

Método para análise de níveis de serviço em praças de pedágio

Marta Rodrigues Obelheiro¹, Helena Beatriz Bettella Cybis²,
Marcelo Leismann de Oliveira³ e José Luis Duarte Ribeiro⁴

Resumo: Este trabalho propõe um método para análise de níveis de serviço em praças de pedágio. O método foi elaborado a partir de dados representativos de condições operacionais características de rodovias e praças de pedágio brasileiras. O método proposto é baseado na percepção de usuários de praças de pedágio acerca da qualidade de serviço nas praças. A percepção dos usuários foi captada através de pesquisa qualitativa, que envolveu o uso de cenários microssimulados representativos de situações de tráfego em praças. A partir dos resultados da pesquisa qualitativa, foi realizada modelagem e obtida equação que relaciona a qualidade percebida pelos usuários com os fatores intervenientes: porcentagem de caminhões no fluxo, tamanho de fila e número de cabines de atendimento. Os resultados indicaram que o comprimento de filas nas cabines exerce forte influência sobre a qualidade percebida nas praças. Além da equação, é proposta uma escala de níveis de serviço relacionada com a qualidade percebida pelos usuários em praças de pedágio.

Palavras-chave: praças de pedágio, nível de serviço, pesquisa qualitativa, simulação.

Abstract: This paper proposes a method for analyzing level of service at toll plazas. The method was built from data representing specific operational conditions of Brazilian highways and toll plazas, and it is based on toll plaza quality service as perceived by users. Users' perception was captured by qualitative research, which involved the use of microsimulated scenarios representing traffic situations at toll plazas. The outcome of the qualitative research was a model relating service quality as perceived by users with the influence factors: trucks percentage, queue length and number of toll booths. The results suggest that queue length at toll booths has a strong influence on perceived quality at toll plazas. This paper also proposes a hierarchy for the level of service related to service quality perceived by users at toll plazas.

Keywords: toll plaza, level of service, qualitative research, simulation.

1. INTRODUÇÃO

Nível de serviço é uma medida de qualidade que descreve as condições operacionais em uma corrente de tráfego (TRB, 2000). Estas condições são traduzidas em parâmetros operacionais diretamente relacionados com a percepção de conforto e conveniência do usuário ao trafegar por distintas situações de tráfego. O *Highway Capacity Manual - HCM* (TRB, 2000) apresenta escalas de níveis de serviço para diversos componentes do sistema viário, tais como rodovias e interseções semaforizadas, entre outros. Entretanto, o HCM não apresenta um método para avaliação do nível de serviço em praças de pedágio.

Praças de pedágio podem reduzir significativamente a capacidade viária dos trechos onde estão inseridas, gerando congestionamentos e atrasos aos usuários. A análise de praças de pedágio pode subsidiar decisões quanto ao gerenciamento e operação destes sistemas, afetando diretamente o

serviço prestado e o conforto e satisfação dos usuários.

A definição de uma escala de níveis de serviço para praças de pedágio possibilita: (i) a análise do impacto de alterações através da comparação das situações anterior e posterior; (ii) a avaliação de diferentes praças e condições de operação através de indicadores padronizados; (iii) a inclusão nos contratos de concessão de parâmetros de desempenho compatíveis com a qualidade de serviço esperada nas praças. Desta forma, os técnicos responsáveis pela operação das praças poderão otimizar o seu funcionamento, e os órgãos reguladores poderão fiscalizar a qualidade do serviço prestado de forma mais clara e eficiente, resultando em uma melhora no serviço prestado aos usuários.

Este trabalho propõe um método para análise de níveis de serviço em praças de pedágio. Este método é uma evolução do trabalho desenvolvido por Oliveira (2009), e está baseado na percepção de usuários acerca da qualidade do serviço em praças de pedágio. O método foi elaborado a partir de dados característicos de rodovias e praças de pedágio brasileiras, de forma a adaptar sua aplicação a condições operacionais encontradas em todo o país.

2. NÍVEIS DE SERVIÇO EM PRAÇAS DE PEDÁGIO

Uma vez que não existe um método consagrado para a avaliação de níveis de serviço em praças de pedágio, alguns estudos vêm sendo realizados sobre o tema. Estes estudos, entretanto, divergem com relação à seleção dos indicadores de desempenho e com relação às escalas de níveis de serviço que melhor representem a operação deste tipo de infraestrutura.

Dentre os principais indicadores de desempenho utilizados em estudos de capacidade e nível de serviço em praças de pedágio, destacam-se aqueles relacionados a atrasos e

¹ Marta Rodrigues Obelheiro, Laboratório de Sistemas de Transportes, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (e-mail: marta.obelheiro@producao.ufrgs.br).

² Helena Beatriz Bettella Cybis, Laboratório de Sistemas de Transportes, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (e-mail: helenabc@ufrgs.br).

³ Marcelo Leismann de Oliveira, Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT, Superintendência de Exploração da Infraestrutura Rodoviária, Brasília, DF, Brasil. (e-mail: Marcelo.oliveira@antt.gov.br).

⁴ José Luis Duarte Ribeiro, Laboratório de Otimização de Produtos e Processos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (e-mail: ribeiro@producao.ufrgs.br).

tempos de espera em filas (Klodzinski e Al-Deek, 2002), tamanhos de filas (Van Dijk *et al.*, 1999; Oliveira, 2009) e relação volume-capacidade (Woo e Hoel, 1991; Al-Deek e Radwan, 1995). Estes indicadores, obtidos através de observações empíricas ou simulação, são mensurados com diferentes níveis de agregação. Exemplos de indicadores relacionados a atrasos e tempos de espera em filas são: (i) tempo de espera na fila individual por veículo (Wanisubut, 1989; Niño, 2001); (ii) tempo médio de espera por veículo (Al-Deek e Radwan, 1995), por cabine (Gulewicz e Danko, 1995), e para toda a praça (Van Dijk *et al.*, 1999); (iii) atraso médio por veículo (Astarita *et al.*, 2001), atrasos por cabine (Zarrillo, 1998; Horn, 2003) e para toda a praça (Polus, 1996; Zarrillo, 1998). Indicadores de desempenho relacionados a tamanhos de filas podem ser representados como: (i) tamanho máximo de fila por cabine (Zarrillo, 1998; Niño, 2001); e (ii) comprimento médio de fila por cabine (Lin e Su, 1994; Gulewicz e Danko, 1995; Burris e Hildebrand, 1996; Oliveira, 2009).

Escalas de níveis de serviço para praças de pedágio foram propostas com base em diferentes indicadores de desempenho. Neste trabalho, são apresentadas as escalas propostas por Woo e Hoel (1991), Lin e Su (1994), Klodzinski e Al-Deek (2002) e Oliveira (2009). A Tabela 1 apresenta as escalas de níveis de serviço para praças de pedágio propostas nestes estudos.

Woo e Hoel (1991) correlacionaram estatisticamente a relação volume-capacidade com a densidade nas áreas de chegada e saída das praças, concluindo que a relação V/C poderia ser estimada a partir dos valores de densidade. Os autores verificaram que havia similaridade estatística entre a relação V/C e densidades apresentadas no HCM para níveis de serviço em rodovias e as mesmas relações obtidas nas praças do estudo. A densidade nas praças foi então escolhida como indicador de desempenho, e a escala proposta foi semelhante à adotada pelo HCM para rodovias.

A escala proposta por Lin e Su (1994) utiliza o comprimento médio de fila nas cabines e o tempo médio no sistema como indicadores de desempenho. Os tempos médios usados na definição da escala foram baseados nos valores de atrasos indicados no “*Highway Capacity Manual for Taiwan Area*” para níveis de serviço de interseções semaforizadas.

Klodzinski e Al-Deek (2002) utilizaram como indicador de desempenho o atraso individual sofrido por motoristas para a travessia do trecho com praça de pedágio. Tempos médios de atendimento foram definidos a partir de pesquisa nos Estados Unidos e no Canadá. A definição de níveis de serviço foi baseada na comparação de atrasos em cabines de pedágio com atrasos em interseções semaforizadas, segundo critérios estabelecidos pelo HCM 2000.

O método proposto por Oliveira (2009) é baseado na percepção de usuários acerca da qualidade do tráfego em praças de pedágio. Para a formulação do método, foram utilizados dados de praças do Rio Grande do Sul. A percepção de qualidade de tráfego foi obtida através de pesquisa qualitativa junto a usuários de praças deste mesmo estado. A pesquisa consistiu na avaliação de vídeos representativos de cenários com parâmetros controlados. O indicador de desempenho utilizado foi o comprimento médio de filas nas cabines, quantificado através do número médio de veículos em fila. Foi também avaliada a influência da composição do fluxo e do número de cabines na qualidade operacional percebida pelos usuários. Para cada cenário apresentado nos vídeos, os usuários atribuíram uma nota que variava de “Péssimo” a “Excelente”. De posse das notas dos cenários, o autor estimou um modelo que relaciona os fatores analisados com as percepções de qualidade de tráfego.

Observa-se na literatura que os métodos propostos para qualificação de níveis de serviço em praças de pedágio sofrem uma forte influência das metodologias estabelecidas pelo HCM. Autores procuram estabelecer analogias com as metodologias para avaliação de rodovias ou para condições de tráfego interrompido, como interseções semaforizadas. Praças de pedágio, entretanto, apresentam condições operacionais diferentes de rodovias e, em sua maioria, estão inseridas em ambientes diferentes de interseções semaforizadas. Usuários provavelmente não avaliem o nível de serviço segundo os mesmos critérios. Ainda, a experiência local deve influenciar fortemente as condições consideradas aceitáveis pelos usuários.

Outro ponto importante a considerar é a praticidade de aplicação. Métodos baseados em atrasos e tempos de percurso exigem um esforço de coleta de dados razoável, que pode inviabilizar a utilização frequente do método. A proposta de Oliveira (2009) considera este aspecto, e utiliza o número de veículos em fila associado ao percentual de caminhões no fluxo, indicadores mais simples de coletar e mais robustos.

Este artigo apresenta uma evolução do método desenvolvido por Oliveira (2009). As modificações propostas foram concebidas visando simplicidade de aplicação e uma melhor adequação da forma de mensuração dos indicadores à percepção dos usuários. Ainda, o modelo proposto por Oliveira (2009) foi baseado em condições representativas de praças de pedágio do Rio Grande do Sul. Este trabalho busca, também, estender a representatividade do método, ampliando o contexto dos cenários de forma a representar condições operacionais características de rodovias e praças de pedágio brasileiras.

Tabela 1. Escalas de níveis de serviço em praças de pedágio segundo diversos autores

Nível de Serviço	Woo e Hoel (1991)		Lin e Su (1994)		Klodzinski e Al-Deek (2002)	Oliveira (2009)
	Densidade (veic/milha/faixa)	Relação V/C	Comprimento de fila (L veic)	Tempo no sistema (T segundos/veic)	Atraso individual (T segundos/veic)	Nota do Cenário
A	≤ 12	0,24	≤ 1	≤ 15	≤ 14	7 > N ≥ 6
B	12 < D ≤ 20	0,40	1 < L ≤ 2	15 < T ≤ 30	14 < T ≤ 28	6 > N ≥ 5
C	20 < D ≤ 30	0,57	2 < L ≤ 3	30 < T ≤ 45	28 < T ≤ 49	5 > N ≥ 4
D	30 < D ≤ 42	0,74	3 < L ≤ 6	45 < T ≤ 60	49 < T ≤ 77	4 > N ≥ 3
E	42 < D ≤ 67	1,00	6 < L ≤ 10	60 < T ≤ 80	77 < T ≤ 112	3 > N ≥ 2
F	> 67		> 10	> 80	> 112	2 > N ≥ 1

3. MÉTODO DE TRABALHO

O método para análise de níveis de serviço em praças de pedágio proposto neste trabalho é baseado na percepção de usuários acerca da qualidade de serviço em praças de pedágio. A qualidade do serviço em praças de pedágio está relacionada a diversos elementos, tais como: (i) tempo de espera do usuário na fila; (ii) condições de infraestrutura da praça (qualidade do pavimento, largura de faixas, número de cabines, iluminação, etc.); (iii) forma com que o usuário é atendido nas cabines (rapidez, cortesia, etc.); e (iv) sinalização informativa sobre valores de tarifas e formas de pagamento. Neste estudo, a qualidade do serviço percebida nas praças está relacionada somente aos fatores que interferem no tempo de espera do usuário na fila. Fatores intervenientes em outros elementos relacionados à qualidade percebida nas praças não foram considerados no método proposto.

A qualidade percebida pelos usuários em diferentes situações de tráfego em praças de pedágio foi captada através de pesquisa qualitativa. O levantamento da percepção dos respondentes foi realizado através da apresentação de vídeos obtidos a partir de cenários construídos com um simulador de tráfego, com parâmetros controlados.

O desenvolvimento do método envolveu as seguintes etapas: (i) planejamento da pesquisa qualitativa sobre a percepção de qualidade do serviço em praças; (ii) elaboração dos cenários utilizados na pesquisa qualitativa; (iii) aplicação da pesquisa junto a usuários de praças de pedágio; (iv) análise de resultados da pesquisa qualitativa; e (v) modelagem da percepção dos usuários e proposição da escala de níveis de serviço.

4. PLANEJAMENTO DA PESQUISA QUALITATIVA SOBRE A PERCEPÇÃO DE QUALIDADE DO SERVIÇO EM PRAÇAS

No planejamento da pesquisa qualitativa, foram definidos os fatores intervenientes na percepção da qualidade do serviço, bem como os valores limites destes fatores, utilizados na elaboração dos cenários. A etapa de planejamento envolveu ainda o dimensionamento da pesquisa através de um projeto de experimentos.

Os fatores utilizados na elaboração dos cenários foram: a porcentagem de caminhões no fluxo, o número de cabines nas praças e o comprimento médio de filas nas cabines. O fator “porcentagem de caminhões no fluxo” é tradicionalmente incluído em métodos de análise de capacidade de componentes do sistema viário. A presença de caminhões nas praças de pedágio pode influenciar a qualidade percebida pelos usuários de duas formas: (i) caminhões são maiores, resultando em filas mais longas nas cabines; e (ii) suas características operacionais resultam em um desempenho inferior quando comparados aos automóveis. O fator “número de cabines” foi selecionado por possuir relação direta com a área disponível para manobras na chegada das praças, podendo influenciar a percepção da qualidade do serviço. O “comprimento médio de filas nas cabines” é o indicador de desempenho resultante da relação entre a demanda e a capacidade de processamento das cabines. O comprimento de filas nas cabines é diretamente proporcional aos tempos de espera em fila e aos atrasos vivenciados pelos usuários, influenciando a percepção de qualidade de serviço nas praças de pedágio. Estes três fatores também foram uti-

lizados por Oliveira (2009).

Com o objetivo de garantir a aplicabilidade e validade do método, a definição dos valores limites dos três fatores foi baseada em condições operacionais características de rodovias e praças de pedágio brasileiras.

O fator “porcentagem de caminhões no fluxo” teve seu valor máximo definido com base em um estudo que envolveu a caracterização do tráfego de veículos pesados em rodovias paulistas de pista dupla, a partir de dados da Agência Reguladora de Transporte do Estado de São Paulo (Cunha, 2007). Através da determinação do fluxo em um dia útil típico, o autor concluiu que, para avaliar o impacto de veículos pesados no tráfego, devem ser consideradas porcentagens de até 60% de caminhões. Logo, neste estudo foi definido o valor de 60% para a porcentagem máxima de caminhões no fluxo. O nível mais baixo para a fração de caminhões foi definido como 0%. No método de Oliveira (2009), o fator “parcela de caminhões no fluxo de tráfego” teve seu valor máximo definido como 30% a partir da análise de um banco de dados de uma concessionária do estado do Rio Grande do Sul.

Para a definição do valor máximo do fator “número de cabines”, foi realizado um levantamento sobre o número de cabines existentes em 199 praças de pedágio do Brasil. Foram levantadas informações a respeito de praças localizadas nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Ceará e Bahia, o que corresponde a cerca de 70% do total de praças existentes no país. Do total de 199 praças pesquisadas, 126 praças possuem até 10 cabines e 73 praças possuem mais de 10 cabines. As maiores praças encontradas neste levantamento estão localizadas no estado de São Paulo e possuem até 28 cabines. Desta forma, o fator “número de cabines” teve seu nível mínimo definido como 3 cabines e máximo igual a 18 cabines. O estudo de Oliveira (2009) adotou um número máximo de cabines igual a 10, condição representativa das maiores praças de pedágio encontradas no Rio Grande do Sul, onde foi desenvolvido o método.

O fator “comprimento médio de fila nas cabines” foi mensurado em metros, e não em número de veículos, como nos trabalhos de Lin e Su (1994) e Oliveira (2009). O comprimento de fila em metros apresenta maior facilidade de mensuração na prática, e foi considerado mais adequado para representar a influência da demanda na percepção da qualidade do serviço em praças. Além disso, esta variável vem sendo utilizada como parâmetro de desempenho nos contratos de concessão de rodovias federais brasileiras, como forma de regular o serviço prestado por empresas operadoras das concessões (ANTT, 2008a, 2008b, 2008c, 2008d).

O fator “comprimento médio de fila nas cabines” teve seu nível mínimo definido como 0 m. Este nível representa a operação em condições de baixo fluxo de tráfego, com a probabilidade de 50% para que um veículo encontre uma cabine vazia para atendimento imediato, ou a probabilidade de 50% para que encontre um veículo em atendimento. O comprimento máximo de fila nas cabines foi considerado igual a 60 m, o equivalente a cerca de 10 automóveis em fila. No método proposto por Oliveira (2009), foram admitidas filas máximas de aproximadamente 140 m, geradas por fluxos de 140 a 155 veic/h/cabine. Conforme análise realizada pelo autor, a capacidade das praças do estudo corresponde a cerca de 135 veic/h/cabine. Logo, a demanda

que leva à formação das filas máximas consideradas é superior à capacidade de processamento das cabines, o que representa uma operação instável. A instabilidade na operação do sistema dificulta a avaliação da qualidade percebida pelos usuários, razão pela qual o “comprimento médio de filas nas cabines” teve seu valor máximo reduzido.

Uma vez definidos os limites dos fatores utilizados na elaboração dos cenários, a pesquisa de percepção de qualidade de serviço foi planejada através de um projeto de experimentos. Os níveis para os fatores controlados nos cenários representaram as variáveis de entrada da pesquisa. A variável de resposta do experimento foi a “nota do cenário”, que variou entre 1 e 7, representando a qualidade percebida em relação às situações de tráfego apresentadas.

A dimensão da pesquisa foi definida através de um projeto composto de segunda ordem, onde o fator “porcentagem de caminhões no fluxo” assumiu cinco níveis, o “comprimento médio de fila nas cabines” assumiu cinco níveis e o “número de cabines” assumiu quatro níveis. Os níveis adotados para os diferentes fatores foram:

- porcentagem de caminhões no fluxo: 0%, 10%, 30%, 50% e 60%;
- comprimento médio de filas nas cabines: 0 m, 10 m, 30 m, 50 m e 60 m; e
- número de cabines na praça: 3, 6, 10 e 18.

O projeto composto de segunda ordem, resultado de combinações específicas dos níveis dos fatores, resultou em 15 cenários de pesquisa (ver Tabela 2).

5. ELABORAÇÃO DOS CENÁRIOS UTILIZADOS NA PESQUISA QUALITATIVA

Os cenários da pesquisa foram elaborados através do modelo de microssimulação VISSIM versão 4.30-05. Foram modeladas quatro redes de tráfego, representando praças de 3 cabines, 6 cabines, 10 cabines e 18 cabines, conforme indicado pelo projeto composto de segunda ordem utilizado para a obtenção dos cenários. As redes que representam praças com 3 e 10 cabines são semelhantes às redes do trabalho desenvolvido por Oliveira (2009). Para a modelagem das demais redes, características geométricas de praças de pedágio existentes no país (tais como número de faixas de aproximação, largura de faixas, etc.) foram obtidas através do levantamento descrito no item 4.

A caracterização do fluxo foi baseada em dados extraídos do Manual de Estudos de Tráfego do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT (DNIT, 2006). Veículos foram divididos em três classes: (i) veículos de passeio, (ii) caminhões leves e (iii) caminhões pesados. Caminhões leves foram considerados aqueles de 2 e 3 eixos, comprimento máximo de 14 m e peso bruto total máximo de 23 t. Caminhões pesados foram considerados aqueles de 5 e 6 eixos, comprimento máximo de 19,8 m e peso bruto total máximo de 57 t. A categoria de caminhões foi dividida em duas classes devido ao impacto deste tipo de veículo na formação e comprimento de filas nas cabines e no processamento de veículos nas cabines.

Os dados representativos do fluxo de tráfego de rodovias dos estados de São Paulo e do Rio Grande do Sul analisados por Cunha (2007) e Oliveira (2009) revelaram que, em ambos os estados, a categoria de caminhões é composta por aproximadamente dois terços de caminhões leves e um terço de caminhões pesados. Desta forma, na modelagem das

redes a categoria de caminhões foi representada de acordo com esta proporção.

Todas as praças modeladas operam somente cabines de cobrança manual, ou seja, pagamentos em dinheiro e através de cartões. O número de cabines abertas para atendimento é definido por rotina adotada por cada concessionária, podendo variar muito entre concessionárias e até mesmo em uma única praça ao longo do dia, o que dificulta sua correta representação. Desta forma, por simplificação, nos cenários elaborados todas as cabines estavam abertas ao tráfego.

Para possibilitar a comparação entre resultados das duas pesquisas, os dados sobre tempos de atendimento foram os mesmos utilizados por Oliveira (2009). A utilização de diferentes tempos de atendimento poderia influenciar fortemente a qualidade percebida pelos usuários.

A calibração nas redes de tráfego foi executada de forma agregada, buscando ajustar parâmetros de espaçamentos entre veículos em filas, desacelerações e velocidades desejadas. Os dados e parâmetros foram identicamente calibrados em todas as redes de tráfego. As informações sobre acelerações, desacelerações e tempos de percurso em praças foram extraídas de trabalho desenvolvido por Araújo (2001), que analisou características operacionais de praças de pedágio no estado de São Paulo. Para calibrar os tempos de percurso nas chegadas das praças, as redes foram codificadas de modo a incluir arcos nas aproximações das cabines. Os arcos partiam das cabines até uma distância de 300 metros antes das mesmas, buscando representar situação semelhante à observada por Araújo (2001).

Após a calibração dos tempos de percurso, foi realizada a verificação visual do comportamento dos modelos. Foi constatado que os veículos apresentavam espaçamentos em fila ligeiramente maiores do que o visualmente esperado. Para diminuir o espaçamento entre veículos em filas, o parâmetro CC0, que regula a distância de parada entre veículos, teve seu valor ajustado. Após a calibração, os modelos passaram a apresentar comportamentos visualmente esperados para situações de tráfego e filas, sendo considerados aptos a representar o comportamento dos veículos em praças de pedágio.

Os cenários gerados nas microssimulações foram apresentados através do módulo de visualização em terceira dimensão do software VISSIM (PTV, 2006). As imagens geradas foram exportadas através do próprio VISSIM e salvas em formato padrão de arquivo presente na maioria dos sistemas operacionais. Todos os vídeos dos cenários possuíam duração entre 20 e 30 segundos.

6. APLICAÇÃO DA PESQUISA JUNTO A USUÁRIOS DE PRAÇAS DE PEDÁGIO

A amostra pesquisada da população de usuários de praças de pedágio foi composta por 142 usuários de praças do estado do Rio Grande do Sul, de diferentes faixas etárias, com idade maior ou igual a 18 anos. O sexo e o grau de escolaridade dos entrevistados não foram considerados como fatores importantes para a estratificação da amostra. Além disso, não foi considerado se os respondentes eram motoristas habilitados ou não.

A pesquisa foi estruturada em 3 questionários, cada um contendo 5 dos 15 cenários elaborados. Cada usuário respondia a somente um questionário, avaliando portanto 5



Figura 1. Fragmento do questionário utilizado para avaliação dos cenários

Tabela 2. Notas médias atribuídas aos cenários da pesquisa

Cenário	% de caminhões	Nº de cabines (n)	Comprimento de fila (m)	Nota do Cenário
1	10	6	10	4,42
2	10	6	50	2,50
3	10	18	10	4,88
4	10	18	50	2,32
5	50	6	10	4,88
6	50	6	50	2,53
7	50	18	10	5,58
8	50	18	50	2,63
9	0	10	30	2,94
10	60	10	30	3,58
11	30	3	30	3,63
12	30	18	30	3,18
13	30	10	0	6,89
14	30	10	60	2,69
15	30	10	30	2,94

cenários. A aplicação dos questionários foi realizada através da internet, de forma a atingir um maior número de respondentes de várias cidades do estado. Os questionários foram hospedados na página do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFRGS, e acessados através de uma senha. Os respondentes foram direcionados sequencialmente aos questionários 1, 2 e 3, de tal forma que os questionários tivessem número semelhante de acessos.

A percepção dos respondentes acerca da qualidade do serviço dos cenários analisados foi obtida mediante a atribuição de conceitos, variando de “Péssimo” a “Excelente” conforme Figura 1. Os respondentes foram instruídos a marcar a alternativa que mais se aproximava de seu grau de conforto e satisfação em relação às condições de tráfego encontradas nas imagens, caso estivessem trafegando nas praças de pedágio apresentadas nos vídeos.

7. ANÁLISE DE RESULTADOS DA PESQUISA QUALITATIVA

Os conceitos atribuídos à qualidade de serviço dos cenários foram transformados em notas (variável de resposta do experimento) variando de 1, nota correspondente ao conceito

Péssimo, a 7, correspondente ao conceito Excelente. A nota de cada cenário foi obtida através da média das notas a ele atribuídas, sendo descartados valores atípicos. As médias das notas dos cenários são apresentadas na Tabela 2.

Analisando as médias das notas atribuídas aos cenários, apresentadas na Tabela 2, observa-se que a composição do tráfego tende a exercer pouca influência sobre as notas atribuídas aos cenários. A pequena influência da composição do tráfego sobre a qualidade percebida pelos usuários pode ser verificada na comparação das notas de cenários que apresentam mesmo número de cabines e comprimento de fila, mas variadas composições de tráfego, como no caso dos cenários 2 e 6, 1 e 5 e dos cenários 4 e 8.

As notas dos cenários também se mostram pouco influenciadas pelo número de cabines das praças. A pouca influência do número de cabines sobre a qualidade percebida pelos usuários pode ser verificada na comparação das notas dos cenários 1 e 3, 2 e 4 e dos cenários 6 e 8.

Observa-se ainda que as notas atribuídas pelos usuários variam de forma bastante significativa com o comprimento médio de fila nas cabines. Na comparação entre os cenários 1 e 2, que apresentam praças com mesmo número de cabines (6 cabines) e mesma porcentagem de caminhões no flu-

xo (10%), a nota atribuída aos cenários varia de 4,42, em situação com filas médias de 10 m, a 2,50, atribuída ao cenário com filas médias de 50 m. A redução da nota do cenário em decorrência do aumento do comprimento médio de fila também pode ser verificada na comparação dos cenários 13, 14 e 15.

8. MODELAGEM DA PERCEÇÃO DOS USUÁRIOS E PROPOSIÇÃO DA ESCALA DE NÍVEIS DE SERVIÇO

Os resultados obtidos através da pesquisa foram utilizados para a estimativa de um modelo de percepção da qualidade de serviço em praças de pedágio. A modelagem foi realizada com o software StatGraphics v.15.2.06 (StatPoint, 2005), e a equação que melhor representou os dados foi do tipo exponencial negativa, obtida através de regressão múltipla não linear:

$$\text{Nota do Cenário} = 1 + 6,0 \cdot e^{-\left[\left(\frac{FILA}{25,92} \right)^{0,71} \left[1 - \left(\frac{CAM}{2,53} \right) - \left(\frac{CAB}{486} \right) \right] \right]} \quad (1)$$

em que,

- FILA*: comprimento médio de fila nas cabines [m];
- CAM*: porcentagem de caminhões no fluxo [decimal]; e
- CAB*: número de cabines na praça.

O coeficiente de determinação (R^2) obtido para o modelo é igual a 96,2%, o que indica um ótimo ajuste. O modelo obtido atende as suposições de normalidade e homocedasticidade dos resíduos. O modelo reproduz valores para “Notas dos Cenários” que variam entre 1 e 7, respeitando os limites de contorno estabelecidos na pesquisa.

Para avaliar a qualidade de serviço em praças de pedágio, a equação 1 deve ser utilizada em conjunto com a escala de níveis de serviço proposta na Tabela 3. Diferentemente do critério utilizado no HCM para avaliação de níveis de serviço em rodovias, em que o nível de serviço E corresponde à capacidade da via (TRB, 2000), a escala proposta neste estudo não apresenta qualquer relação entre os níveis de serviço e a capacidade das praças. Esta dissociação entre os níveis de serviço e a capacidade se justifica na medida em que as situações de tráfego representadas pelos cenários

testados na pesquisa qualitativa não estão relacionadas com a capacidade das praças. Desta forma, a escala proposta está associada aos conceitos utilizados para avaliação dos cenários na pesquisa qualitativa. Para possibilitar a comparação entre o método proposto neste trabalho e o método de Oliveira (2009), os limites de notas dos cenários correspondentes a cada nível de serviço são idênticos em ambos os trabalhos.

Tabela 3. Escala proposta para análise de níveis de serviço em praças de pedágio

Nível de Serviço	Nota do Cenário
Muito Bom a Excelente	$6 \leq N < 7$
Bom a Muito Bom	$5 \leq N < 6$
Regular a Bom	$4 \leq N < 5$
Ruim a Regular	$3 \leq N < 4$
Muito Ruim a Ruim	$2 \leq N < 3$
Péssimo a Muito Ruim	$1 \leq N < 2$

8.1. Análises de Sensibilidade do Modelo

As Figuras 2, 3 e 4 apresentam os gráficos de sensibilidade do modelo.

O efeito da variável “comprimento médio de fila nas cabines” é muito forte, exercendo grande influência sobre a variável “Nota do Cenário”. A nota dos cenários cai de 7 a cerca de 2 quando a fila aumenta de 0 a 60 m, como mostrado na Figura 3 e Figura 4.

O efeito da variável “porcentagem de caminhões no fluxo” é relativamente fraco, mas significativo. A qualidade percebida nas praças melhora cerca de 0,1 ponto (considerando a escala de 1 a 7) com o acréscimo de 10% na porcentagem de caminhões no fluxo, conforme Figura 4. Essa melhora pode ser atribuída ao fato que, para um dado comprimento de fila, o usuário prefere que essa fila contenha caminhões, pois isso significa um menor número de veículos em fila e menos operações de pagamento, resultando em menor tempo de espera.

O efeito da variável “número de cabines na praça” não foi significativo ao nível de significância $\alpha = 5\%$. Observa-se um aumento muito pequeno na qualidade percebida nas praças com o aumento do número de cabines, conforme Figura 3. Este aumento, entretanto, pode ser apenas ruído.

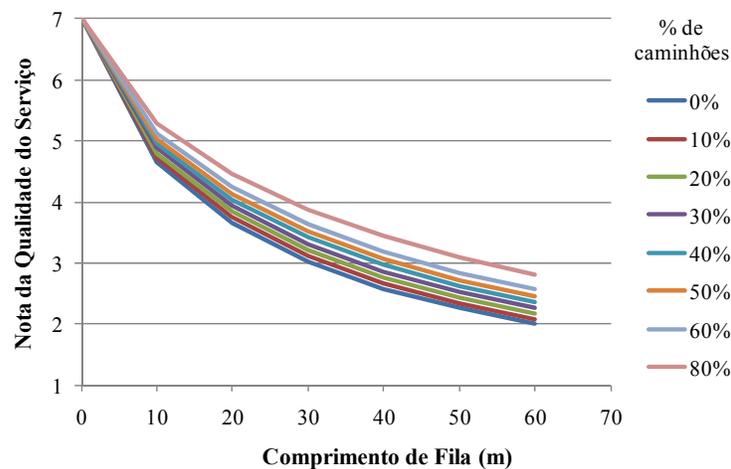


Figura 2. Gráfico de sensibilidade da qualidade do serviço aos fatores comprimento de fila e porcentagem de caminhões, para praça de pedágio com 10 cabines

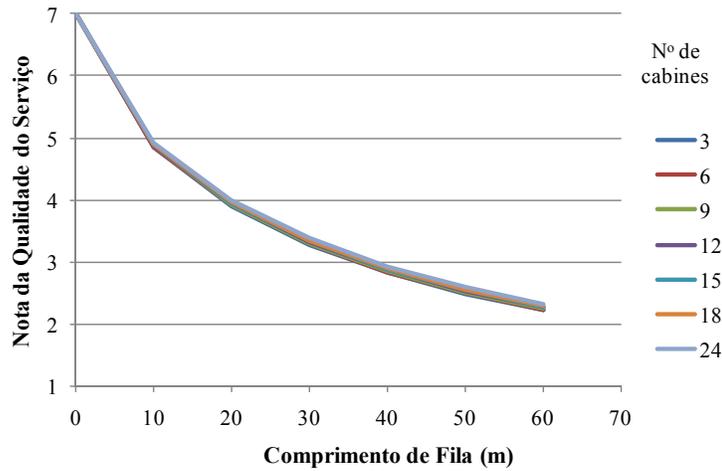


Figura 3. Gráfico de sensibilidade da qualidade do serviço aos fatores comprimento de fila e número de cabines, para fluxos com 30% de caminhões

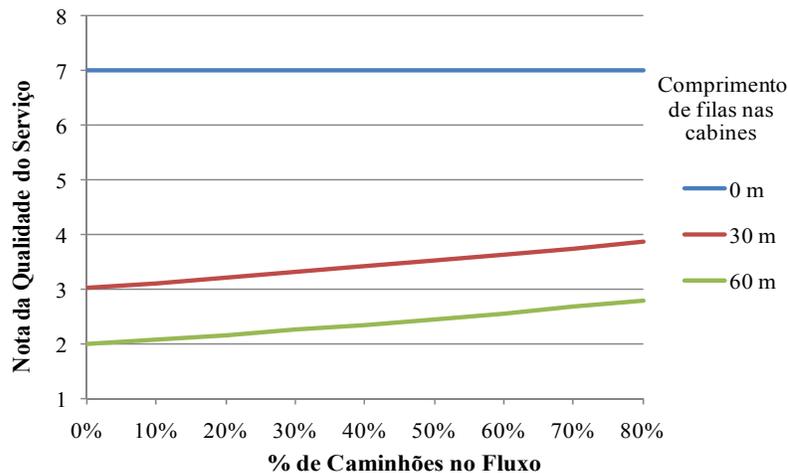


Figura 4. Gráfico de sensibilidade da qualidade do serviço aos fatores porcentagem de caminhões e comprimento de fila, para praças de pedágio com 10 cabines

Desconsiderando-se a hipótese de ruído, este efeito pode ser atribuído ao fato que um número maior de cabines provavelmente leve a uma maior liberdade de manobras para a escolha de cabines com menores filas, reduzindo o desconforto causado pela sensação de ocupação da praça. Logo, o termo relacionado à variável “número de cabines” poderia ser eliminado do modelo. Entretanto, ele foi mantido neste trabalho para possibilitar a comparação com o modelo estimado por Oliveira (2009).

8.2. Comparação do modelo obtido com o modelo proposto por Oliveira (2009)

A Tabela 4 mostra uma comparação entre as variáveis dependentes e explicativas do modelo de Oliveira (2009) e do novo modelo proposto neste trabalho. São também apresentados os coeficientes de determinação dos dois modelos.

Observa-se que o coeficiente de determinação do modelo proposto neste trabalho é um pouco maior do que o apresentado pelo modelo de Oliveira, indicando um melhor ajuste às variáveis.

Em relação às variáveis utilizadas, nos dois modelos o “comprimento médio de fila nas cabines” se mostrou a variável com maior influência na percepção de qualidade de serviço em praças de pedágio. Para todos os casos, a qualidade de serviço percebida nas praças apresenta forte decaimento com o aumento das filas nas cabines.

A variável “porcentagem de caminhões no fluxo” exerceu influência pequena, mas significativa, sobre as notas dos cenários, efeito verificado em ambos os modelos. Esta variável apresentou coeficientes com sinais opostos nos dois modelos, o que pode ser explicado pelas diferentes formas de mensuração do comprimento de fila nas cabines.

Tabela 4. Comparação entre o modelo de Oliveira (2009) e o modelo proposto neste trabalho

	<i>Modelo de Oliveira (2009)</i>	<i>Novo modelo</i>
Variável dependente	Nota do usuário	Nota do cenário
Variáveis explicativas	Porcentagem de caminhões no fluxo [%] Número de cabines [n] Comprimento médio da fila [n veículos]	Porcentagem de caminhões no fluxo [%] Número de cabines [n] Comprimento médio da fila [m]
Coefficiente de determinação (R ²) do modelo	94,4%	96,2%

Ao considerar o número de veículos em fila, a presença de caminhões no fluxo tende a diminuir a qualidade percebida nas praças, como verificado por Oliveira (2009). Isso ocorre pois caminhões apresentam maiores tempos de atendimento nas cabines, além de colaborarem para o desconforto causado pela sensação de ocupação da praça. A mensuração do comprimento de fila em metros faz com que o efeito da presença de caminhões no fluxo seja algo positivo, uma vez que os usuários preferem menos veículos em fila, como discutido anteriormente.

O efeito da variável “número de cabines na praça” não foi significativo neste estudo, podendo ser descartado da modelagem. No trabalho de Oliveira (2009), a correlação entre a variável “número de cabines na praça” e as notas dos cenários foi próxima à zero. Logo, com base nos resultados dos dois estudos, pode-se concluir que o efeito do número de cabines sobre a percepção de qualidade de serviço em praças de pedágio não é significativo.

A Figura 5 apresenta uma comparação entre o modelo proposto neste estudo e o modelo de Oliveira, para diferentes composições de fluxo em praças de pedágio de 10 cabines. Observa-se que, para qualquer comprimento de fila nas cabines, as notas obtidas através do modelo de Oliveira são maiores do que aquelas obtidas através do novo modelo.

A Tabela 5 apresenta as variações do comprimento de fila nas cabines relacionadas aos níveis de serviço de acordo com o novo modelo proposto neste trabalho e com o modelo de Oliveira (2009), para diferentes composições de fluxo em praças de pedágio com 10 cabines. A escala resultante

do novo modelo apresenta valores menores do que os indicados pelo modelo de Oliveira para os limites de comprimento de fila correspondentes a cada nível de serviço. O novo modelo, portanto, pode ser considerado mais rigoroso, na medida em que representa uma menor tolerância dos usuários em relação às filas nas cabines.

O perfil mais tolerante a filas apresentado pelos usuários de praças que responderam à pesquisa de Oliveira (2009) pode ser atribuído a diversos fatores, como às técnicas e procedimentos de entrevistas utilizados, às diferenças na formulação dos cenários que compuseram a pesquisa e mesmo à amplitude e características da população entrevistada. Neste trabalho as filas máximas apresentadas aos usuários foram de 60 m, enquanto que no trabalho de Oliveira chegavam a 140 m nos casos mais extremos. A pesquisa qualitativa neste trabalho foi respondida através da internet. Dados utilizados por Oliveira foram obtidos através de grupos focados. Antes da apresentação dos vídeos que deveriam ser avaliados, o autor apresentou aos respondentes vídeos representativos de cenários extremos, com as melhores e piores situações de tráfego analisadas no estudo, de forma a oferecer um referencial de julgamento aos respondentes. Este procedimento pode ter sugestionado os respondentes a serem mais condescendentes com as situações de tráfego apresentadas, uma vez que o autor testou cenários com filas maiores.

Apesar das diferenças nas técnicas de entrevistas e na concepção dos cenários, observa-se uma consistência nos resultados dos modelos, particularmente considerando as

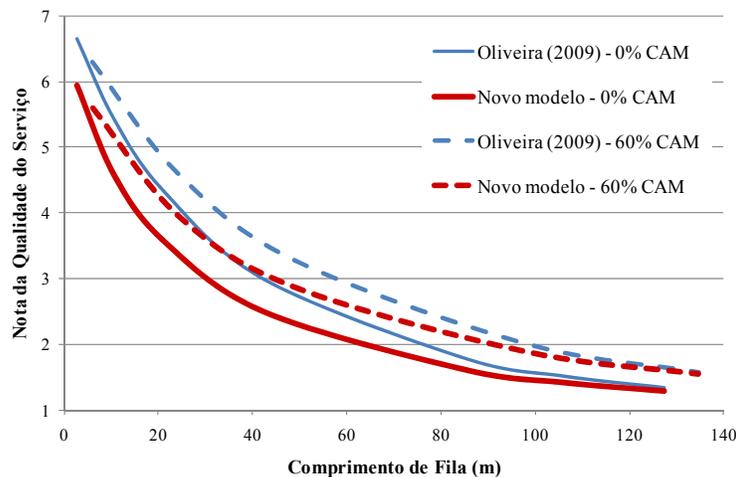


Figura 5. Comparação entre o modelo proposto neste estudo e o modelo de Oliveira (2009), para praças de pedágio com 10 cabines e fluxos compostos por 0% e 60% de caminhões

Tabela 5. Escalas de níveis de serviço de acordo com o modelo de Oliveira (2009) e o novo modelo, para diferentes composições de fluxo em praças de pedágio com 10 cabines

Nível de Serviço		Comprimento de Fila (L metros)					
		0% de caminhões		30% de caminhões		60% de caminhões	
Oliveira (2009)	Novo modelo	Oliveira (2009)	Novo modelo	Oliveira (2009)	Novo modelo	Oliveira (2009)	Novo modelo
A	Muito Bom a Excelente	$L \leq 6$	$L \leq 2$	$L \leq 8$	$L \leq 3$	$L \leq 8,5$	$L \leq 3,5$
B	Bom a Muito Bom	$6 < L \leq 14$	$2 < L \leq 7,5$	$8 < L \leq 17$	$3 < L \leq 9$	$8,5 < L \leq 19$	$3,5 < L \leq 11$
C	Regular a Bom	$14 < L \leq 25$	$7,5 < L \leq 16$	$17 < L \leq 31$	$9 < L \leq 19$	$19 < L \leq 34$	$11 < L \leq 24$
D	Ruim a Regular	$25 < L \leq 42$	$16 < L \leq 31$	$31 < L \leq 51$	$19 < L \leq 37$	$34 < L \leq 56$	$24 < L \leq 45$
E	Muito Ruim a Ruim	$42 < L \leq 73$	$31 < L \leq 61$	$51 < L \leq 90$	$37 < L \leq 73$	$56 < L \leq 98$	$45 < L \leq 90$
F	Péssimo a Muito Ruim	$L > 73$	$L > 61$	$L > 90$	$L > 73$	$L > 98$	$L > 90$

oscilações que normalmente ocorrem nos tamanhos de fila em praças de pedágio. Convertida em comprimento equivalente de veículos em fila, a diferença entre os limites dos dois modelos, para o nível de serviço Bom, é de cerca de 1,5 automóveis no cenário com 0% de caminhões.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo apresentou um método para análise de níveis de serviço em praças de pedágio baseado na percepção de usuários acerca da qualidade de serviço em praças. A percepção dos usuários foi captada através de pesquisa qualitativa aplicada via internet, com a utilização de vídeos de cenários de praças construídos através de simulação de tráfego. O método foi concebido para representar condições características de praças de pedágio de todo o Brasil, de forma que as condicionantes que definiram os cenários testados são baseadas em pesquisa sobre condições de fluxo e layout de praças de pedágio do país. A coleta de dados através da internet se mostrou eficiente e confiável. Os resultados foram consistentes e a técnica permitiu ampliar consideravelmente a abrangência da população entrevistada.

Os resultados da pesquisa foram utilizados em modelagem que relacionou o nível de serviço nas praças com: (i) comprimento médio de filas nas cabines; (ii) porcentagem de caminhões no fluxo; e (iii) número de cabines na praça. A modelagem foi realizada através de regressão, resultando em uma equação exponencial negativa, com ótima aderência aos dados coletados (coeficiente de determinação $R^2 = 0,962$).

Os resultados da pesquisa e as análises de sensibilidade do modelo indicaram que o “comprimento médio de filas nas cabines” é a variável que exerce maior influência sobre a qualidade percebida nas praças. O aumento do comprimento de filas nas cabines causa uma expressiva redução na qualidade percebida pelos usuários. Este resultado era esperado, uma vez que o comprimento de filas nas cabines é diretamente proporcional ao tempo de espera do usuário na fila. A presença de filas nas cabines leva a um aumento na sensação de desconforto e inconveniência do usuário ao cruzar a praça de pedágio. A “porcentagem de caminhões no fluxo” exerceu influência pequena mas significativa sobre a percepção de qualidade de serviço. Com o aumento da porcentagem de caminhões no fluxo, há uma melhora na qualidade percebida pelos usuários, uma vez que para um mesmo comprimento de fila, a presença de caminhões implica em um menor número de veículos realizando pagamentos, e um menor tempo de espera na fila. O efeito da variável “número de cabines” não se mostrou estatisticamente significativo, não sendo necessária sua inclusão na modelagem.

O método propõe uma escala de níveis de serviço relacionada com a qualidade percebida pelos usuários em praças de pedágio. Para evitar uma possível associação com metodologias apresentadas no HCM para análise de níveis de serviço em rodovias, que relacionam o nível de serviço “E” à capacidade, a escala proposta é formada por conceitos de qualidade que variam de “Excelente” a “Péssimo”, conforme escala utilizada na pesquisa qualitativa.

Uma qualidade importante do método é a utilização de indicadores de fácil levantamento. O indicador comprimento de filas é facilmente compreendido pelos usuários e operadores, além de ser facilmente coletável, através de obser-

vação ou com o auxílio de câmaras de vídeo. A porcentagem de caminhões no fluxo é também facilmente obtida através dos registros do sistema de cobrança das praças. A utilização de indicadores que exigem processos de coleta práticos e robustos, pouco sujeito a erros, é um fator importante para a confiabilidade e larga utilização do método.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Deek, H. M. e A. E. Radwan (1995) A framework for evaluation level of service at electronic toll collection plazas. *Proceedings of Transportation Congress: Civil Engineers – Key to World Infrastructure*, ASCE, v.2, p. 1412–1422.
- ANTT (2008a) *Edital de Concessão N° 001/2008*. Agência Nacional de Transportes Terrestres, Brasília, DF.
- ANTT (2008b) *Edital de Concessão N° 002/2008*. Agência Nacional de Transportes Terrestres, Brasília, DF.
- ANTT (2008c) *Edital de Concessão N° 001/2008*. Agência Nacional de Transportes Terrestres, Brasília, DF.
- ANTT (2008d) *Edital de Concessão N° 004/2008*. Agência Nacional de Transportes Terrestres, Brasília, DF.
- Araújo, J. J. (2001) *Características Operacionais de Praças de Arrecadação de Pedágio*. 104 p. Dissertação (mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Astarita, V.; M. Florian e G. Musolino (2001) A Microscopic Traffic Simulation Model for the Evaluation of Toll Station Systems. *The IEEE 4th International Conference on Intelligent Transportation Systems*, California, EUA, p. 694–699.
- Burris, M. W. e E. D. Hildebrand (1996) Using Microsimulation to Quantify the Impact of Electronic Toll Collection. *ITE Journal*, n. 7, v. 66, p. 21–24.
- Cunha, A. L. B. N. (2007) *Avaliação do impacto da medida de desempenho no equivalente veicular de caminhões*. 147p. Dissertação (mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- DNIT (2006) *Manual de Estudos de Tráfego – IPR723*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Ministério dos Transportes, Brasília, DF.
- Gulewicz, V. e J. Danko (1995) Simulation-Based Approach to Evaluation Optimal Lane Staffing Requirements for Toll Plazas. *Transportation Research Record*, n. 1484, p. 33–39.
- Horn, M. (2003) Model Behaviour. Feature Review. *Traffic Technology International*. April-May 2003, p. 30–35.
- Klodzinski, J. e H. M. Al-Deek (2002) New Methodology for Defining Level Of Service at Toll Plazas. *Journal of Transportation Engineering*, n. 2, v. 28, p. 173–181.
- Lin, F. e C. Su (1994) Level of Service Analysis of Toll Plazas on Freeway Main Lines. *Journal of Transportation Engineering*, n. 2, v. 120, p. 246–263.
- Niño, N. (2001) Simulación Orientada a Objetos para el Análisis y Evaluación de Sistemas de Peaje. 110p. *Disertación de Maestría en Investigación de Operaciones*, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.
- Oliveira, M. L. (2009) *Método para Determinação de Nível de Serviço em Praças de Pedágio*. 137p. Tese (doutorado), Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Polus, A. (1996) Methodology and Simulation for Toll Plaza Analysis. *Road & Transport Research*, n. 5, v. 1.
- PTV (2006) *VISSIM v.4.30 User Manual*. PTV – Planung Transport Verkehr AG.
- StatPoint (2005) *The User's Guide to STATGRAPHICS Centurion XV*. Virginia, EUA: Statpoint, Inc.
- TRB (2000) *Highway Capacity Manual*. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C., EUA.
- Van Dijk, N. M.; M. D. Hermans; M. J. G. Teunisse e H. Shuurman (1999) Designing the Westerscheldetunnel Toll Plaza Using a Combination of Queuing and Simulation. In: Farrington, P. A.; H. B. Nembhard; D. T. Sturrock e G. W. Evans (eds.) *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, p. 1262–1279. Netherlands.
- Wanisubut, S. (1989) A Toll Plaza Simulation Model and Level-of-Service Criteria. *Ph.D. Thesis*, Polytechnic University, University Microfilms International, Ann Arbor, Michigan, USA.
- Woo, T. H. e L. H. Hoel (1991) Toll Plaza Capacity and Level of Service. *Transportation Research Record*, v. 1320, p. 119–127, Transportation Research Board, Washington, D.C.

Zarrillo, M. L. (1998) *Development and Applications of TPMODEL: A Queuing model describing Traffic Operations during Electronic Toll Collection (ETC)*. Tese (doutorado). University of Central Florida - UFC, Florida, USA.