenas parcialmente implementada. Inicialmente, a maior parte das linhas de ônibus opera em sistema de

passagem, sendo que apenas duas linhas têm ali ponto final. O local é, tradicionalmente, um ponto de integração entre os sistemas urbano e metropolitano. Para um futuro próximo, está prevista a implantação de um sistema tronco-alimentado, com integração tarifária através de bilhetagem eletrônica, tendo esse terminal como um dos principais elementos de infraestrutura.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O Módulo de Treinamento em Planejamento da Operação (EBTU, 1988) trata do desempenho de terminais propondo um índice de ineficiência (não de eficiência). Esse índice relaciona tempos de terminal e tempos de ciclo de uma linha. Outros parâmetros citados referem-se a condições de circulação e fluxo de passageiros, entretanto, não propõe formas de avaliação quantitativa. Tempos de parada em pontos isolados têm tratamento mais detalhado, relacionado à capacidade de atendimento do ponto. O tempo de parada é subdividido em tempo para embarque e desembarque de passageiros e tempo morto (aceleração, desaceleração, abertura e fechamento de portas).

Szasz (1993) aborda o tema da capacidade de paradas de ônibus detalhadamente, através do cálculo do grau de saturação. O tempo que o veículo permanece na parada é o principal parâmetro, considerando que esta não pode operar com dois veículos simultaneamente. Trata-se de um tempo morto (para desaceleração, abertura e fechamento das portas, aceleração e saída) e do tempo útil (para embarque e desembarque de passageiros). Fatores que afetam o embarque são considerados, como número e largura das portas, existência de degraus, modo de pagamento da tarifa e *layout* interno do ônibus.

2.1 Metodologia aplicada

No estudo de caso, foi adotada a metodologia do TCRP Report 100: *Transit Capacity and Quality of Service Manual* (TCRP, 2003). Trata-se nessa comunicação de estimar a capacidade do terminal, em ônibus/hora, a qual depende, principalmente, do espaço disponível para a operação de embarque/desembarque dos ônibus e do tempo necessário para essa operação.

A estimativa é feita em três níveis: capacidade de um box; capacidade de uma parada; capacidade de uma plataforma. A Figura 1 mostra uma plataforma que comporta diversas paradas, as quais têm um número diferenciado de boxes.

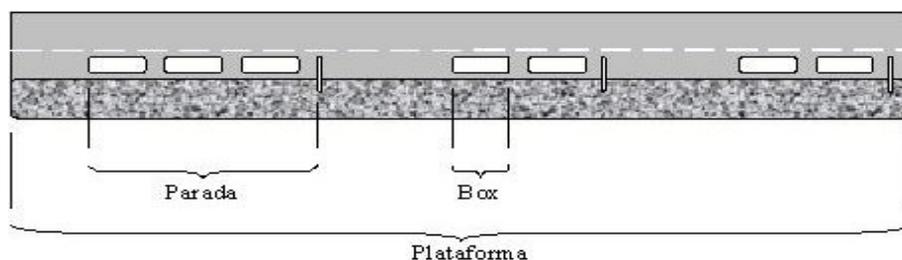


Figura 1: Plataforma, parada e box

2.1.1 Capacidade do box

No caso de paradas lineares como as da Figura 1, um ônibus ocupa um box durante o tempo necessário para a operação de embarque/desembarque, incluindo a abertura e fechamento de portas, somado ao tempo necessário para percorrer seu comprimento e desocupar o box. Para estimativa de capacidade, o tempo de embarque/desembarque pode ser medido em campo,

calculado de acordo com o volume de embarques/desembarques, espécie de pagamento e tipo de portas e plataformas, ou adotados os valores representativos de 60s para pontos com grande volume de passageiros, 30s para pontos medianamente carregados e 15s para paradas comuns.

O tempo necessário para desocupar o box, de aproximadamente 10s para percorrer o comprimento do ônibus, deve considerar o intervalo entre brechas aceitáveis, caso a parada esteja fora da faixa de rolamento. Esse intervalo é dado em função do volume de tráfego na faixa adjacente à parada e 7s é o valor recomendado, na falta de dados do local.

Além desses fatores, o cálculo de capacidade adota uma margem de operação, baseada na variabilidade dos tempos de parada e na probabilidade de um ônibus chegar e encontrar o box ocupado. O coeficiente de variação dos tempos de parada é o desvio padrão desses tempos dividido por sua média. A probabilidade de encontrar o box ocupado é dimensionada considerando que, quanto menor essa probabilidade, menor a capacidade e maior a confiabilidade.

De acordo com o exposto, a capacidade de um box é dada pela equação 1:

$$B = \frac{3.600(v/C)}{t_d + t_p(v/C) + Zc_v t_p} \quad (1)$$

Onde B é a capacidade do box, 3.600 é o número de segundos em uma hora, v/C é a proporção de verde efetivo disponível para o ônibus em um ciclo do semáforo (=1 se não houver semáforo), t_d é o tempo para desocupar o box, t_p é o tempo de parada médio, Z é a variável normal padrão correspondente à probabilidade de encontrar o box ocupado e c_v é o coeficiente de variação dos tempos de parada. O tempo de verde disponível afeta a capacidade de duas maneiras: primeiro, no numerador, representando o tempo disponível para acessar a parada ou sair dela; segundo, o tempo de parada é ajustado, refletindo a porção desse tempo que ocorre durante a fase em que o sinal está vermelho e o ônibus não poderia deixar a parada.

2.1.2 Capacidade da Parada

A capacidade total de uma parada com mais de um box não é dada pela multiplicação da capacidade pelo número de boxes. Cada box acrescentado tem eficiência menor do que o anterior. Isso se deve a três fatores: os boxes posteriores são usados menos frequentemente do que os anteriores; não sabendo em qual box o ônibus vai parar, os passageiros podem ter que caminhar para embarcar quando o ônibus chega; um ônibus pode não conseguir deixar o box até que o box à sua frente esteja vazio.

A Tabela 1 mostra o número efetivo de boxes em paradas fora da faixa de rolamento.

Tabela 1: Número efetivo de boxes

Número de boxes	Número efetivo de boxes
1	1
2	1,85
3	2,65
4	3,25
5	3,75

Fonte: TCRP (2003)

A capacidade da parada é dada pela equação 2:

$$P = N_e B = N_e \frac{3.600(v/C)}{t_d + t_p(v/C) + Zc_v t_p} \quad (2)$$

Onde P é a capacidade da parada e N_e é o número efetivo de boxes da parada.

2.1.3 Capacidade da Plataforma

A metodologia do TCRP (2003) aborda a capacidade de um conjunto de paradas considerando que todos os veículos deverão parar em cada um dos pontos, que é a forma de operação de faixa exclusiva para ônibus, sem ultrapassagem. Dessa maneira, a capacidade total é dada pela capacidade da parada mais carregada. A situação de terminal, em que os boxes não são lineares, é tratada da seguinte forma: cada box tem eficiência de 100% e a capacidade do terminal é a soma das capacidades dos boxes. Em qualquer dos casos o efeito da interação entre os veículos no interior do terminal não é abordado especificamente.

2.1.4 Adaptação

Dois pontos na metodologia sofreram adaptação: a influência dos semáforos na capacidade das paradas e o tempo necessário para deixar a parada. De acordo com a metodologia, o tempo de verde efetivo sobre o tempo de ciclo poderia ser considerado igual a 1 no caso de vias exclusivas. Apesar de se verificar essa exclusividade no caso estudado, o efeito redutor da capacidade foi considerado bastante significativo para ser incluído nos cálculos. Quanto ao tempo para desocupar o box, considerando que no interior do terminal é permitida a ultrapassagem, a interação entre os veículos foi representada como tráfego misto. Assim, o ônibus que desocupa o box deve esperar por uma brecha na faixa da esquerda.

3 ESTUDO DE CASO: TERMINAL TRIÂNGULO

Inicialmente, o Terminal Triângulo opera com a maior parte das linhas em sistema de passagem, agrupadas por semelhança de itinerário e destino, em paradas de 3 boxes. Apenas duas linhas circulares têm ali ponto final: uma, na Parada 1 e, outra, na Parada 5 (Figura 2).

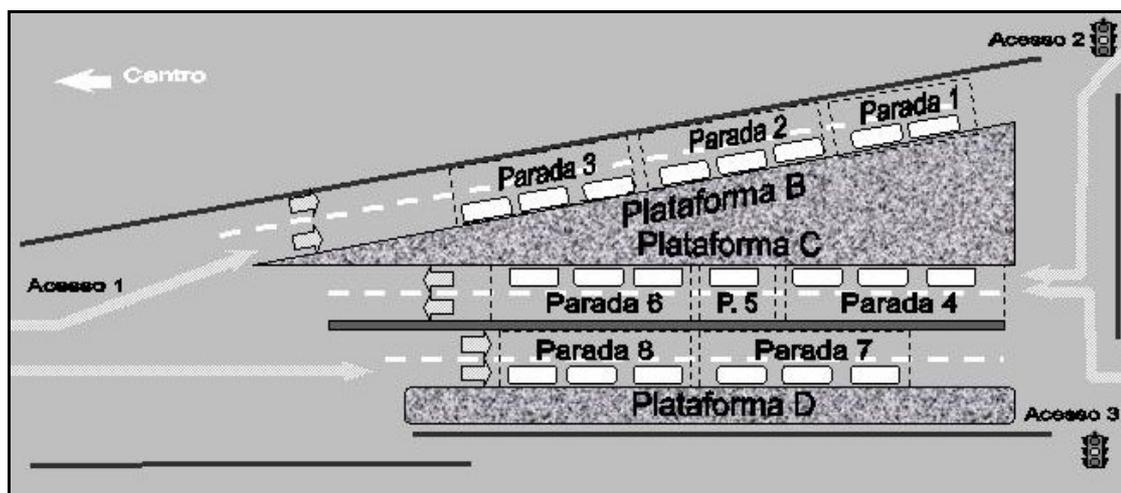


Figura 2: Terminal Triângulo: circulação e paradas

O Acesso 1 dá entrada às linhas que trafegam no sentido Centro-Bairro, distribuindo-se nas paradas das plataformas **B** e **D**, com saída através dos acessos 2 e 3, respectivamente. No sentido Bairro-Centro, as linhas têm entrada pelos acessos 2 e 3 e paradas na Plataforma **C**, com saída pelo acesso 1.

3.1 Capacidade estimada

Foi estimada, de acordo com a metodologia exposta, a capacidade das plataformas. Os valores atribuídos às variáveis e as estimativas de capacidade encontram-se na Tabela 2, comparados ao fluxo previsto de veículos no período de pico da manhã. Os tempos médios de parada foram estimados em 30s para as paradas das linhas de passagem e em 120s para as que têm no local seu ponto terminal. Os tempos estimados para desocupar o box refletem diferentes condições de fluxo nas plataformas, com maior ou menor dificuldade para retornar à faixa de circulação. Esse tempo é maior nas paradas da plataforma C, que concentra maior volume de ônibus.

Na Plataforma B, a capacidade da parada 1 não é afetada pelo semáforo, uma vez que os ônibus deixam a parada para retornar no sentido Bairro-Centro, com saída pelo acesso 1; as paradas 2 e 3 são afetadas pelo semáforo na saída, pelo acesso 2. Na plataforma C, todas as paradas têm sua capacidade reduzida pelo semáforo na entrada, sendo que as paradas 4 e 6 têm um tempo maior de verde efetivo disponível porque somam os tempos dos acessos 2 e 3, ao passo que os veículos com terminal na parada 5 têm origem no acesso 3 somente. Na plataforma D, a capacidade das paradas é reduzida pelo semáforo na saída, pelo acesso 3.

Tabela 2: Capacidade estimada

Plataforma	Parada	Nº boxes	Nº efetivo boxes	tempo médio parada	tempo desocupar box	coeficiente variação tempo parada	Probabilidade de encontrar box ocupado	Z	v	C	Capacidade (ônibus/h)	Volume (ônibus/h)
<i>Pl</i>	<i>P</i>	<i>N</i>	<i>Ne</i>	<i>tp</i>	<i>td</i>	<i>cv</i>						
B	1	2	1,85	120	15	60%	1%	2,33	120	120	22	14
	2	3	2,65	30	15	60%	5%	1,645	15	120	25	25
	3	3	2,65	30	15	60%	5%	1,645	15	120	25	25
											71	64
C	4	3	2,65	30	20	60%	5%	1,645	89	120	89	118
	5	1	1	120	20	60%	5%	1,645	73	120	8	9
	6	3	2,65	15	20	60%	5%	1,645	89	120	142	153
											239	280
D	7	3	2,65	30	15	60%	5%	1,645	73	120	128	37
	8	3	2,65	30	15	60%	5%	1,645	73	120	128	12
D											256	49
Terminal											566	393

A capacidade estimada da plataforma C encontra-se, em todas as paradas, abaixo do volume esperado de veículos no período. A operação foi iniciada nessas condições, funcionando inicialmente duas paradas na plataforma B e C e uma na plataforma D, tendo em vista a possibilidade de serem efetuados ajustes imediatos na programação semafórica e no número de boxes das paradas. Além disso, considerava-se a possibilidade de os tempos médios de parada e sua variabilidade terem sido superestimados, assim como os tempos necessários para desocupar os boxes. Nesse caso, a capacidade seria significativamente maior do que o esperado, conforme se observa na Figura 3.

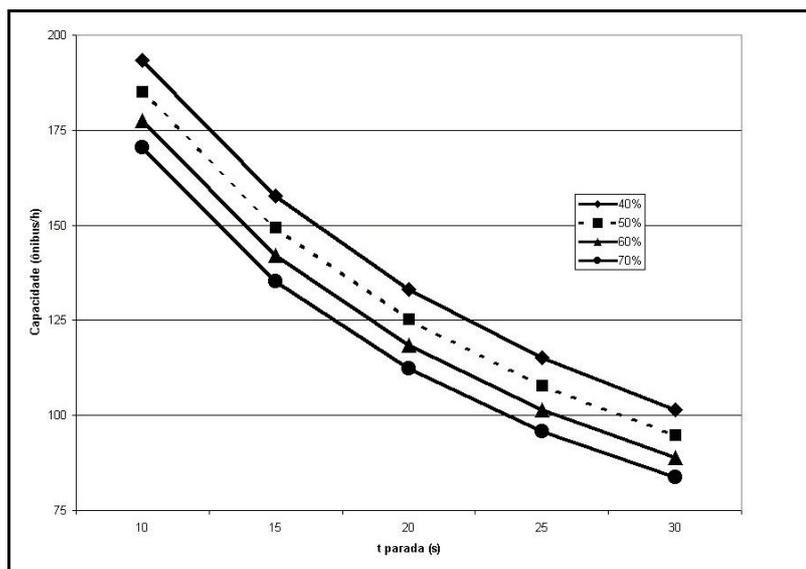


Figura 3: Capacidade em função do tempo médio de parada e de sua variabilidade

3.2 Parâmetros observados

Aproximadamente dois meses após o início da operação do terminal, com a operação consolidada, foi realizado levantamento de tempos de parada em dias típicos no período das 7:00 às 9:00 horas, assim como de tempos para desocupar o box e de embarque e desembarque. Para efeitos de demonstração da aplicação, os dados apresentados a seguir referem-se apenas ao ponto crítico do terminal: a plataforma C, no período de pico da manhã.

A Figura 4 mostra os tempos médios de parada em 336 observações no primeiro box da parada 4. O tempo médio de parada foi de 13 s, com desvio padrão de 2,2 e o coeficiente de variação, calculado com esses dados, ficou abaixo daquele utilizado na estimativa: 53%. O tempo médio para desocupar o box foi de 5,3 s, com desvio padrão de 2 s, também menor do que o tempo utilizado na primeira estimativa de capacidade. Em EBTU (1988), o tempo morto é estimado em 12 a 15 s para aceleração, desaceleração, abertura e fechamento de portas.

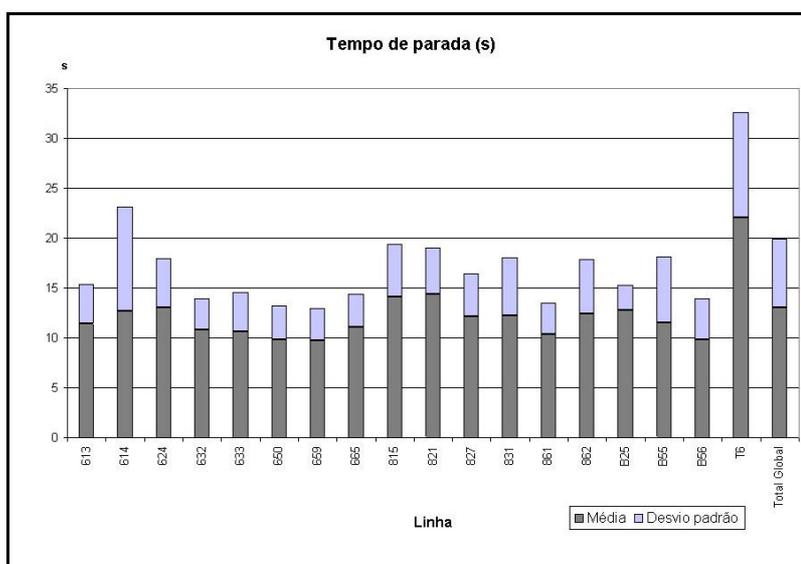


Figura 4 – Tempos de parada

Os tempos médios para embarque e desembarque por passageiro foram de 3,8 e 2,1 s, respectivamente. Note-se que os veículos são do tipo convencional, com embarque em desnível, e a tarifa é paga no interior do veículo. Em EBTU (1988), os tempos adotados para embarque vão de 2,0 a 2,5 s por passageiro e de 1,5 a 2,0 s para desembarque, considerando portas independentes, e “veículos normalmente em uso nas cidades brasileiras”. Essa diferença se deve, possivelmente, a características locais: em geral, os ônibus urbanos de Porto Alegre têm portas duplas, mas somente uma via é utilizada; o embarque foi dificultado desde que passou a ocorrer na porta dianteira, permanecendo o desembarque de passageiros isentos pela mesma porta e o acúmulo desses antes da catraca, tendo um espaço reduzido entre ela e a porta.

Foi realizado, também, o levantamento do fluxo de veículos na plataforma C, detalhado na Tabela 3. Observa-se que a capacidade das paradas 4 e 6, as mais carregadas, foi subestimada.

Tabela 3: Capacidade estimada x verificada

Parada	Capacidade estimada (ônibus/h)	Volume esperado (ônibus/h)	Atendimento verificado 7:45 a 7:59h (ônibus/h)
4	89	118	120
5	8	9	4
6	142	153	176
Plataforma C	239	280	300

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Em uma nova estimativa, aplicando os dados observados para a parada 4, aumenta significativamente a capacidade individual da parada: de 89 ônibus/hora passa a 168. Os parâmetros substituídos estão sombreados em cinza na Tabela 4, onde foram substituídos um a um e todos simultaneamente, a fim de demonstrar o efeito de cada um.

Resta esclarecer que a operação de embarque na plataforma C se dá, efetivamente, em 2 boxes, ao invés de 3, conforme havia sido planejado. Várias razões para essa modificação de fato, que reduz em 30% a capacidade, podem ser citadas: a sinalização no local indica somente o ponto de início da parada, assim, os usuários não estão informados de que três ônibus poderão abrir as portas de embarque simultaneamente; outras estações próximas operam com dois boxes, embora tenham espaço para mais; os tempos de parada são curtos e pouca demora haverá para que os dois primeiros ônibus partam, permitindo que os seguintes se aproximem; e, existe uma orientação para que o motorista abra as portas até o terceiro box, mas não há, ainda, fiscalização nesse sentido. Há uma indicação clara da conveniência de subdividir essa parada, na qual diversos destinos são oferecidos, com o objetivo de aumentar a eficiência dos boxes.

Tabela 4: Capacidade da parada 4 (estimada com dados de campo)

Parada	Nº boxes	tempo médio parada	tempo desocupar box	coeficiente variação tempo parada	Capacidade (ônibus/h)	Volume verificado (ônibus/h)
<i>P</i>	<i>N</i>	<i>tp</i>	<i>td</i>	<i>cv</i>		
4	3	30	20	60%	89	120
	3	30	20	53%	93	120
	3	30	5	60%	110	120
	3	13	20	60%	154	120
	2	30	20	60%	62	120
	2	13	5	53%	168	120

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A adaptação de planos operacionais de sistemas de transporte por ônibus aos terminais disponíveis passa pela avaliação de capacidade. Ao caso do Terminal Triângulo foi aplicada uma metodologia para estimar quantos ônibus/hora poderiam utilizar o equipamento. O espaço disponível e o tempo que cada ônibus permanece ocupando esse espaço formam a estrutura da metodologia. Inicialmente, valores recomendados na bibliografia foram utilizados na estimativa de capacidade. Após a consolidação da operação foi realizado levantamento de dados e, assim, houve oportunidade de confrontar os parâmetros utilizados na estimativa com a realidade, o que permitiu ajustar a metodologia aplicada.

A escassez de bibliografia e de software específico para a análise de capacidade de terminais urbanos de ônibus abre oportunidades de estudo nesse campo. Outras abordagens poderiam ser avaliadas, com diferentes representações do conjunto de plataformas do terminal, agregando detalhes referentes à interação entre os veículos, a exemplo dos modelos de tráfego. A operação do terminal de passageiros aproxima-se, também, dos terminais de carga, para os quais diversos modelos são disponibilizados. Entretanto, variáveis típicas de transportes coletivos urbanos devem ser agregadas.

A capacidade das plataformas quanto ao fluxo de usuários é outro nível de análise a ser considerado. A possibilidade (talvez necessidade) de ocupação de espaços nas plataformas por instalações comerciais e outros equipamentos que constituem obstáculos à circulação, demanda estudos para que se garanta um nível de serviço adequado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1988) EBTU. **Planejamento da Operação**. Publicações EBTU, Empresa Brasileira de Transporte Urbano, Gerência do Sistema de Transporte Público – STPP, Módulos de Treinamento. Ministério da habitação, Urbanismo e Meio Ambiente, Brasília, DF.
- (2000) IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2000**. Disponível na Internet: <http://www.sidra.ibge.gov.br/cd/cd2000fd.asp>.
- (1993) SZASZ, P. **Manual de Operación del Transporte Público**. Secretaria de Desarrollo Social – SEDESOL, Subsecretaria del Desarrollo Urbano y Ordenacion del Territorio, Dirección General de Ordenacion del Territorio, Programa de Assistência Técnica en Transporte Urbano para las Ciudades Medias Mexicanas, Manual Normativo, Tomo V. Disponível na internet: <http://www.sedesol.gob.mx/subsecretarias/desarrollourbano/sancho/manuales/manuales%20normativos%20vialidad/Tomo5.PDF>.
- (2003) TCRP Report 100: **Transit Capacity and Quality of Service Manual**, 2 ed. TRANSIT Cooperative Research Program, Federal Transit Administration, Transportation Research Board. Disponível na Internet: http://trb.org/news/blurb_detail.asp?id=2326.

ENDEREÇO DA AUTORA

EPTC – Empresa Pública de Transporte e Circulação

R. João Neves da Fontoura, 7

90050-030 Porto Alegre – RS

Telefone: (51) 3289 4238

lucianag@eptc.prefpoa.com.br