

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Marta Rodrigues Obelheiro

MÉTODO DE ANÁLISE DE NÍVEIS DE SERVIÇO EM
PRAÇAS DE PEDÁGIO BRASILEIRAS

Porto Alegre

2010

Marta Rodrigues Obelheiro

Método de Análise de Níveis de Serviço em Praças de Pedágio Brasileiras

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, modalidade Acadêmica, na área de concentração em Sistemas de Transportes.

Orientadora: Prof^a Helena Beatriz Bettella Cybis, *Ph.D.*

Porto Alegre

2010

Marta Rodrigues Obelheiro

Método de Análise de Níveis de Serviço em Praças de Pedágio Brasileiras

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção na modalidade Acadêmica e aprovada em sua forma final pela Orientadora e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof^ª. Helena Beatriz Bettella Cybis, Ph.D.
Orientadora PPGEP/UFRGS

Prof^ª. Carla Schwengber ten Caten, Dra.
Coordenadora PPGEP/UFRGS

Banca Examinadora:

Professor José Luis Duarte Ribeiro, Dr. (PPGEP / UFRGS)

Professor José Reynaldo Anselmo Setti, *Ph.D.* (Escola de Engenharia / USP - São Carlos)

Professor Luis Antonio Lindau, *Ph.D.* (PPGEP / UFRGS)

À minha família, meus amigos de sangue.
Aos meus amigos, minha família do coração.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, pelo apoio e incentivo permanentes. Agradecimentos especiais aos meus pais, pela educação e transmissão dos meus melhores valores. Ao meu irmão e minhas irmãs, pela amizade, por compartilharem comigo alegrias e preocupações.

Agradeço em especial à minha orientadora, Prof^ª. Helena Cybis, por todos os ensinamentos repassados, pela confiança depositada no meu trabalho e pela compreensão durante o período de aprendizado.

Agradeço à UFRGS e ao CNPq, por terem subsidiado a infraestrutura científica, tecnológica e os recursos financeiros necessários para a realização deste trabalho.

Agradeço ao Prof. Ribeiro, que co-orientou este trabalho, pelas valiosas contribuições para o desenvolvimento da pesquisa.

Agradeço aos professores participantes da banca, Prof. Lindau, Prof. Setti e novamente Prof. Ribeiro, por suas críticas e sugestões que possibilitaram o aprimoramento deste trabalho.

Agradeço aos professores do LASTRAN por terem contribuído para minha formação em Transportes. Faço uma menção especial à Prof^ª. Christine Nodari, pela amizade e imenso carinho, e novamente ao Prof. Lindau, por acreditar em meu trabalho e por tantos conhecimentos compartilhados.

Agradeço aos funcionários do DEPROT, por serem sempre tão solícitos. Agradecimentos especiais a Irineu Gomes Jr., pelo desenvolvimento da ferramenta de aplicação dos questionários.

Agradeço também a todos aqueles que contribuíram para o sucesso obtido com a aplicação dos questionários, que resultou em mais de 500 respondentes.

Agradeço aos meus colegas e amigos do LASTRAN e do LOPP, pela amizade e companheirismo, por termos compartilhado tantos momentos especiais durante estes dois anos. Ao Dr. Marcelo Leismann de Oliveira, pelos conselhos e ótimas ideias de sempre; pela amizade, entusiasmo e incentivo no início desta jornada. Aos colegas da turma de mestrado, Giovani Bottesini e Marcus V. Figur da Rosa, pela acolhida no início do curso. Agradecimentos especiais a Érico Guzen, pelo auxílio na aplicação da pesquisa; à Ana

Larrañaga, pela ajuda com as análises da modelagem matemática; à Raquel Holz, pelo apoio e amizade inestimáveis na reta final deste trabalho; novamente ao amigo Giovani, pelas longas e sempre tão produtivas conversas; e aos meus queridos Bruno Rosa e Miguel Masiero, pela amizade e dedicação. Sem vocês, a conclusão desta etapa certamente teria sido muito mais árdua e menos alegre.

Agradeço a minhas amigas e amigos de Rio Grande e de Porto Alegre, por terem compreendido minhas inúmeras ausências, pela amizade e cumplicidade indispensáveis. Agradeço especialmente a meus grandes amigos e companheiros de jornada, Camila Rabassa, Carlos Emmanuel Lautenschläger, Guilherme Righetto e Leonardo Santos, pelo carinho, apoio e motivação sem medidas em tantas conversas sem hora pra acabar.

E agradeço a Deus, por me permitir viver tudo isso e por ter colocado em meu caminho todas estas pessoas tão especiais.

RESUMO

Este trabalho propõe um método para análise de níveis de serviço em praças de pedágio brasileiras. Para atingir o objetivo proposto, foram levantados: (i) dados de tráfego característicos de rodovias e praças de pedágio brasileiras; (ii) características geométricas de praças de pedágio no Brasil; e (iii) a percepção de usuários de praças de pedágio de diferentes estados brasileiros acerca da qualidade de serviço em praças. Os dados de tráfego e características geométricas foram utilizados na elaboração de cenários microssimulados que buscaram representar situações de tráfego encontradas em praças de pedágio de todo o Brasil. Os cenários foram avaliados por usuários de praças de diferentes estados em pesquisa qualitativa. A pesquisa qualitativa também foi aplicada junto a técnicos responsáveis pela fiscalização e operação das praças de todo o país. A partir dos resultados da pesquisa qualitativa, foram realizadas modelagens e obtidas equações que relacionam a qualidade percebida pelos diferentes grupos com os fatores intervenientes na percepção de qualidade de serviço utilizados na pesquisa. Os resultados indicaram que: (i) o comprimento de filas nas cabines exerce forte influência sobre a qualidade percebida nas praças por todos os grupos; (ii) existe certa uniformidade entre as percepções de qualidade de usuários de praças de todos os estados pesquisados; e (iii) existem diferenças expressivas entre as percepções de técnicos e de usuários acerca da qualidade de serviço nas praças. Este trabalho propõe escalas de níveis de serviço relacionadas com a qualidade percebida pelos diferentes grupos, utilizando o comprimento médio de filas nas cabines como indicador de desempenho. Diferentemente do critério utilizado no HCM 2000 para avaliação de níveis de serviço em rodovias, as escalas propostas neste estudo não apresentam qualquer relação entre os níveis de serviço e a capacidade das praças.

Palavras-chave: Nível de Serviço. Praças de Pedágio. Percepção de Usuários.

ABSTRACT

This paper proposes a method for analyzing the level of service at Brazilian toll plazas. In order to achieve this purpose, a research was performed to identify: (i) traffic data representing the specific conditions of Brazilian highways and toll plazas; (ii) geometrical characteristics of toll plazas in Brazil; (iii) user perception about the quality of service of toll plazas across different Brazilian states. Traffic data and geometric characteristics were used to model microsimulated scenarios representing traffic situations found at toll plazas throughout Brazil. The scenarios were evaluated by toll plaza users from different Brazilian states through a qualitative research. The research was also applied to technicians from the Supervising Agencies and technicians responsible for toll plazas operation. The outcomes of the qualitative research were models relating the quality of service perceived by each group with the factors influencing their perception. The results suggest that: (i) the queue length at toll booths has a strong influence on the perceived quality in toll plazas by all groups; (ii) there is some uniformity on the quality of service of toll plazas as perceived by users from all the states surveyed; and (iii) there are significant differences between the perceptions of technicians and users about the quality of service at toll plazas. This paper proposes level of service hierarchies relating the quality perceived by the different groups to the average queue length at toll booths. Unlike the criterion used in the HCM 2000 to evaluate levels of service on highways, the hierarchies proposed in this study show no relationship between levels of service and the capacity of toll plazas.

Key words: Level of Service. Toll Plazas. User Perception.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. OBJETIVOS.....	12
1.2. JUSTIFICATIVA.....	13
1.3. DELIMITAÇÃO DO ESTUDO.....	15
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	15
2. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO OPERACIONAL DE PRAÇAS DE PEDÁGIO FRENTE A DIFERENTES FORMAS E CONDIÇÕES DE PAGAMENTO	17
1. INTRODUÇÃO	17
2. CAPACIDADE DE ATENDIMENTO DE PRAÇAS DE PEDÁGIO	18
3. ESTUDO DE CASO	19
3.1. MODELO DE MICROSIMULAÇÃO VISSIM.....	20
3.2. MODELAGEM E CALIBRAÇÃO DA REDE.....	20
3.2.1. Modelagem da Rede.....	20
3.2.2. Calibração da Rede.....	22
4. ANÁLISE DE RESULTADOS	23
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28
3. MÉTODO PARA ANÁLISE DE NÍVEIS DE SERVIÇO EM PRAÇAS DE PEDÁGIO	29
1. INTRODUÇÃO	29
2. NÍVEIS DE SERVIÇO EM PRAÇAS DE PEDÁGIO	30
3. MÉTODO DE TRABALHO	33
4. PLANEJAMENTO DA PESQUISA QUALITATIVA SOBRE A PERCEÇÃO DE QUALIDADE DO SERVIÇO EM PRAÇAS	33
5. ELABORAÇÃO DOS CENÁRIOS UTILIZADOS NA PESQUISA QUALITATIVA	36
6. APLICAÇÃO DA PESQUISA QUALITATIVA JUNTO A USUÁRIOS DE PRAÇAS DE PEDÁGIO	37
7. ANÁLISE DE RESULTADOS DA PESQUISA QUALITATIVA	38
8. MODELAGEM DA PERCEÇÃO DOS USUÁRIOS E PROPOSIÇÃO DA ESCALA DE NÍVEIS DE SERVIÇO	40
8.1. ANÁLISES DE SENSIBILIDADE DO MODELO.....	41
8.2. COMPARAÇÃO DO MODELO OBTIDO COM O MODELO PROPOSTO POR OLIVEIRA (2009).....	43

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
4. APLICAÇÃO DE UM MÉTODO DE ANÁLISE DE NÍVEIS DE SERVIÇO EM PRAÇAS DE PEDÁGIO: A PERCEPÇÃO DE QUALIDADE DE SERVIÇO DE DIFERENTES GRUPOS.....	48
1. INTRODUÇÃO.....	48
2. DETERMINAÇÃO DE NÍVEIS DE SERVIÇO EM PRAÇAS DE PEDÁGIO.....	49
2.1. ESTUDOS PRÉVIOS SOBRE NÍVEIS DE SERVIÇO EM PRAÇAS DE PEDÁGIO.....	49
2.2. MÉTODO PARA ANÁLISE DE NÍVEIS DE SERVIÇO EM PRAÇAS DE PEDÁGIO DE OBELHEIRO <i>et. al.</i> (2010).....	50
3. MÉTODO DE TRABALHO.....	52
4. APLICAÇÃO DA PESQUISA QUALITATIVA JUNTO AOS DIFERENTES GRUPOS.....	53
5. ANÁLISE DE RESULTADOS.....	55
6. MODELAGEM DA PERCEPÇÃO DOS DIFERENTES GRUPOS	57
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	64
6. REFERÊNCIAS.....	69

1. INTRODUÇÃO

O transporte rodoviário é de extrema importância para o desenvolvimento econômico e social de um país. Ao unir mercados e promover a integração de diversas regiões, constitui-se em um elemento fundamental nas cadeias produtivas. No Brasil, este modo corresponde a cerca de 95% do transporte de passageiros e aproximadamente 60% da movimentação de cargas (CNT, 2010).

As rodovias brasileiras passaram por um período de deterioração a partir dos anos 80, em decorrência da falta de recursos do governo destinados à manutenção da malha rodoviária. Nos anos 90, foram iniciados programas de concessão de rodovias, o que possibilitou a retomada de investimentos em melhorias necessárias ao desenvolvimento do setor. Através dos programas de concessão, o governo repassa a empresas privadas a responsabilidade pelos investimentos, manutenção e operação das rodovias. A remuneração destas empresas concessionárias é feita através da cobrança de tarifas aos usuários, como contrapartida aos investimentos em conservação e ampliação da malha concedida. Esta cobrança aos usuários é feita de modo direto na via, através de praças de arrecadação de pedágio.

Somente entre o ano de 2004 e o início do ano de 2010, o número de praças de pedágio no Brasil saltou de 168 para 293, sendo 281 administradas por concessionárias privadas (ABCR, 2010) e 12 em rodovias pedagiadas administradas pelo governo (ABCR, 2008). Atualmente, das 293 praças em operação no país, 39 estão localizadas no estado do Rio Grande do Sul, 38 no Paraná, 10 em Santa Catarina, 153 em São Paulo, 27 no Rio de Janeiro, 17 em Minas Gerais, 2 no Espírito Santo, 1 na Bahia, 1 em Mato Grosso do Sul, 4 em Mato Grosso e 1 no Ceará.

O pagamento manual de tarifas é a forma mais comum de arrecadação de pedágio no Brasil. Existe ainda a cobrança eletrônica de pedágio, que vem sendo cada vez mais utilizada em função da evolução do uso de dispositivos de identificação de veículos. Neste tipo de cobrança, o veículo não é obrigado a parar na praça de arrecadação para que o pagamento seja feito: basta uma redução na sua velocidade de forma a possibilitar a leitura do dispositivo de identificação do veículo.

Sob o ponto de vista da engenharia de tráfego, a cobrança de pedágio atua como um gargalo ao fluxo de tráfego nas rodovias, uma vez que os veículos são obrigados a parar (na maioria dos casos) ou a reduzir suas velocidades para que o pagamento da tarifa seja feito. Dessa forma, há uma redução significativa na capacidade viária dos trechos em que existem praças de pedágio, com a possível formação de congestionamentos em períodos de pico. Os congestionamentos ocorrem quando a capacidade de atendimento da praça é atingida, causando um aumento no tempo de viagem em função do tempo de espera em filas necessário para o pagamento da tarifa.

Os congestionamentos vivenciados pelos usuários em praças de pedágio podem ser considerados indícios da necessidade de adoção de medidas alternativas relacionadas à operação das praças. Neste sentido, o estudo das condições operacionais e da qualidade do serviço de praças de arrecadação de pedágio pode fornecer informações importantes que subsidiem decisões quanto à racionalização do gerenciamento e operação destes sistemas.

Uma das principais formas de avaliar a qualidade do serviço de infraestruturas de transporte é através do conceito de níveis de serviço. Níveis de serviço são medidas de qualidade que descrevem condições operacionais em uma corrente de tráfego, de tal forma que cada nível de serviço representa um intervalo de condições de operação e a percepção dos usuários acerca destas condições (TRB, 2000).

A definição de escalas de níveis de serviço em praças de pedágio, portanto, contribui de forma significativa para a realização de avaliações operacionais e de qualidade de serviço nessas infraestruturas. Essas avaliações podem levar a mudanças na operação das praças, podendo resultar em um aumento do conforto percebido pelos usuários da rodovia concedida e até mesmo em melhorias no desempenho econômico da concessão.

1.1. OBJETIVOS

O objetivo principal deste estudo é a proposição de um método para análise de níveis de serviço em praças de arrecadação de pedágio adequado para avaliar situações de tráfego encontradas em praças de pedágio de todo o Brasil.

Os objetivos específicos do estudo são:

- a) Levantar indicadores de desempenho operacional de praças de pedágio, segundo a literatura existente;
- b) Pesquisar dados de tráfego característicos de rodovias e praças de pedágio brasileiras;
- c) Pesquisar características geométricas de praças de pedágio brasileiras;
- d) Desenvolver modelos de praças de arrecadação de pedágio representativos da realidade brasileira através do uso de simulação;
- e) Analisar a influência da cobrança eletrônica de pedágio nas condições operacionais de praças de pedágio;
- f) Aperfeiçoar metodologicamente o método para determinação de níveis de serviço em praças de pedágio proposto por Oliveira (2009);
- g) Levantar a percepção de usuários de praças de pedágio de diferentes estados brasileiros acerca da qualidade de serviço em praças, de forma a validar o método proposto;
- h) Definir escalas de níveis de serviço em praças de pedágio.

1.2. JUSTIFICATIVA

Nos últimos anos, o Programa de Concessões Federais da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) repassou 3.280 quilômetros de rodovias para a administração privada, onde foram implantadas 43 praças de pedágio (ANTT, 2008; ANTT, 2009). Para o ano de 2010, a Agência prevê processo relativo a mais uma etapa deste Programa, com o repasse à iniciativa privada de mais 2.055 quilômetros de rodovias e a previsão de implantação de mais 24 praças de pedágio (ANTT, 2010).

Para que a fiscalização das concessões rodoviárias brasileiras seja realizada de forma clara e eficiente, são necessários escalas de níveis de serviço e indicadores de desempenho padronizados e representativos das condições operacionais existentes em rodovias e praças de pedágio brasileiras. As escalas de níveis de serviço devem ser capazes de avaliar situações de tráfego encontradas em rodovias e praças de pedágio localizadas em diferentes regiões brasileiras.

A definição de escalas de níveis de serviço em praças de pedágio, além de possibilitar uma fiscalização mais eficiente pelos órgãos reguladores, também permite: (i) a análise de diferentes alternativas de projeto; (ii) a avaliação de alterações no sistema através da comparação de situações de antes e depois; e (iii) a comparação de condições operacionais em praças de pedágio distintas.

O *Highway Capacity Manual - HCM* (TRB, 2000) apresenta escalas de níveis de serviço para diversas infraestruturas de transporte, tais como rodovias, interseções semaforizadas, entre outras. Entretanto, o HCM não apresenta um método para avaliação do nível de serviço em praças de pedágio, o que vem motivando a realização de estudos relacionados ao tema. Estes estudos, entretanto, divergem com relação à seleção dos melhores indicadores de desempenho que caracterizem as situações de tráfego em praças de pedágio e também com relação às escalas de níveis de serviço que melhor representem a operação deste tipo de infraestrutura.

Além disso, apesar do conceito de nível de serviço estar diretamente relacionado à percepção de usuários acerca de condições operacionais, poucos são os estudos que buscam captar e considerar esta percepção, inclusive no que se refere a estudos envolvendo praças de pedágio. O próprio *Highway Capacity and Quality of Service (HCQS) Committee* do *Transportation Research Board* reconheceu formalmente a necessidade de melhorias nas metodologias de níveis de serviço existentes no HCM, de tal forma que estas metodologias de fato representem e correspondam à percepção dos usuários acerca da qualidade do serviço avaliado (Pécheux *et. al.*, 2004).

1.3. DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

O método de análise de níveis de serviço em praças de pedágio proposto neste estudo é baseado em dados característicos de rodovias e praças de pedágio brasileiras. Desta forma, as percepções dos diferentes grupos acerca da qualidade de serviço em praças estão restritas ao ambiente simulado, que envolve:

- (i) a calibração do comportamento dos veículos nas praças de acordo com características de frota brasileiras; e
- (ii) a utilização de um conjunto de tempos de atendimento representativo dos tempos praticados em cabines de cobrança manual de praças de pedágio brasileiras.

A qualidade do serviço existente em uma praça de pedágio está relacionada a diversos elementos, tais como tempo de espera do usuário na fila, condições de infraestrutura da praça e rapidez e cortesia com que o usuário é atendido nas cabines de cobrança manual. 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.

Além disso, o estudo aborda somente a qualidade percebida em praças de pedágio compostas por cabines de cobrança manual. Usuários de cabines de cobrança eletrônica experimentam um regime de tráfego diferente do regime vivenciado por usuários de cabines de cobrança manual, uma vez que não são obrigados a parar para que o pagamento das tarifas seja realizado. Desta forma, usuários de cabines de cobrança eletrônica não sofrem atrasos em decorrência do tempo de espera em fila para o pagamento da tarifa.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos. O primeiro capítulo mostra uma introdução ao tema abordado, os objetivos e etapas da pesquisa, com uma justificativa para o seu desenvolvimento. O segundo capítulo apresenta o primeiro artigo da dissertação, no qual

são realizadas análises do impacto na operação de uma praça de pedágio em decorrência de variações nas condições e formas de pagamento praticadas. São avaliados os impactos na capacidade da praça em decorrência de mudanças nos tempos de atendimento nas cabines manuais, bem como os impactos decorrentes da adoção e crescente adesão dos usuários à cobrança eletrônica de pedágio. O terceiro capítulo apresenta o segundo artigo da dissertação, no qual é proposto um método de análise de níveis de serviço em praças de pedágio baseado na percepção de usuários acerca das condições operacionais existentes nestas infraestruturas. O método foi elaborado com base em dados característicos de rodovias e praças de pedágio brasileiras, de forma a possibilitar a avaliação de situações de tráfego existentes em diferentes contextos. O quarto capítulo apresenta o terceiro artigo da dissertação, que consiste em uma aplicação do método proposto no segundo artigo. A aplicação é realizada com usuários de praças de pedágio de diferentes estados brasileiros, com o intuito de validar o método proposto em etapa anterior da pesquisa. O método também é aplicado junto a técnicos de agências reguladoras ligadas ao governo e técnicos de empresas concessionárias responsáveis pela operação das praças, possibilitando a comparação entre as percepções de qualidade em praças dos diferentes agentes ligados ao sistema de pedagiamento. No quinto e último capítulo, são apresentadas as conclusões e considerações para trabalhos futuros.

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO OPERACIONAL DE PRAÇAS DE PEDÁGIO FRENTE A DIFERENTES FORMAS E CONDIÇÕES DE PAGAMENTO

Marta Rodrigues Obelheiro
Marcelo Leismann de Oliveira
Helena Beatriz Bettella Cybis

Laboratório de Sistema de Transportes – LASTRAN
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGEP
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo avaliar o impacto na operação de uma praça de pedágio em decorrência de variações nas condições e formas de pagamento praticadas. São avaliados os impactos na capacidade da praça decorrentes de mudanças nos tempos de atendimento nas cabines manuais, bem como os impactos decorrentes da adoção e crescente adesão dos usuários à cobrança eletrônica de pedágio. Os diferentes tempos de atendimento utilizados no estudo correspondem a dados reais coletados em campo. As análises foram realizadas a partir da simulação de uma praça de pedágio através do software de microsimulação VISSIM. Os resultados indicam que os ganhos de desempenho operacional com a manutenção da forma de cobrança manual são muito limitados, chegando a 19% para as condições testadas. Melhorias significativas de desempenho podem ser atingidas com o aumento da adesão dos usuários ao sistema de cobrança eletrônica de pedágio.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the impact on the operation of a toll plaza because of variations in conditions and payment charged. Impacts are assessed on the capacity of the plaza due to changes in attendance times in manual cabins, as well as the impacts resulting from the adoption and growing membership of the users of the electronic toll collection. The different attendance times used in the study correspond to real data collected in the field. The tests were performed on the simulation of a toll plaza through the micro-simulation software VISSIM. The results indicate that the gains in operating performance in maintaining the form of manual recovery is very limited, reaching 19% for the conditions tested. Significant improvements in performance can be achieved with the increase of membership users to the system of electronic toll collection.

1. INTRODUÇÃO

O desempenho operacional de praças de pedágio depende de sua capacidade de atendimento, que está diretamente relacionada com os tempos de atendimento dos veículos nas cabines. Sob o ponto de vista da engenharia de tráfego, a cobrança de pedágio geralmente atua como um gargalo ao fluxo nas rodovias, uma vez que a capacidade das praças costuma ser menor do que a capacidade das rodovias onde estas praças estão inseridas. Os veículos são obrigados a parar ou a reduzir suas velocidades para o pagamento da tarifa, tendendo a reduzir de forma significativa a capacidade viária nos trechos em que existem praças de pedágio, com a possível formação de congestionamentos em períodos de pico.

Entretanto, dependendo do número de cabines, da alocação dos tipos de cobrança nas cabines e da adesão dos veículos à cobrança eletrônica (ETC – *electronic toll collection*), a praça de pedágio pode vir a ter uma capacidade igual ou até mesmo maior do que a capacidade da rodovia na qual está inserida (Aycin, 2006).

Assim, o estudo da operação das praças de arrecadação de pedágio pode fornecer informações importantes para subsidiar decisões quanto à racionalização destes sistemas, resultando em um aumento do conforto percebido pelos usuários da rodovia e até mesmo em melhorias no desempenho econômico da concessão.

Este trabalho tem por objetivo analisar a sensibilidade das condições operacionais de uma praça de pedágio em função de variações nas condições e formas de pagamento. O estudo foi desenvolvido através da simulação de uma praça de pedágio com o uso do software de micro-simulação VISSIM (PTV, 2006).

2. CAPACIDADE DE ATENDIMENTO DE PRAÇAS DE PEDÁGIO

A capacidade de uma cabine de pedágio pode ser definida como o máximo fluxo horário de veículos que pode atravessar esta cabine, de acordo com as condições predominantes de tráfego e da via (Lin e Su, 1994). A capacidade está diretamente relacionada aos tempos de atendimento dos veículos nas cabines, que por sua vez dependem de fatores como valor da tarifa, forma de pagamento, fluxo e classes de veículos e também da atuação de arrecadadores e motoristas (Oliveira, 2004; Araújo, 2001). A influência destes fatores sobre os tempos de atendimento pode ocorrer de diferentes formas.

A intensidade do fluxo de veículos exerce influência sobre os tempos de atendimento à medida que, em condições de fluxos altos com formação de filas, o tempo de espera na fila é frequentemente utilizado pelos motoristas para procurar o valor exato da tarifa antes do pagamento. Por outro lado, em condições de fluxos muito baixos, os operadores tendem a consumir mais tempo atendendo os veículos do que quando pressionados por filas crescentes. Evidências desse comportamento são referenciadas na literatura por Woo e Hoel (1991) e Oliveira *et al.* (2003).

A composição do fluxo também afeta o desempenho e capacidade de praças de pedágio. Veículos pesados, como caminhões e ônibus, apresentam tempos de atendimento significativamente maiores que os tempos de atendimento registrados para automóveis. Veículos pesados e automóveis apresentam diferentes relações peso-potência, influenciando nas acelerações e desacelerações dos veículos nas cabines (Araújo e Setti, 2006; Oliveira, 2004).

Os valores das tarifas cobradas em praças de pedágio sofrem constantes atualizações. As revisões de tarifas podem gerar impactos nos tempos de atendimento e conseqüentemente no desempenho e capacidade das praças. A adoção de tarifas com valores inteiros leva a significativas reduções nos tempos de atendimento, uma vez que o cálculo do troco pelo arrecadador é simplificado, bem como a verificação do mesmo pelo motorista (Araújo e Setti, 2006).

O perfil dos motoristas pode influenciar no desempenho de praças de pedágio, em particular, em função da frequência com que utilizam a rodovia. Motoristas que utilizam uma via frequentemente tendem a apresentar tempos de atendimento menores, por possuírem conhecimento prévio sobre os locais das praças e tarifas (Araújo e Setti, 2006).

Existe em todo o mundo uma tendência à expansão de métodos de cobrança automatizados. A forma de cobrança tem, certamente, o impacto mais significativo nos tempos de processamento dos veículos em estruturas de pedágio. Os tempos de atendimento diminuem à medida que aumenta a informatização da forma de pagamento. Desta forma, os pagamentos em dinheiro apresentam os maiores tempos de atendimento, enquanto a cobrança eletrônica apresenta os menores tempos de atendimento (Araújo e Setti, 2006; Oliveira, 2004).

A importância relativa destes vários fatores, assim como mecanismos para aperfeiçoar o desempenho das praças de pedágio, têm sido continuamente avaliados. Operadoras de concessões rodoviárias procuram constantemente aperfeiçoar o desempenho operacional das praças, seja devido aos altos custos operacionais, ou devido à necessidade de atendimento a cláusulas contratuais que definem os tempos de atendimento e comprimentos de filas máximos aceitáveis, ou ainda para melhorar a imagem da empresa diante dos usuários, reduzindo a insatisfação causada pelo tempo de viagem adicional devido a esperas nas filas.

3. ESTUDO DE CASO

Este estudo teve o objetivo de avaliar o desempenho de uma praça de pedágio frente a diferentes condições de operação, que envolvem: (i) variações nos tempos de atendimento e, (ii) utilização de cobrança eletrônica. A praça de pedágio analisada opera em condições de pagamento manual, e os tempos de atendimento considerados foram observados por uma concessionária após uma alteração de tarifas e um processo de treinamento dos arrecadadores. Foram avaliados ainda os impactos no desempenho operacional desta praça decorrentes da introdução e crescente adesão dos usuários a um sistema de cobrança eletrônica.

A praça de pedágio analisada é representativa das praças encontradas no estado do Rio Grande do Sul, no que se refere ao tamanho da praça e às formas de cobrança praticadas. Os dados sobre tempos de atendimento dos veículos nas cabines de cobrança manual foram extraídos de dois bancos de dados fornecidos por uma concessionária do estado do Rio Grande do Sul.

Os bancos de dados fornecidos são resultado de duas pesquisas de campo em 14 praças de pedágio, sendo a primeira realizada no ano de 2003 e a seguinte realizada no ano de 2004. A pesquisa de 2003 resultou na observação de 54.780 veículos. A pesquisa de 2004 resultou na observação de tempos de atendimento de 57.580 veículos. Em ambas as pesquisas, foram registrados, para cada veículo, a sua categoria, o tempo de atendimento na cabine e a forma de pagamento praticada. As formas de pagamento registradas foram dinheiro e cartão. Nos pagamentos realizados com cartão, estão incluídos cartão de vale-pedágio, cartão de isenção da tarifa (fornecido pela concessionária) e cartão de pagamento da concessionária.

Além das cabines de cobrança manual (dinheiro/cartão), são operadas pela concessionária cabines de cobrança eletrônica. Estas cabines são adaptadas a partir de cabines de cobrança manual, e a passagem dos veículos somente é liberada mediante a abertura de uma cancela, assim como ocorre nas demais cabines. A velocidade máxima sinalizada para as faixas com cabine eletrônica é de 30 km/h, ainda que a tecnologia utilizada na identificação de veículos permita velocidades bastante superiores a este valor (cerca de 100 km/h). A capacidade destas cabines fica em torno de 1100 veículos/hora, segundo a concessionária. Este tipo de cabine atende atualmente cerca de 10% dos usuários das praças.

A avaliação do desempenho da praça frente às condições de operação analisadas foi realizada mediante a utilização de cenários. A primeira análise refere-se ao impacto na capacidade da praça em decorrência de uma variação nos tempos de atendimento praticados nas cabines. Neste cenário, a praça opera com todas as cabines em regime de cobrança manual. A segunda análise busca avaliar a influência da introdução de cobrança eletrônica e da crescente adesão dos usuários a este tipo de cobrança. Assim, foram construídos cenários com a substituição de uma cabine manual por uma cabine dedicada à cobrança eletrônica. O desempenho

operacional da praça foi avaliado para diferentes taxas de utilização da cabine eletrônica: 10% (taxa de utilização atual), 30% e 40%. Valores maiores do que 40% não foram testados, uma vez que provavelmente envolveriam a adoção de mais cabines dedicadas a este tipo de cobrança. A análise é realizada a partir da simulação de uma praça de pedágio através da utilização do software VISSIM.

3.1. MODELO DE MICROSSIMULAÇÃO VISSIM

O VISSIM é um modelo de simulação de tráfego microscópico estocástico, capaz de representar o comportamento do tráfego em rodovias. O modelo adotado para representar movimentos longitudinais de veículos (*car-following*) apresenta características psicofísicas, baseado no trabalho de Wiedemann (1991), o qual combina um modelo de percepção de motoristas com modelos de desempenho de veículos. O modelo representativo de movimentos transversais dos veículos (*lane-changing*) é um algoritmo baseado em regras (PTV, 2006). No VISSIM, tanto o modelo de *car-following* como de *lane-changing* utilizam uma ampla gama de parâmetros, e todos influenciam com maior ou menor intensidade o comportamento dos veículos na simulação do fluxo de tráfego.

3.2. MODELAGEM E CALIBRAÇÃO DA REDE

3.2.1. Modelagem da Rede

Esta pesquisa envolveu a modelagem de duas redes de tráfego que representam praças de pedágio de 10 cabines, através do software de microssimulação VISSIM versão 4.30-05 (PTV, 2006). A primeira rede representou uma praça de pedágio com 10 cabines de cobrança manual, ou seja, pagamentos em dinheiro e através de cartões. A segunda rede, ilustrada pela Figura 1, consistiu na modificação de uma cabine da praça de pedágio, transformando-a em uma cabine dedicada à coleta eletrônica de pedágio. Assim, a segunda praça modelada consiste em 9 cabines de cobrança manual (dinheiro/cartão) e 1 cabine de cobrança eletrônica, sendo mantido o total de 10 cabines nas praças das duas redes. A rede que representa a praça com 10 cabines de cobrança manual é proveniente do trabalho desenvolvido por Oliveira (2009), que propôs um método para determinação do nível de serviço em praças de pedágio.

Na rede modelada apenas com cabines de cobrança manual, foram simuladas duas composições de tráfego, representando fluxos compostos somente por automóveis e fluxos compostos por automóveis e caminhões. O tráfego nas modelagens foi dividido em três classes: (i) veículos de passeio, (ii) caminhões leves e (iii) caminhões pesados. Para a rede composta pela praça de pedágio com cabine eletrônica, foi simulada uma composição de tráfego, composta apenas por automóveis.

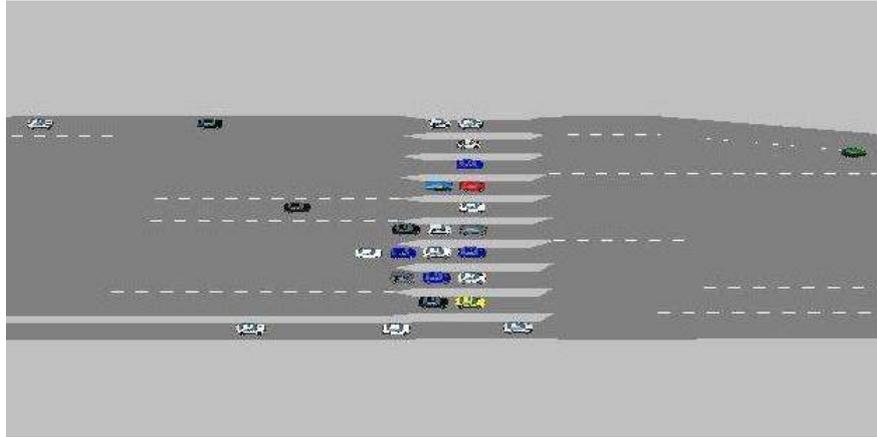


Figura 1: Imagem representativa da praça de pedágio com cabine eletrônica

Dados sobre tempos de atendimento dos veículos nas cabines de cobrança manual foram extraídos de dois bancos de dados fornecidos por uma concessionária do estado do Rio Grande do Sul, como citado anteriormente. O tempo de atendimento medido corresponde ao tempo compreendido entre o momento em que o veículo atinge a posição de pagamento em frente à cabine de cobrança e o momento em que a cancela desce após a sua passagem. Esta forma de medição de tempos de atendimento foi padronizada pela concessionária, com base em trabalho de Araújo (2001), tendo sido utilizada nas pesquisas que geraram os dois bancos de dados citados neste trabalho.

A partir dos bancos de dados, foram obtidos valores de tempos de atendimento de automóveis, caminhões leves e caminhões pesados, além de informações sobre tarifas e composições do fluxo de tráfego. Para a modelagem, 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. Através da análise do banco de dados, verificou-se que a categoria de caminhões estava composta por, aproximadamente, 2/3 de caminhões leves e 1/3 de caminhões pesados. A Tabela 1 mostra as características das duas classes de caminhões consideradas, de acordo com o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (DNIT, 2006).

Tabela 1: Características dos tipos de caminhões usados na modelagem

	Nº de eixos	Comprimento máx (m)	Peso Bruto Total máx (ton)
Caminhões leves	2 e 3	14,0	23
Caminhões pesados	5 e 6	19,8	57

As Tabelas 2 e 3 apresentam os tempos de atendimento obtidos nas pesquisas realizadas pela concessionária nos anos de 2003 e 2004. Foram realizadas análises para verificar se existiam diferenças estatisticamente significativas entre as médias de tempos de atendimento de veículos de passeio, caminhões leves e caminhões pesados, para os dados correspondentes às duas pesquisas. Ao nível de significância de 5%, e para ambas as pesquisas, verificou-se que existem diferenças estatisticamente significativas entre as médias dos tempos de atendimento das categorias analisadas. Além disso, foram realizadas análises para verificar se existiam diferenças estatisticamente significativas entre as médias de tempos de atendimento referentes

aos dois bancos de dados, por tipo de veículo. Ao nível de significância de 5%, e para todas as categorias de veículos, verificou-se que existem diferenças estatisticamente significativas entre as médias dos tempos de atendimento dos dois bancos de dados analisados.

Tabela 2: Tempos de atendimento usados nas modelagens (observados na pesquisa de 2003)

Tipo de veículo	Observações (N)	Fração da coleta	Tempos de atendimento (s)	
			Média	Desvio padrão
Totalidade dos dados	54.780	100,00%	28,38	5,20
Veículos de passeio	35.735	65,23%	24,99	10,47
Caminhões leves	12.175	22,23%	29,09	11,14
Caminhões pesados	4.042	7,38%	33,56	10,67

Tabela 3: Tempos de atendimento usados nas modelagens (observados na pesquisa de 2004)

Tipo de veículo	Observações (N)	Fração da coleta	Tempos de atendimento (s)	
			Média	Desvio padrão
Totalidade dos dados	57.580	100,00%	25,68	13,12
Veículos de passeio	34.929	60,66%	20,29	7,57
Caminhões leves	13.665	23,73%	25,07	9,47
Caminhões pesados	4.897	8,50%	30,78	9,95

Após a modelagem, foi realizada a calibração das redes, de forma a garantir que o comportamento do tráfego nas praças modeladas fosse representativo da realidade.

3.2.2. Calibração da Rede

As duas redes de tráfego tiveram dados e parâmetros calibrados de maneira idêntica, à exceção dos parâmetros calibrados para a cabine de cobrança eletrônica, existente em apenas uma das redes. Nas cabines de cobrança manual, foram calibrados parâmetros de tempos de atendimento nas cabines, espaçamentos entre veículos em filas, desacelerações e velocidades esperadas. Na cabine de cobrança eletrônica, foram calibrados parâmetros de capacidade de atendimento desta cabine e de velocidades dos veículos ao passar pela área de cobrança.

Para a calibração das redes, dados sobre acelerações, desacelerações e tempos de percurso dos veículos em praças de pedágio foram extraídos de um 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, os modelos foram codificados de modo a incluir arcos nas aproximações das cabines. Os arcos partiam das cabines de cobrança até uma distância de 300 metros antes das mesmas, buscando representar uma situação semelhante à observada em trabalho de Araújo (2001). Foram realizadas diversas rodadas de simulação, e dados de velocidades desejadas de todas as categorias de veículos foram alterados, de forma que os tempos de percurso pudessem ser calibrados. Para a verificação da compatibilidade dos tempos de percurso simulados com os tempos retirados do trabalho de Araújo (2001), foi calculado o Erro Relativo Absoluto Médio (ERAM). Os ERAMs calculados para as categorias de veículos analisadas foram considerados satisfatórios para os objetivos do trabalho.

A rede representativa da praça de pedágio com cabine eletrônica foi modelada e calibrada de forma que a capacidade de atendimento observada nas simulações representasse a capacidade informada pela concessionária para faixas com este tipo de cobrança, em torno de 1100 veículos/hora. Para ajustar a velocidade com que os veículos passam pela área de cobrança, foram inseridos arcos com velocidades reduzidas, de forma a induzir nos veículos uma redução gradativa da velocidade, chegando a cerca de 30 km/h ao passar pela cabine (velocidade sinalizada nas praças de pedágio).

Com os tempos de atendimento inseridos nos modelos, e após a calibração dos tempos de percurso nas chegadas das praças, foram realizadas rodadas testes a fim de verificar visualmente o comportamento dos modelos. Foi constatado que, quando em fila nas cabines de cobrança manual, os veículos apresentavam espaçamentos ligeiramente maiores do que o visualmente esperado. Por outro lado, na faixa com cabine eletrônica, os veículos trafegavam com espaçamentos bem menores do que o visualmente esperado.

O algoritmo de *car-following* utilizado nas modelagens apresenta diversos parâmetros de calibração, entre eles o parâmetro que regula a distância de parada entre veículos (chamado CC0), cujo valor padrão é de 1,5 metros. Desta forma, para ajustar o espaçamento entre veículos, o parâmetro CC0 foi alterado. Nas cabines de cobrança manual, o parâmetro teve seu valor ajustado para 1,2 metros, como forma de diminuir os espaçamentos de veículos em filas. Na faixa com cabine de cobrança eletrônica, este parâmetro teve seu valor aumentado para 2,0 metros. Além disso, o parâmetro que representa o *headway* entre veículos (chamado CC1) também foi ajustado para o tráfego nesta faixa. O valor padrão do software para este parâmetro é de 0,9 segundos, sendo aumentado para 1,8 segundos.

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.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Para avaliar o desempenho operacional da praça de pedágio frente às diversas condições de operação, foram realizadas simulações com diferentes intensidades de fluxo, durante períodos de 1 hora. Os dados dos 15 minutos iniciais de cada rodada foram descartados devido ao efeito de *warm-up* nas redes. Através das simulações, foram estimados o número de veículos processados nas cabines por intervalo de tempo (veículos/15 min) e o tamanho médio de fila nas cabines.

A primeira análise buscou avaliar o impacto na capacidade da praça em decorrência de uma redução dos tempos médios de atendimento praticados nas cabines. Para tanto, foram considerados os tempos de atendimento registrados pela concessionária nos anos de 2003 e 2004, para pagamentos manuais. Os resultados foram avaliados para duas composições de tráfego: (i) fluxos compostos somente por automóveis e (ii) fluxos compostos por 70% de automóveis e 30% de caminhões. A fração de 30% de caminhões foi definida como nível máximo a partir das observações de quantidades de caminhões nos fluxos horários de tráfego registradas nos bancos de dados da concessionária.

Os resultados para os tempos de atendimento de 2003 são mostrados nas Figuras 2 e 3. Para o fluxo composto apenas por automóveis, a capacidade da praça corresponde a 290

veículos/15min, para todas as cabines, totalizando 116 veic/h/cabine. Para o fluxo composto por 70% de automóveis e 30% de caminhões, a capacidade corresponde a 260 veículos/15min, para todas as cabines, totalizando 104 veic/h/cabine.

Os resultados para os tempos de atendimento de 2004 são mostrados nas Figuras 4 e 5. Para o fluxo composto apenas por automóveis, a capacidade da praça corresponde a 340 veículos/15min, para todas as cabines, totalizando 136 veic/h/cabine. Para o fluxo composto por 70% de automóveis e 30% de caminhões, a capacidade corresponde a 310 veículos/15min, para todas as cabines, totalizando 124 veic/h/cabine.

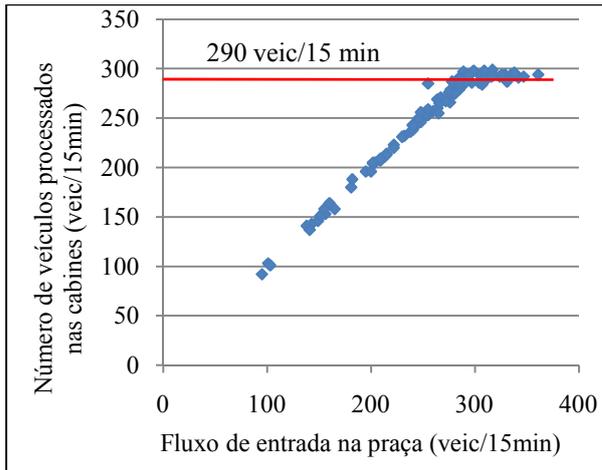


Figura 2: Veículos processados nas cabines, fluxo de automóveis, tempos de atendimento 2003

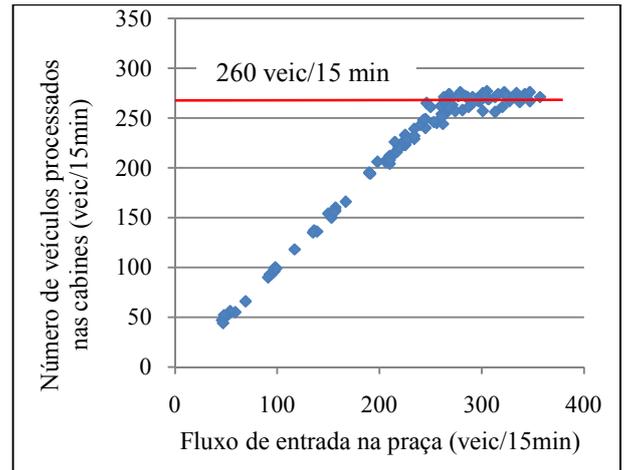


Figura 3: Veículos processados nas cabines, fluxo de automóveis e caminhões, tempos de atendimento 2003

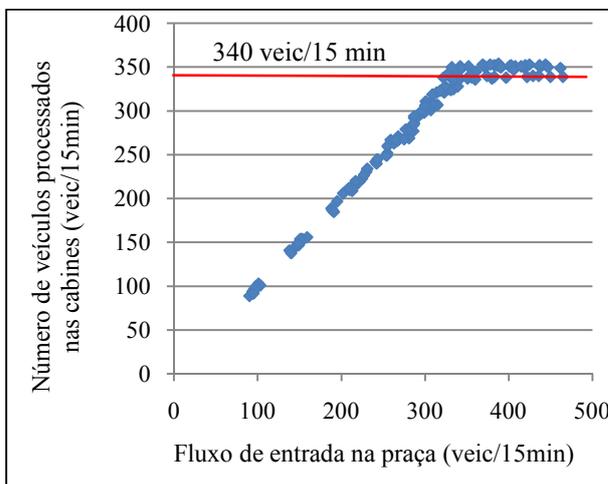


Figura 4: Veículos processados nas cabines, fluxo de automóveis, tempos de atendimento 2004

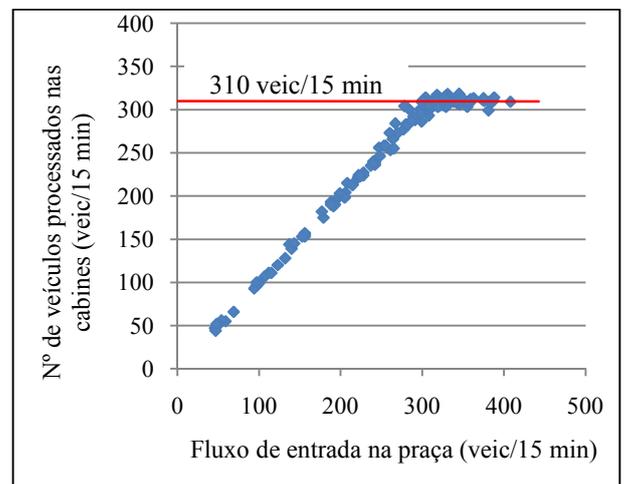


Figura 5: Veículos processados nas cabines, fluxo de automóveis e caminhões, tempos de atendimento 2004

Conforme esperado, observa-se que, com a redução nos tempos médios de atendimento, há um acréscimo na capacidade de processamento da praça de 17% para fluxos compostos unicamente por automóveis (de 116 para 136 veic/h/cabine) e de 19% para fluxos compostos por automóveis e caminhões (de 124 para 104 veic/h/cabine). Com isso, percebe-se que, ao

manter a forma de cobrança manual, o potencial de melhoria no desempenho operacional da praça em decorrência de variações nas tarifas e de um aumento de produtividade é pequeno. Mudanças nas condições tecnológicas de cobrança tendem a apresentar potenciais maiores de melhorias operacionais, sendo objeto da próxima análise deste trabalho.

Assim, a segunda análise buscou avaliar a influência da utilização de cobrança eletrônica nas condições de operação da praça de pedágio. Para tanto, foram construídos cenários com 10%, 30% e 40% de adesão dos usuários a este tipo de cobrança. O valor de 10% é a taxa de adesão média atualmente encontrada na concessionária. Os resultados foram avaliados para fluxos compostos exclusivamente por automóveis, sendo mostrados nas Figuras 6 e 7.

Analisando os resultados, pode-se perceber que uma taxa de 10% de adesão dos usuários à cobrança eletrônica exerce um efeito pouco significativo sobre as condições operacionais da praça de pedágio. A capacidade da praça, de cerca de 340 veículos/15min com todas as cabines manuais, sofre um pequeno acréscimo, atingindo cerca de 350 veículos/15min. Por outro lado, taxas de adesão maiores exercem impactos bastante pronunciados nas condições de operação.

Além disso, a Figura 7 mostra que, para um mesmo fluxo de entrada na praça, o comprimento médio de fila nas cabines varia muito em função da taxa de adesão à cobrança eletrônica. Para um fluxo de 350 veic/15min, por exemplo, a fila média formada é de cerca de 8 metros quando a taxa de adesão é de 10%, diminuindo para aproximadamente 3 metros para uma adesão de 30% e ficando próxima a zero quando a taxa de adesão é de 40%, refletindo uma melhora nas condições de conforto dos usuários que utilizam a praça.

A concessionária fornecedora dos dados desta pesquisa, buscando atender a requisitos referentes a questões contratuais da concessão, estabeleceu como objetivo a operação com filas médias de até 4 veículos. Considerando-se que o espaço ocupado por um automóvel em fila corresponde a cerca de 6 metros, o comprimento médio de fila, em um fluxo composto somente por automóveis, é de cerca de 24 metros.

Como mostrado na Figura 8, a operação com fila média de 24 metros pode ser alcançada com diferentes taxas de fluxo, conforme a adesão dos usuários à cobrança eletrônica. Com a taxa de 10% de adesão (valor atual), o fluxo que a praça de pedágio pode processar é de cerca de 350 veic/15min (1400 veic/h), valor aproximadamente igual à capacidade encontrada para operação com todas as cabines manuais. Para a taxa de adesão intermediária de 30%, o fluxo que a praça pode processar é de cerca de 450 veic/15min (1800 veic/h). Com o aumento da taxa de adesão para 40%, o fluxo admissível sofre um acréscimo de aproximadamente 50%, passando para cerca de 530 veic/15min, ou em torno de 2100 veic/h.

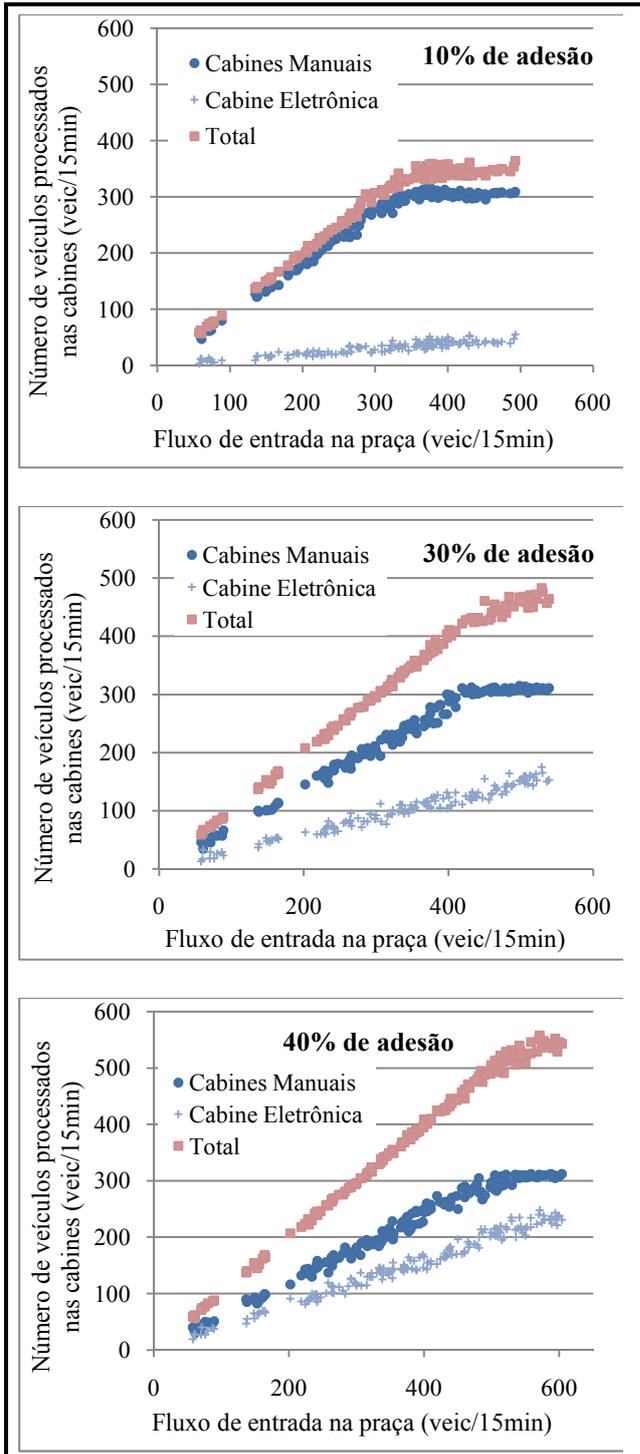


Figura 6: Veículos processados nas cabines para 10%, 30% e 40% de adesão à cobrança eletrônica

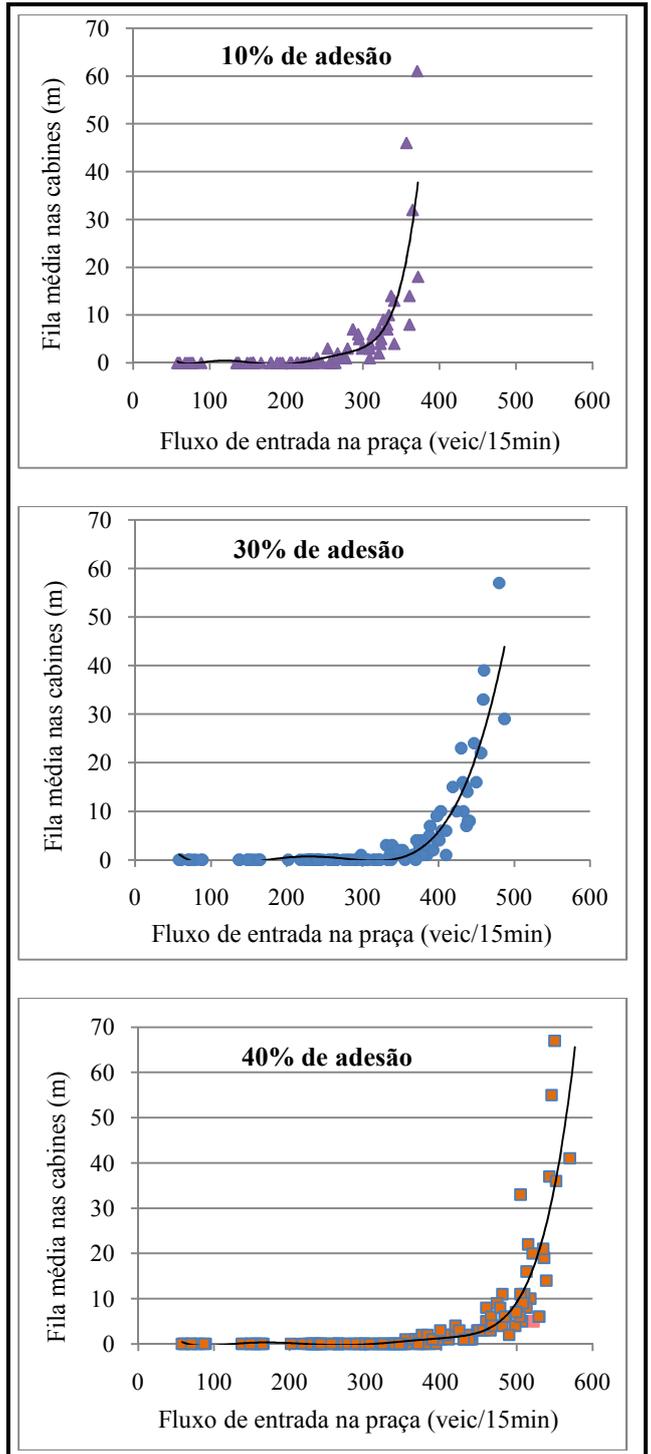


Figura 7: Fila média nas cabines para 10%, 30% e 40% de adesão à cobrança eletrônica

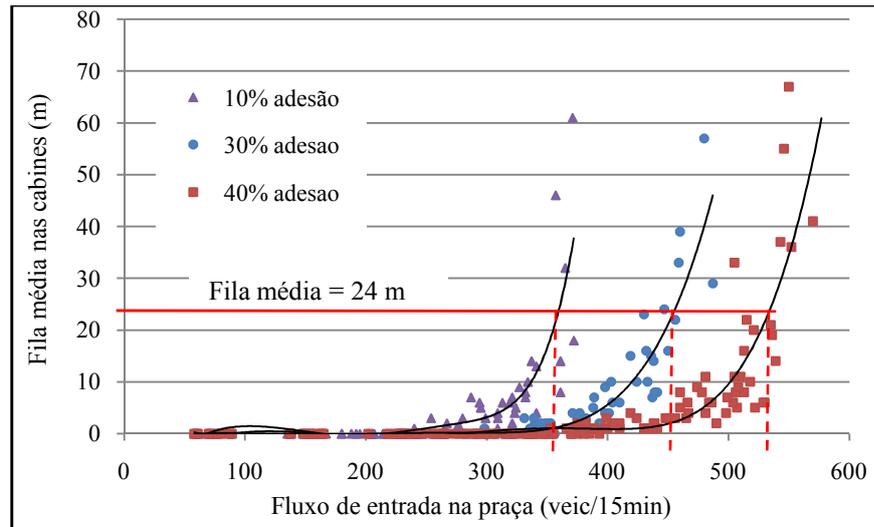


Figura 8: Fila média nas cabines para diferentes taxas de adesão à cobrança eletrônica

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As praças de pedágio são a infraestrutura através da qual as empresas concessionárias realizam a cobrança de tarifas aos usuários, como contrapartida aos investimentos em conservação e ampliação da malha concedida. A imagem de uma concessionária está, portanto, fortemente associada à qualidade do serviço prestado nas praças.

O desempenho operacional de uma praça de pedágio depende de sua capacidade de atendimento, que está fortemente relacionada a fatores como formas de cobrança praticadas, intensidade e composição do fluxo de tráfego que utiliza a rodovia, valores de tarifas, etc.

Este artigo apresentou uma análise do desempenho de uma praça de pedágio frente a diferentes condições de operação. Foram testados os impactos de dois tipos de medidas: (i) treinamento de arrecadadores, de forma a aumentar a eficiência da cobrança manual, e (ii) utilização da cobrança eletrônica de pedágio.

Conforme esperado, os potenciais ganhos em desempenho com a manutenção da forma de cobrança manual são muito limitados, chegando a 19% para as condições testadas. Melhorias significativas de desempenho podem ser atingidas com o aumento da adesão dos usuários ao sistema de cobrança eletrônica de pedágio.

As condições testadas demonstraram ainda que a manutenção de um indicador estabelecido pela concessionária para a operação das praças (fila média de 4 veículos) pode ser atingida com volumes crescentes através do aumento da adesão dos usuários à cobrança eletrônica.

Para os objetivos deste trabalho, a simulação mostrou-se uma ferramenta importante e de grande utilidade para avaliar estratégias operacionais de praças de pedágio, possibilitando o estudo do desempenho de diferentes medidas gerenciais e políticas operacionais antes que estas sejam colocadas em prática.

Análises futuras podem abranger condições não testadas neste artigo, como um maior número de cabines dedicadas à cobrança eletrônica, o uso de cabines de cobrança mista, composições variadas de fluxo de tráfego, entre outras.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Consórcio Univias pelo apoio na obtenção dos dados de campo. Agradecimentos também ao CNPQ e CAPES pelo apoio através da concessão de bolsas de pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araújo, J. J. (2001) Características Operacionais de Praças de Arrecadação de Pedágio. 2001. 104p, *Dissertação de Mestrado*, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Araújo, J. J. e J. R. Setti (2006) Caracterização Operacional de Praças de Pedágio do Estado de São Paulo. *Transportes*, v. 14, n. 1, p. 33-44.
- Aycin, M. F. (2006) Simple Methodology for Evaluating Toll Plaza Operations. *Transportation Research Record*, v. 1988, p. 92-101.
- DNIT (2006) *Manual de Estudos de Tráfego – IPR723*. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, Ministério dos Transportes, Brasília, DF.
- Lin, F. e C. Su (1994) Level-of-Service Analysis of Toll Plazas on Freeway Main Lines. *Journal of Transportation Engineering*, v.120, n.2, p.246-263.
- Oliveira, M. L., J. M. R. Neto, e H. B. B. Cybis (2003) A Influência do Tamanho das Filas na Capacidade de Atendimento das Praças de Pedágio. *Anais do XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Rio de Janeiro, v.2, p.1264-1275.
- Oliveira, M. L. (2004) Fatores Intervenientes na Capacidade de Atendimento de Praças de Pedágio. *Dissertação (Mestrado)*, 137 p., Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - UFRGS, Porto Alegre.
- Oliveira, M. L. (2009) Método para Determinação de Nível de Serviço em Praças de Pedágio. *Tese (Doutorado)*, 138 p., Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - UFRGS, Porto Alegre.
- PTV (2006) *VISSIM v.4.30 User Manual*. PTV – Planung Transport Verkehr AG.
- Wiedemann, R. (1991) Modeling of RTI-Elements on Multi-Lane Roads. In: *Advanced Telematics in Road Transport*. Edited by Commission of the European Community, DB XIII, Brussels.
- Woo, T. H. e L. H. Hoel (1991) Toll Plaza Capacity and Level of Service. *Transportation Research Record*, v. 1320, p.119-127.

Marta Rodrigues Obelheiro (marta.obelheiro@producao.ufrgs.br)

Marcelo Leismann de Oliveira (leismann@producao.ufrgs.br)

Helena Beatriz Bettella Cybis (helenabc@producao.ufrgs.br)

Laboratório de Sistemas de Transportes – LASTRAN

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGE

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

Av. Osvaldo Aranha, 99 (5º andar) – Porto Alegre, RS, Brasil

MÉTODO PARA ANÁLISE DE NÍVEIS DE SERVIÇO EM PRAÇAS DE PEDÁGIO

Marta Rodrigues Obelheiro
Helena Beatriz Bettella Cybis

Laboratório de Sistema de Transportes – LASTRAN

José Luis Duarte Ribeiro

Laboratório de Otimização de Produtos e Processos – LOPP
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGEP
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

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 na percepção de qualidade de serviço utilizados na pesquisa. O comprimento médio de filas nas cabines foi utilizado como indicador de desempenho. 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.

ABSTRACT

This paper proposes a method for analyzing level of service of toll plazas. The method was built from data representing specific operational conditions of Brazilian highways and toll plazas, and it is based on the quality of service of toll plazas 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 the quality of service perceived by users with the factors influencing their perception. The average queue length at toll booths was used as the measure of effectiveness. The results suggest that the queue length at toll booths has a strong influence on the perceived quality at toll plazas. This paper also proposes a level of service hierarchy related to the quality of service perceived by users at toll plazas.

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, interseções semaforizadas, entre outras. 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 através de parâmetros operacionais 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 no sistema através da comparação das situações anterior e posterior; (ii) a avaliação de diferentes configurações de trechos e condições de operação através de indicadores padronizados; (iii) a inclusão nos contratos de concessão de parâmetros de desempenho específicos para o serviço prestado 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.

O objetivo deste trabalho é propor um método para análise de níveis de serviço em praças de pedágio. O método proposto 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 utilizando dados característicos de rodovias e praças de pedágio brasileiras, de forma a possibilitar a avaliação de situações de tráfego existentes em diferentes contextos. O estudo foi desenvolvido através da simulação de praças de pedágio com o uso do software de microssimulação VISSIM.

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 melhores indicadores de desempenho que caracterizem as situações de tráfego em praças de pedágio e também 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 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). Os indicadores, obtidos através de observações empíricas ou simulação, podem ser 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: (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 uma comparação entre os indicadores de desempenho utilizados em cada estudo. A Tabela 2 apresenta as escalas de níveis de serviço para praças de pedágio propostas nestes estudos.

No método para determinação de níveis de serviço em praças de pedágio proposto por Woo e Hoel (1991), foram utilizados dados de praças de pedágio do estado de Virgínia (EUA). Os dados foram coletados através de câmeras de vídeo, e usados para a estimativa da capacidade nas praças. Os autores 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. Woo e Hoel (1991) verificaram através de correlação que havia similaridade estatística entre a relação V/C e densidades apresentadas no

HCM para níveis de serviço em rodovias e a relação V/C e densidades obtidas nas praças do estudo. A densidade nas praças foi então escolhida como indicador de desempenho, e a escala foi proposta com os mesmos valores observados em rodovias.

Tabela 1: Indicadores de desempenho utilizados em escalas de níveis de serviço para praças de pedágio

Estudos	Indicador de desempenho utilizado	Forma de medição
Woo e Hoel (1991)	Densidade; Relação V/C	agregado para toda a praça
Lin e Su (1994)	Comprimento médio de fila; tempo médio no sistema	comprimento por cabine [n veículos]; tempo individual por veículo [segundos]
Klodzinski e Al-Deek (2002)	Atraso	individual por veículo [segundos]
Oliveira (2009)	Comprimento médio de fila	comprimento por cabine [n veículos]

Lin e Su (1994) desenvolveram um modelo de simulação chamado *Toll Plaza Simulation model* utilizando dados de praças de pedágio de uma rodovia localizada em Taiwan. Os dados foram coletados em cabines de cobrança manual através de filmagens, e utilizados para teste e calibração do modelo. A escala de níveis de serviço proposta por Lin e Su (1994) utiliza o comprimento médio de fila nas cabines e o tempo médio no sistema como indicadores de desempenho. O comprimento de fila é caracterizado pelo número de veículos em fila, incluindo o veículo em posição de atendimento na cabine. O tempo no sistema foi considerado como o intervalo de tempo compreendido entre a entrada e a saída do veículo do sistema de praça de pedágio. Os critérios relacionados a comprimento médio de fila e tempo médio no sistema devem ser aplicados simultaneamente para a definição do nível de serviço de cabines de pedágio. Os tempos médios no sistema utilizados na definição da escala de níveis de serviço foram considerados iguais aos valores de atrasos indicados no “*Highway Capacity Manual for Taiwan Area*” para níveis de serviço de interseções semaforizadas. Os comprimentos médios de fila foram estabelecidos com base nos resultados do simulador para condições de fluxo diversas.

Tabela 2: 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	$7 > N \geq 6$
B	$12 < D \leq 20$	0,40	$1 < L \leq 2$	$15 < T \leq 30$	$14 < T \leq 28$	$6 > N \geq 5$
C	$20 < D \leq 30$	0,57	$2 < L \leq 3$	$30 < T \leq 45$	$28 < T \leq 49$	$5 > N \geq 4$
D	$30 < D \leq 42$	0,74	$3 < L \leq 6$	$45 < T \leq 60$	$49 < T \leq 77$	$4 > N \geq 3$
E	$42 < D \leq 67$	1,00	$6 < L \leq 10$	$60 < T \leq 80$	$77 < T \leq 112$	$3 > N \geq 2$
F	> 67	-	> 10	> 80	> 112	$2 > N \geq 1$

O estudo de Klodzinski e Al-Deek (2002) incluiu a influência da cobrança eletrônica de pedágio na determinação de níveis de serviço. Para a validação do método, foram utilizados dados de praças de pedágio do estado da Florida (EUA), com diferentes configurações de tipos de cobrança por cabine e variadas taxas de utilização de cobrança eletrônica. O simulador TPSIM – *Toll Plaza Simulation Model* foi utilizado para produzir e testar cenários que contribuíssem para a avaliação do método proposto. O indicador de desempenho utilizado

foi o atraso individual sofrido por cada motorista. O atraso individual compreende o tempo total gasto para a travessia do trecho com praça de pedágio, e está diretamente relacionado ao tempo de atendimento na cabine de cobrança. Para determinar os tempos médios de atendimento praticados nas cabines, Klodzinski e Al-Deek (2002) aplicaram uma pesquisa junto a concessionárias dos Estados Unidos e do Canadá. Os resultados indicaram o valor máximo de 14 segundos para tempo de atendimento médio em cabines de cobrança manual, definindo o nível de serviço A. Para definir os demais níveis de serviço, os autores compararam a percepção de atrasos em cabines de pedágio com a percepção de atrasos em interseções semaforizadas. O aumento percentual entre os limites que determinam os níveis de serviço em interseções semaforizadas estabelecidos pelo HCM 2000 (TRB, 2000) foi então utilizado para a determinação dos limites da escala de níveis de serviço proposta.

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 de pedágio do estado 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 da qualidade de tráfego de vídeos representativos de diversas situações de tráfego em praças, gerados através de microsimulação. O indicador de desempenho utilizado foi o comprimento médio de filas nas cabines, em número de veículos. Na pesquisa, foi também avaliada a influência da composição do fluxo e do número de cabines na qualidade operacional percebida pelos usuários. Foram consideradas cabines que operam somente com cobrança manual de tarifas. Para cada cenário operacional apresentado nos vídeos, os usuários atribuíram uma nota que variava de “Péssimo” (nota 1) a “Excelente” (nota 7). De posse das notas dos cenários, o autor realizou modelagem e obteve equação que relaciona os fatores analisados com as percepções de qualidade de tráfego. A equação que melhor representou os dados foi do tipo exponencial negativa:

$$\text{Nota do Cenário} = 1 + 6,3.e^{-\left\{ \left(\frac{FILA}{7,87} \right)^{0,85} \cdot \left[1 + \left(\frac{CAB}{70} \right) + \left(\frac{CAM}{90} \right) \right] \right\}} \quad (1)$$

em que:

- FILA* representa a variável “tamanho de fila nas cabines” [em *n* veículos quaisquer];
- CAB* representa o “número de cabines” na praça [em *n* cabines], e;
- CAM* representa a “parcela de caminhões no fluxo de tráfego” [em % de caminhões].

O coeficiente de determinação (R^2) obtido para o modelo foi de 94,4%, o que indica um bom ajuste. Além da equação, o trabalho propõe uma escala de níveis de serviço relacionada com as notas atribuídas pelos usuários aos cenários analisados, conforme Tabela 2.

O modelo proposto por Oliveira (2009) se mostrou válido e adequado às condições testadas; condições estas representativas das praças de pedágio do Rio Grande do Sul. Entretanto, uma escala de níveis de serviço deve ser válida para condições mais amplas, sendo capaz de avaliar situações de tráfego encontradas em diferentes contextos.

Este trabalho busca, portanto, apresentar um método para análise de níveis de serviço em praças de pedágio baseado em condições operacionais características de rodovias e praças brasileiras. O método proposto é uma evolução do método desenvolvido por Oliveira (2009).

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 existente 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 de pedágio (qualidade do pavimento, largura de faixas, número de cabines, etc.); (iii) forma com que o usuário é atendido nas cabines de cobrança manual (rapidez, cortesia, etc.); (iv) condições de iluminação da praça; e (v) 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.

Para a elaboração do método, a percepção dos usuários foi captada através de uma pesquisa qualitativa, cujo objetivo foi identificar a qualidade percebida em diferentes situações de tráfego em praças de pedágio. O levantamento da percepção dos respondentes foi realizado através da apresentação de vídeos obtidos a partir de cenários microssimulados nos quais foram controlados fatores intervenientes na percepção da qualidade do serviço em praças de pedágio.

O método foi obtido através das 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 utilizados na elaboração dos cenários, bem como os limites adotados para estes fatores. A etapa de planejamento envolveu ainda o dimensionamento da pesquisa através de um projeto de experimentos.

Os fatores intervenientes na percepção da qualidade do serviço utilizados na elaboração dos cenários foram: a proporção de caminhões no fluxo de tráfego, o número de cabines nas praças e o comprimento médio de filas nas cabines. O fator “proporção de caminhões no fluxo de tráfego” foi selecionado por ser 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 das seguintes formas: (i) caminhões apresentam comprimentos maiores, resultando em filas mais longas nas cabines; e (ii) as características operacionais de caminhões são refletidas nos deslocamentos destes veículos, resultando 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” foi selecionado por ser 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 utilizados por Oliveira (2009).

Os valores limites dos três fatores foram estabelecidos com base em dados representativos de condições operacionais características de rodovias e praças de pedágio brasileiras, de forma a garantir a aplicabilidade e validade do método para diferentes contextos e resultar na proposição de uma escala de níveis de serviço adequada para avaliar situações de tráfego encontradas em praças de pedágio de todo o país.

O fator “proporção de caminhões no fluxo de tráfego” teve seu valor máximo definido com base em estudo que envolveu a caracterização do tráfego de veículos pesados em rodovias paulistas de pista dupla a partir de dados obtidos através da Agência Reguladora de Transporte do Estado de São Paulo (Cunha, 2007). Os dados são provenientes do banco de dados de contagens horárias de tráfego em praças de pedágio do estado no ano de 2005. Através da determinação do fluxo de tráfego 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 no fluxo. Logo, foi definido o valor de 60% para a proporção máxima de caminhões no fluxo de tráfego utilizada neste estudo. O nível mais baixo para a fração de caminhões foi definido como 0%. No método proposto por 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, o que corresponde a aproximadamente 25% do total de praças de pedágio do país. 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 na praça” teve seu nível mínimo definido como 3 cabines e seu nível máximo definido como 18 cabines. Este valor máximo difere do valor adotado no método proposto por Oliveira (2009), igual a 10 cabines. Praças de pedágio com 10 cabines são representativas das maiores praças de pedágio encontradas no estado do Rio Grande do Sul, onde foi desenvolvido o método, mas não correspondem às maiores praças de pedágio encontradas no restante do país.

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 médio de fila nas cabines (em metros) apresenta maior facilidade de mensuração na prática, sendo considerada a variável mais adequada para representar a influência da demanda na percepção da qualidade do serviço em praças de pedágio. 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 inicial 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 até um veículo em fila. 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 “proporção 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:

- proporção 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;
- número de cabines na praça: 3, 6, 10 e 18.

O projeto composto de segunda ordem, resultado das interações dos níveis dos fatores, resultou em 15 cenários de pesquisa. Os cenários são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Projeto composto de segunda ordem

Cenário	% de caminhões	Número de cabines (n)	Comprimento de fila (m)
1	10	6	10
2	10	6	50
3	10	18	10
4	10	18	50
5	50	6	10
6	50	6	50
7	50	18	10
8	50	18	50
9	0	10	30
10	60	10	30
11	30	3	30
12	30	18	30
13	30	10	0
14	30	10	60
15	30	10	30

5. ELABORAÇÃO DOS CENÁRIOS UTILIZADOS NA PESQUISA QUALITATIVA

Para a elaboração dos cenários da pesquisa foi utilizado o software de microsimulação 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 cabines 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 foram utilizadas como referência. Estas características geométricas (tais como número de faixas de aproximação, largura de faixas, etc.) foram obtidas através do levantamento descrito no item 4.

Em todas as redes foram configuradas diferentes composições de tráfego, representando diferentes frações de caminhões no fluxo. Para a modelagem das redes, os dados sobre características da frota brasileira foram extraídos do Manual de Estudos de Tráfego do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT (DNIT, 2006). O tráfego nas modelagens foi dividido 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 ton. Caminhões pesados foram considerados aqueles de 5 e 6 eixos, comprimento máximo de 19,8 m e peso bruto total máximo de 57 ton. 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 2/3 de caminhões leves e 1/3 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 com cabines de cobrança manual, ou seja, pagamentos em dinheiro e através de cartões. O número de cabines abertas para atendimento de veículos é definido por rotina implementada 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 disponíveis e abertas ao tráfego.

Como forma de possibilitar a comparação entre resultados das duas pesquisas, os dados sobre tempos de atendimento foram os mesmos utilizados no trabalho de Oliveira (2009). A utilização de um conjunto diferente de tempos de atendimento poderia influenciar fortemente a qualidade percebida pelos usuários nas praças, razão pela qual os tempos de atendimento usados por Oliveira (2009) foram mantidos. Os valores de tempos de atendimento de veículos de passeio, caminhões leves e caminhões pesados usados para a modelagem das redes são apresentados na Tabela 4.

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.

Tabela 4: Tempos de atendimento usados nas modelagens

	Tempos de Atendimento (s)	
	Média	Desvio Padrão
Veículos de Passeio	20,29	7,57
Caminhões Leves - 2 e 3 eixos	25,07	9,47
Caminhões Pesados - 5 e 6 eixos	30,78	9,95

As informações sobre acelerações, desacelerações e tempos de percurso em praças de pedágio 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 de cobrança até uma distância de 300 metros antes das mesmas, buscando representar uma situação semelhante à observada por Araújo (2001). Foram realizadas diversas rodadas de simulação, e dados de velocidades desejadas de todas as categorias de veículos foram alterados, de forma que os tempos de percurso pudessem ser calibrados.

Com os tempos de atendimento inseridos nos modelos, e após a calibração dos tempos de percurso nas chegadas das praças, foram realizadas rodadas testes a fim de verificar visualmente o comportamento dos modelos. Foi constatado que, quando em fila nas cabines, os veículos apresentavam espaçamentos ligeiramente maiores do que o visualmente esperado. O algoritmo de *car-following* usado nas modelagens apresenta alguns parâmetros de calibração, entre eles o parâmetro que regula a distância de parada entre veículos (chamado CC0), cujo valor padrão é de 1,5 m. Para alterar o espaçamento entre veículos, o parâmetro CC0 teve seu valor ajustado para 1,2 m, diminuindo os espaçamentos entre veículos em filas.

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 possuíram duração entre 20 e 30 segundos.

Devido à relação entre o carregamento das redes e a capacidade computacional, em alguns vídeos os veículos apresentaram diferentes velocidades de deslocamento nas redes. Desta forma, a edição de imagens foi ferramenta utilizada com frequência para a compatibilização das velocidades de deslocamento de veículos em terceira dimensão nas redes simuladas. Para a edição das imagens, foi utilizado o software Camtasia Studio v.5.1.0.

6. APLICAÇÃO DA PESQUISA QUALITATIVA 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 através de 3 questionários, cada um contendo 5 dos 15 cenários elaborados. Cada usuário respondia a somente um questionário, avaliando portanto 5 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 pelos usuários através de uma senha de controle. 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.



Figura 1: Fragmento do questionário utilizado para avaliação dos cenários

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) conforme a associação apresentada na Tabela 5.

Tabela 5: Associação entre notas e conceitos atribuídos aos cenários da pesquisa

	Avaliação do cenário						
	Péssimo	Muito Ruim	Ruim	Regular	Bom	Muito Bom	Excelente
Nota	1	2	3	4	5	6	7

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 6.

Tabela 6: 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

A partir dos dados apresentados na Tabela 6, observa-se que a composição do tráfego (em % de caminhões) tende a exercer pouca influência sobre as notas atribuídas aos cenários. Por exemplo, em uma praça de pedágio de 6 cabines e comprimento médio de fila nas cabines igual a 50 metros, a nota obtida por um cenário cujo fluxo de tráfego é composto por 10% de caminhões é igual a 2,50 (cenário 2). Para o mesmo tamanho de praça e mantido o comprimento médio de filas nas cabines, a nota se mantém praticamente a mesma com a alteração da composição do fluxo para 50% de veículos pesados, sendo igual a 2,53 (cenário 6). A pouca influência da composição do tráfego sobre a qualidade percebida pelos usuários também pode ser verificada na comparação das notas dos cenários 1 e 5 e dos cenários 4 e 8. Em todos os casos, o aumento na porcentagem de caminhões no fluxo leva a um aumento na nota média do cenário. Esse aumento na nota dos cenários deve ser atribuído ao fato que, dado um mesmo tamanho de fila, o usuário prefere que essa fila contenha caminhões, pois isso significa um menor número de veículos em fila, uma vez que caminhões apresentam comprimentos maiores quando comparados aos automóveis. Um menor número de veículos em fila representa menos operações de pagamento a serem realizadas, diminuindo o tempo de espera do usuário na fila.

As notas dos cenários também se mostram pouco influenciadas por variações no número de cabines nas praças. Em fluxos com 10% de caminhões e comprimentos médios de fila de 10 metros, a nota obtida por um cenário com 6 cabines é igual a 4,42 (cenário 1). Para a mesma situação de filas e composição de tráfego, a nota obtida por um cenário de praça de pedágio com 18 cabines é igual a 4,88 (cenário 3), o que representa um aumento de cerca de 10% em relação à nota do cenário anterior. A pouca influência da variação do número de cabines sobre

a qualidade percebida pelos usuários também pode ser verificada na comparação das notas dos cenários 2 e 4 e dos cenários 6 e 8.

A Tabela 6 mostra ainda que as notas atribuídas aos cenários variam de forma bastante significativa com a variação do comprimento médio de fila nas cabines. Por exemplo, em uma praça de 6 cabines com fluxo composto por 10% de caminhões, a nota média atribuída a uma situação com comprimento médio de fila de 10 metros foi igual a 4,42 (cenário 1). Para o mesmo tamanho de praça e mantida a composição do fluxo, a nota média caiu para 2,50 com o aumento do comprimento médio de fila para 50 m (cenário 2), o que corresponde a uma redução de cerca de 43% na nota média. A redução da nota do cenário em decorrência do aumento do comprimento médio de fila nas cabines também pode ser verificada nos outros cenários testados. Na comparação de cenários representativos de praças de 10 cabines com fluxos compostos por 30% de caminhões (cenários 13, 14 e 15), percebe-se ainda uma redução muito mais expressiva da nota com o aumento do comprimento médio de fila de 0 m até 30 m (redução de cerca de 57% na nota do cenário) do que com o aumento das filas de 30 m até 60 m, quando a redução na nota do cenário é de apenas 8,5%. Esta variação indica que a taxa de redução da qualidade percebida pelos usuários é maior quando as filas são menores. Na comparação entre situações com filas intermediárias e filas grandes, a taxa de redução da qualidade percebida não é tão acentuada.

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

Os resultados obtidos através da pesquisa foram utilizados para a obtenção de um modelo que relacionou as notas representativas da percepção da qualidade de serviço em praças de pedágio com as variáveis estudadas. As variáveis explicativas consideradas na modelagem foram: (i) número de cabines na praça; (ii) comprimento médio de fila nas cabines; e (iii) porcentagem de caminhões no fluxo de tráfego. A variável dependente foi “Nota do Cenário”. A modelagem foi realizada com o uso do 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:

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

em que
 FILA representa o “comprimento médio de fila nas cabines” [metros];
 CAM representa a “porcentagem de caminhões no fluxo” [valor decimal]; e
 CAB representa o “número de cabines na praça” [*n* cabines].

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 a correta avaliação da qualidade de serviço em praças de pedágio, a equação 2 deve ser utilizada em conjunto com a escala de níveis de serviço proposta na Tabela 7. 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 das praças 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 na Tabela 7 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 7: Escala proposta para 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.

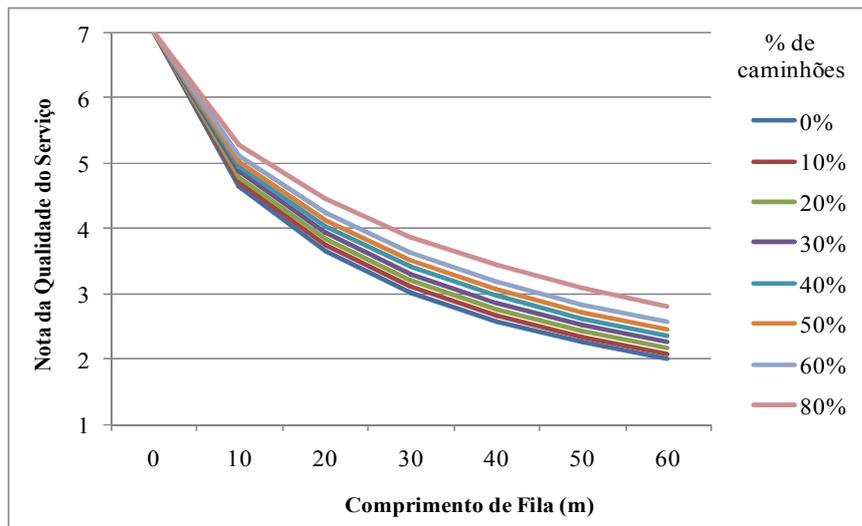


Figura 2: Gráfico de sensibilidade com variação da porcentagem de caminhões, para praça de pedágio com 10 cabines

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 aproximadamente 2 quando a fila aumenta de 0 a 60 m, como mostrado nas Figuras 2 e 3. Extrapolando com suporte do modelo, a situação péssima (correspondente à nota igual a 1) seria obtida com filas de 120 m. Entretanto, este valor deve ser analisado com cautela, uma vez que não foram testados cenários com comprimentos médios de filas maiores do que 60 m.

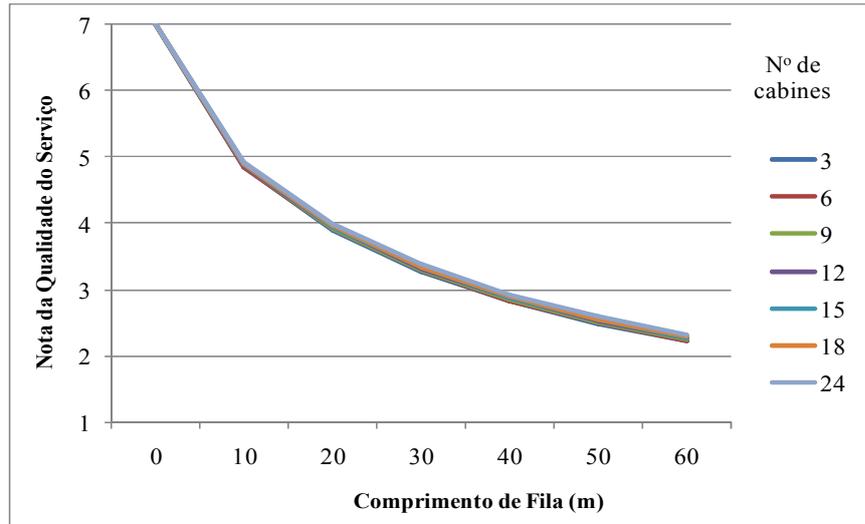


Figura 3: Gráfico de sensibilidade com variação do número de cabines, para fluxos com 30% de caminhões

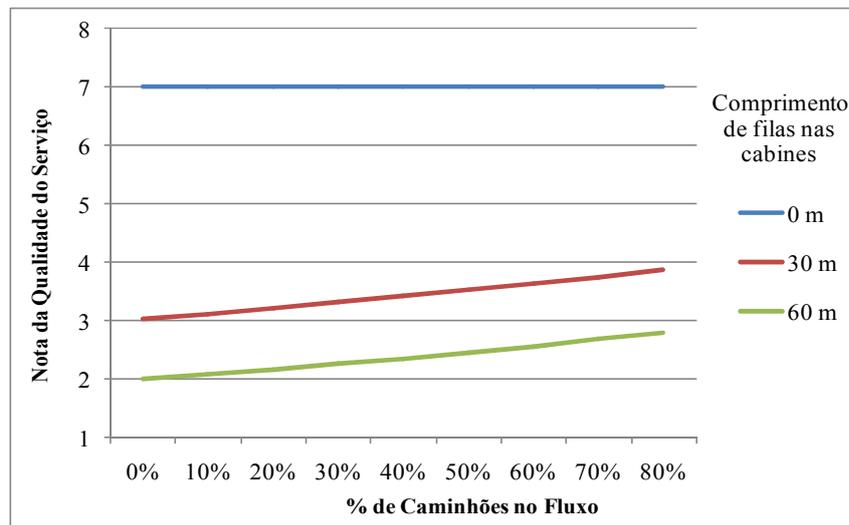


Figura 4: Gráfico de sensibilidade com variação do comprimento médio de filas nas cabines, para praças de pedágio com 10 cabines

O efeito da variável “porcentagem de caminhões no fluxo” é relativamente fraco, mas significativo. Na medida em que aumenta a porcentagem de caminhões, a qualidade percebida nas praças de pedágio melhora cerca de 0,6 pontos (considerando a escala de 1 a 7), conforme Figura 4. Essa melhora ocorre pois, dado um mesmo tamanho de fila, o usuário prefere que essa fila contenha caminhões, como discutido anteriormente.

O efeito da variável “número de cabines na praça” não foi significativo ao nível de significância $\alpha = 5\%$. Com o aumento do número de cabines, a qualidade percebida nas praças melhora cerca de 0,1 pontos (melhora insignificante, considerando a escala de 1 a 7), como pode ser observado na Figura 3. Essa melhora pode ser apenas ruído, pois não é estatisticamente significativa. Desconsiderando-se a hipótese de ruído, a melhora na qualidade percebida poderia ser atribuída ao fato que o usuário prefere um número maior de cabines, porque isso implica maiores áreas de manobras. Com áreas de manobras maiores, o usuário

possui mais liberdade para escolher cabines com comprimentos menores de fila e menor é o desconforto causado pela sensação de ocupação da praça. Logo, o termo relacionado à variável “número de cabines” poderia ser eliminado do modelo. Entretanto, este termo foi mantido para possibilitar a comparação do modelo com o modelo obtido por Oliveira (2009).

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

A Tabela 8 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 maior do que o apresentado pelo modelo de Oliveira (2009), o que indica um melhor ajuste às variáveis.

Tabela 8: Comparação entre o modelo de Oliveira (2009) e o modelo proposto neste trabalho

	Modelo de Oliveira (2009)	Novo modelo
Variável dependente	Nota do Cenário	Nota do Cenário
	porcentagem de caminhões no fluxo [%]	porcentagem de caminhões no fluxo [%]
Variáveis explicativas	número de cabines [n]	número de cabines [n]
	comprimento médio de fila [n veículos]	comprimento médio de fila [metros]
Coefficiente de determinação (R^2) do modelo	94,4%	96,2%

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. Ao considerar o número de veículos em fila, a presença de caminhões no fluxo tende a diminuir a qualidade percebida em determinada situação de tráfego, 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.

As Figuras 5, 6 e 7 apresentam uma comparação entre o modelo proposto neste estudo e o modelo de Oliveira (2009), 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 (2009) são sempre maiores do que aquelas obtidas através do novo modelo, para todas as composições de fluxo consideradas.

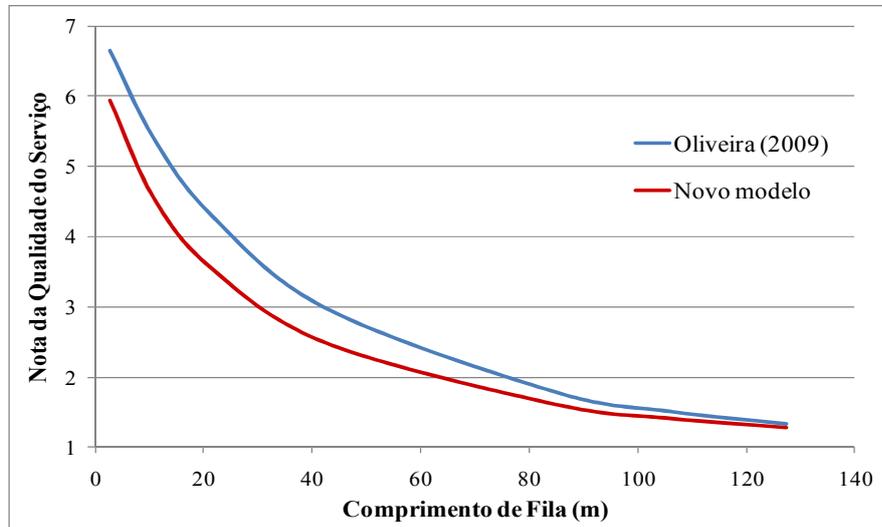


Figura 5: Comparação entre o modelo proposto neste estudo e o modelo de Oliveira (2009) em relação à influência do comprimento de fila na qualidade percebida pelos usuários, para fluxo com 0% de caminhões em praça de pedágio com 10 cabines

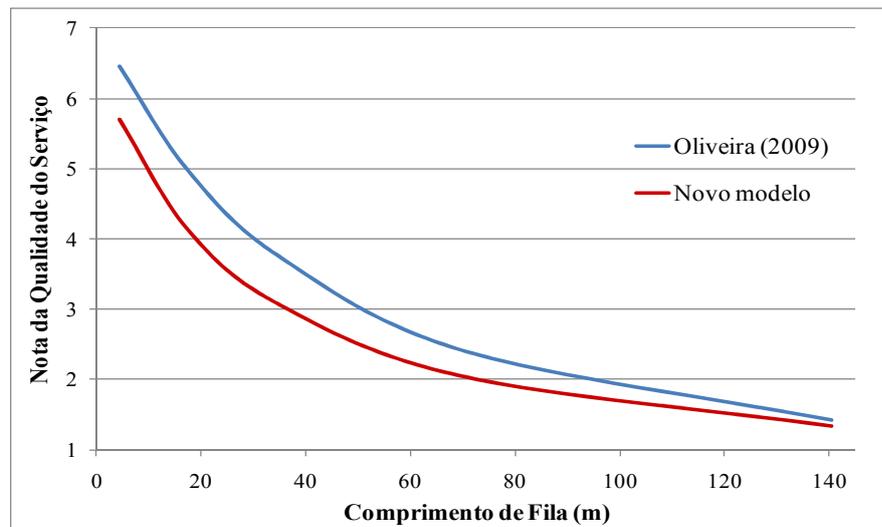


Figura 6: Comparação entre o modelo proposto neste estudo e o modelo de Oliveira (2009) em relação à influência do comprimento de fila na qualidade percebida pelos usuários, para fluxo com 30% de caminhões em praça de pedágio com 10 cabines

A Tabela 9 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.

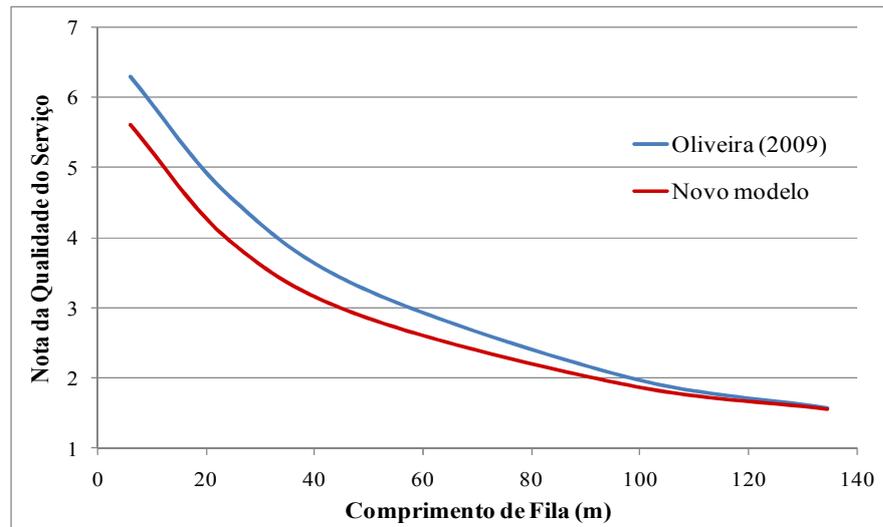


Figura 7: Comparação entre o modelo proposto neste estudo e o modelo de Oliveira (2009) em relação à influência do comprimento de fila na qualidade percebida pelos usuários, para fluxo com 60% de caminhões em praça de pedágio com 10 cabines

A Tabela 9 mostra que, para qualquer composição de fluxo considerada, a escala resultante do novo modelo apresenta valores menores do que os indicados pelo modelo de Oliveira (2009) para os limites de comprimento de fila correspondentes a cada nível de serviço. O novo modelo, portanto, pode ser considerado mais rigoroso do que o modelo de Oliveira (2009), na medida em que representa uma menor tolerância dos usuários em relação às filas nas cabines.

Tabela 9: 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	$L > 73$	$L > 61$	$L > 90$	$L > 73$	$L > 98$	$L > 90$

Um exemplo dessa menor tolerância a filas apresentada pelo novo modelo pode ser verificado nos limites máximos de comprimento de filas que correspondem ao nível de serviço “Regular a Bom”, ou nível de serviço C de acordo com Oliveira (2009). No modelo proposto por Oliveira (2009), estes limites superiores variam entre 25 e 34 metros, para as diferentes composições de fluxo analisadas. No novo modelo proposto neste trabalho, os limites de comprimento máximo de fila para este mesmo nível de serviço são bem menores, variando de 16 a 24 metros para as mesmas composições de fluxo.

O perfil mais tolerante a filas apresentado pelos usuários de praças que responderam à pesquisa qualitativa de Oliveira (2009) pode estar relacionado com o procedimento adotado

no momento de realização das pesquisas. Antes da apresentação dos vídeos que deveriam ser avaliados, o autor apresentou aos respondentes vídeos representativos de cenários extremos. Os vídeos mostravam as melhores e piores situações de tráfego analisadas no estudo, de forma a oferecer um referencial de julgamento aos respondentes da pesquisa. Este procedimento pode ter sugerido aos respondentes a serem mais condescendentes com as situações de tráfego apresentadas nos vídeos, uma vez que o autor testou cenários com filas maiores do que as filas máximas consideradas na elaboração do novo modelo apresentado neste estudo.

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. Neste método, a qualidade de serviço percebida pelos usuários foi relacionada somente aos fatores que interferem no tempo de espera do usuário na fila.

A percepção dos usuários acerca da qualidade de serviço foi captada através de uma pesquisa qualitativa. Os resultados da pesquisa foram utilizados em modelagem que relacionou a qualidade percebida pelos usuários em diferentes situações de tráfego com os seguintes fatores: (i) comprimento médio de filas nas cabines; (ii) composição do tráfego; e (iii) número de cabines na praça. A modelagem foi realizada através de regressão, resultando em uma equação do tipo exponencial negativa.

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 variável “composição do fluxo de tráfego” 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. O efeito da variável “número de cabines” não se mostrou estatisticamente significativo, sendo recomendada sua exclusão do método.

Além da equação, é proposta uma escala de níveis de serviço relacionada com a qualidade percebida pelos usuários em praças de pedágio. Para evitar uma possível associação errônea com as metodologias apresentadas no HCM para análise de níveis de serviço em rodovias, a escala proposta é formada pelos conceitos utilizados na pesquisa qualitativa para avaliação das situações de tráfego.

Análises futuras podem avaliar a influência de outros fatores, tais como condições de infraestrutura da praça e diferentes formas de pagamento praticadas, sobre a qualidade percebida pelos usuários em praças de pedágio.

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° 003/2008*. 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. 2001. 104p, *Dissertação de 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. 2007. 147p. *Dissertação de 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. In: *Traffic Technology International*. Apr.- 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. 2009. 137p. *Tese de 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 (4ª. Edição) Special Report n. 209. 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). *Ph.D. Thesis*. University of Central Florida - UFC, Florida, USA.

Marta Rodrigues Obelheiro (marta.obelheiro@producao.ufrgs.br)

Helena Beatriz Bettella Cybis (helenabc@producao.ufrgs.br)

Laboratório de Sistemas de Transportes – LASTRAN

José Luis Duarte Ribeiro (ribeiro@producao.ufrgs.br)

Laboratório de Otimização de Produtos e Processos – LOPP

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGE

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

Av. Osvaldo Aranha, 99 (5º andar) – Porto Alegre, RS, Brasil

APLICAÇÃO DE UM MÉTODO DE ANÁLISE DE NÍVEIS DE SERVIÇO EM PRAÇAS DE PEDÁGIO: A PERCEPÇÃO DE QUALIDADE DE SERVIÇO DE DIFERENTES GRUPOS

Marta Rodrigues Obelheiro

Helena Beatriz Bettella Cybis

Laboratório de Sistema de Transportes – LASTRAN

José Luis Duarte Ribeiro

Laboratório de Otimização de Produtos e Processos – LOPP

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGEP

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

RESUMO

Este trabalho consiste na aplicação de um método para análise de níveis de serviço em praças de pedágio baseado na percepção de usuários acerca da qualidade de serviço. O método é aplicado junto a usuários de praças de diferentes estados brasileiros e junto a técnicos responsáveis pela fiscalização e operação das praças de todo o país. Os resultados indicaram que: (i) o comprimento de filas nas cabines exerce forte influência sobre a qualidade percebida nas praças por todos os grupos; e (ii) existem diferenças expressivas entre as percepções de usuários e de técnicos operadores acerca da qualidade de serviço nas praças. Este trabalho propõe escalas de níveis de serviço relacionadas com a qualidade percebida pelos diferentes grupos, utilizando o comprimento médio de filas nas cabines como indicador de desempenho.

ABSTRACT

This work involves the application of a method for analyzing level of service of toll plazas based on their quality of service as perceived by users. The research method is applied to toll plaza users from different Brazilian states and to technicians responsible for the supervision and operation of toll plazas across the country. The results suggest that: (i) the queue length at booths has a strong influence on the perceived quality in toll plazas by all groups; and (ii) there are significant differences between the perceptions of operators and users about the quality of service at toll plazas. This paper proposes level of service hierarchies relating the quality perceived by the different groups to the average queue length at toll booths.

1. INTRODUÇÃO

Níveis de serviço são medidas de qualidade que descrevem condições operacionais em uma corrente de tráfego, de tal forma que cada nível de serviço representa um intervalo de condições de operação e a percepção dos usuários acerca destas condições (TRB, 2000). A definição de escalas de níveis de serviço em praças de pedágio está relacionada à padronização de indicadores e medidas de desempenho, o que possibilita: (i) a avaliação de alterações no sistema através da comparação de situações de antes e depois; (ii) a comparação de condições operacionais em diferentes praças de pedágio; e (iii) maior eficiência na fiscalização do serviço oferecido nas praças, uma vez que os órgãos reguladores terão uma forma clara e pré-estabelecida de medição de desempenho.

Para que uma escala de níveis de serviço seja considerada adequada para avaliar situações de tráfego em diferentes contextos, é preciso que esta escala esteja baseada em indicadores representativos da infraestrutura a ser avaliada e represente de forma correta a percepção de usuários acerca da qualidade do serviço avaliado. Para tanto, as percepções de diferentes grupos de usuários acerca da qualidade de serviço devem apresentar certa uniformidade, independentemente de suas características socioculturais, naturalidade, faixa etária, sexo, etc.

O *Highway Capacity Manual - HCM* (TRB, 2000) apresenta escalas de níveis de serviço para diversos componentes do sistema viário, tais como vias arteriais urbanas e rodovias.

Entretanto, o HCM não apresenta um método para avaliação do nível de serviço em praças de pedágio, o que vem motivando a realização de estudos relacionados ao tema. Além disso, apesar do conceito de nível de serviço estar diretamente relacionado à percepção de usuários acerca de condições operacionais, poucos são os estudos que buscam captar e representar esta percepção, inclusive no que se refere a estudos envolvendo praças de pedágio (Washburn e Kirschner, 2006; Choocharukul, *et al.*, 2004; Hostovsky *et al.*, 2004; Pécheux *et al.*, 2004; Pécheux *et al.*, 2000).

Tendo em vista que escalas de níveis de serviço devem ser capazes de representar a percepção de usuários acerca das condições operacionais existentes em infraestruturas de transporte, Obelheiro *et al.* (2010) elaboraram um método de análise de níveis de serviço em praças de pedágio com base em uma pesquisa qualitativa com usuários de praças. O método proposto utiliza dados característicos de rodovias e praças de pedágio de diversos estados brasileiros, de forma a possibilitar a avaliação de condições de tráfego existentes em diferentes contextos. Os usuários consultados na pesquisa qualitativa foram usuários de praças de pedágio do estado do Rio Grande do Sul.

Este trabalho consiste em uma aplicação do método para análise de níveis de serviço em praças de pedágio desenvolvido por Obelheiro *et al.* (2010). O método é aplicado junto a usuários de praças de pedágio de diferentes estados brasileiros e junto a técnicos responsáveis pela fiscalização e operação das praças de todo o país. O objetivo principal é determinar se o método proposto por Obelheiro *et al.* (2010) é adequado para representar a percepção de diferentes grupos de usuários na avaliação de situações de tráfego encontradas em praças de pedágio de todo o país.

2. DETERMINAÇÃO DE NÍVEIS DE SERVIÇO EM PRAÇAS DE PEDÁGIO

Nesta seção são revisados alguns estudos que buscaram definir métodos para a determinação de níveis de serviço em praças de pedágio. Por fim, é apresentado um detalhamento do método proposto por Obelheiro *et al.* (2010), adotado neste trabalho.

2.1. Estudos prévios sobre níveis de serviço em praças de pedágio

Estudos sobre a avaliação de níveis de serviço em praças de pedágio divergem com relação à escolha dos melhores indicadores de desempenho que caracterizem as situações de tráfego em praças e também 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 tempos de espera em filas (Zarrillo, 1998; Astarita *et al.*, 2001; Niño, 2001; Klodzinski e Al-Deek, 2002; Horn, 2003), tamanhos de filas (Lin e Su, 1994; Gulewicz e Danko, 1995; Burris e Hildebrand, 1996; Van Dijk *et al.*, 1999; Oliveira, 2009) e relação volume-capacidade (Woo e Hoel, 1991; Al-Deek e Radwan, 1995).

Diferentes escalas de níveis de serviço para praças de pedágio foram propostas com base nestes indicadores de desempenho. Woo e Hoel (1991) utilizaram dados de praças de pedágio do estado de Virginia (EUA) para propor uma escala de níveis de serviço que tem como indicadores de desempenho a densidade e a relação volume-capacidade. Lin e Su (1994), com base nos resultados de um modelo de simulação chamado *Toll Plaza Simulation model* e em dados de praças de pedágio de uma rodovia localizada em Taiwan, propuseram uma escala de níveis de serviço que utiliza simultaneamente o comprimento médio de fila nas cabines e o

tempo médio no sistema como indicadores de desempenho. No trabalho de Lin e Su (1994), o comprimento médio de fila nas cabines é mensurado através do número de veículos em fila.

O estudo de Klodzinski e Al-Deek (2002) incluiu a avaliação da influência da cobrança eletrônica de pedágio nos níveis de serviço. Os autores utilizaram dados de praças de pedágio do estado da Flórida (EUA) em conjunto com o simulador TPSIM – *Toll Plaza Simulation Model* para propor uma escala de níveis de serviço que tem como indicador de desempenho o atraso total sofrido por cada motorista. A escala proposta por Klodzinski e Al-Deek (2002) é baseada em uma comparação feita pelos autores entre a percepção de atrasos sofridos em praças de pedágio e a percepção de atrasos sofridos em interseções semaforizadas.

Os métodos de Woo e Hoel (1991), Lin e Su (1994) e Klodzinski e Al-Deek (2002) buscaram representar o desconforto e inconveniência dos usuários em trafegar por praças de pedágio através de diferentes medidas de desempenho. Entretanto, nenhum destes estudos procurou captar diretamente a percepção dos usuários de praças acerca das condições operacionais analisadas.

Mais recentemente, Oliveira (2009) propôs um método para determinação de níveis de serviço em praças de pedágio baseado diretamente na percepção de usuários acerca da qualidade do serviço nessas infraestruturas. O método foi elaborado a partir de dados de praças de pedágio do estado do Rio Grande do Sul, utilizando o comprimento médio de fila nas cabines (em número de veículos) como indicador de desempenho. Os usuários consultados na pesquisa foram usuários de praças de pedágio do estado do Rio Grande do Sul.

2.2. Método para análise de níveis de serviço em praças de pedágio de Obelheiro *et al.* (2010)

Buscando desenvolver uma escala de níveis de serviço em praças de pedágio com validade nacional, Obelheiro *et al.* (2010) propuseram um método utilizando dados representativos de condições operacionais características de rodovias e praças de pedágio brasileiras. Na elaboração do método, foram consideradas praças de pedágio que operam somente com cobrança manual de tarifas. O método proposto é uma evolução do trabalho de Oliveira (2009). Assim como o método apresentado por Oliveira (2009), o método de Obelheiro *et al.* (2010) é baseado na percepção de usuários acerca da qualidade do serviço em praças.

A qualidade do serviço existente em uma praça de pedágio está relacionada a diversos elementos, tais como: (i) tempo de espera do usuário na fila; (ii) condições de infraestrutura da praça de pedágio; e (iii) rapidez e cortesia com que o usuário é atendido nas cabines de cobrança manual. No método proposto por Obelheiro *et al.* (2010), 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.

No método de Obelheiro *et al.* (2010), a percepção dos usuários acerca da qualidade do serviço foi captada através de uma pesquisa qualitativa cujo objetivo foi identificar a percepção de conforto e conveniência dos respondentes em diferentes situações de tráfego em praças de pedágio. Na pesquisa, vídeos gerados a partir de cenários microssimulados foram apresentados aos respondentes. Cada vídeo apresentava um cenário representativo de uma situação diferente de tráfego. Os cenários foram caracterizados por variações de três fatores:

(i) composição do fluxo de tráfego (em % de caminhões); (ii) número de cabines na praça de pedágio; e (iii) comprimento médio de filas nas cabines (em metros). Estes três fatores foram utilizados por serem considerados fatores intervenientes na percepção da qualidade de serviço em praças. Os cenários avaliados na pesquisa qualitativa são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Cenários operacionais avaliados na pesquisa qualitativa

Cenário	% de caminhões	Número de cabines (n)	Comprimento de fila (m)
1	10	6	10
2	10	6	50
3	10	18	10
4	10	18	50
5	50	6	10
6	50	6	50
7	50	18	10
8	50	18	50
9	0	10	30
10	60	10	30
11	30	3	30
12	30	18	30
13	30	10	0
14	30	10	60
15	30	10	30

Na pesquisa qualitativa aplicada por Obelheiro *et al.* (2010), para cada cenário operacional apresentado nos vídeos os usuários atribuíram uma nota que variava de “Péssimo” (nota 1) a “Excelente” (nota 7). De posse das notas que refletem a percepção dos entrevistados quanto à qualidade de serviço de cada um dos cenários, foi realizada modelagem e obtida equação que relaciona os três fatores analisados com as percepções de qualidade de serviço. Os resultados apresentados por Obelheiro *et al.* (2010) indicaram que o comprimento de filas nas cabines é a variável com maior influência na qualidade percebida pelos usuários. A variável “porcentagem de caminhões no fluxo” exerceu influência pequena mas significativa sobre as notas dos cenários, enquanto que o efeito da variável “número de cabines” não se mostrou estatisticamente significativo, sendo recomendada sua exclusão do método. Além da equação, o trabalho propõe uma escala de níveis de serviço relacionada com as notas atribuídas pelos usuários aos cenários analisados, conforme Tabela 2.

Tabela 2: Escala de níveis de serviço proposta por Obelheiro *et al.* (2010)

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	$1 \leq N < 2$

Para possibilitar a comparação entre os resultados de seu método e os resultados do trabalho de Oliveira (2009) no qual seu método foi baseado, Obelheiro *et al.* (2010) também consideraram somente a percepção de usuários de praças de pedágio do estado do Rio Grande do Sul na elaboração do método. Usuários de praças de outros estados, em decorrência de diferentes características socioculturais e diferentes experiências prévias em praças, poderiam apresentar percepções diferenciadas acerca das condições operacionais analisadas, distorcendo o resultado da comparação entre os métodos.

Entretanto, para que o método proposto por Obelheiro *et al.* (2010) seja considerado adequado para avaliar situações de tráfego em praças de pedágio de todo o país, é preciso verificar se usuários de praças de diferentes estados apresentam percepções semelhantes acerca das mesmas condições operacionais nas praças.

3. MÉTODO DE TRABALHO

Para verificar se o método de Obelheiro *et al.* (2010) é adequado para a avaliação de situações de tráfego em praças de pedágio de diferentes regiões, a etapa de pesquisa qualitativa desse método foi aplicada junto a usuários de praças de diferentes estados brasileiros. A seleção dos estados para a aplicação da pesquisa foi realizada de tal forma que a amostra obtida fosse representativa da malha pedagiada brasileira. Este critério de seleção resultou na escolha dos estados de São Paulo, Santa Catarina e Rio de Janeiro para a aplicação da pesquisa. O somatório da malha rodoviária concedida nestes estados corresponde a 51% da malha rodoviária concedida de todo o país (ABCR, 2010b). Além disso, nestes estados estão localizadas 190 das 293 praças de pedágio em operação no país (ABCR, 2010a).

Assim como na pesquisa qualitativa aplicada por Obelheiro *et al.* (2010), neste estudo o levantamento da percepção dos respondentes foi feito através da aplicação de um questionário, que consistiu na avaliação de vídeos representativos de diversas situações de tráfego em praças de pedágio. Os vídeos foram gerados a partir de simulações de cenários da operação de praças. Na aplicação da pesquisa, todos os grupos analisaram os mesmos 15 cenários, previamente apresentados na Tabela 1. Para cada cenário operacional apresentado nos vídeos, os respondentes atribuíram uma nota que variava de “Péssimo” (nota 1) a “Excelente” (nota 7). A partir das notas atribuídas pelos diferentes grupos às situações de tráfego apresentadas nos vídeos, foram realizadas análises e desenvolvidos modelos capazes de representar a percepção dos diferentes grupos acerca da qualidade de serviço nas praças. Os resultados foram então avaliados e comparados, analisando-se similaridades e diferenças entre as percepções dos diferentes grupos. Os resultados desta aplicação foram também comparados com os resultados de pesquisa prévia aplicada com usuários de praças do Rio Grande do Sul, que serviu de base para a elaboração do método de Obelheiro *et al.* (2010).

A mesma pesquisa qualitativa também foi aplicada junto a técnicos de agências reguladoras ligadas ao governo e técnicos de empresas concessionárias de rodovias responsáveis pela operação das praças. A pesquisa realizada com técnicos de agências reguladoras e técnicos de empresas operadoras das concessões não foi segmentada por estado, uma vez que a população de técnicos em atuação no país representa um universo pequeno em relação ao universo de usuários de praças de pedágio. As aplicações da pesquisa qualitativa com técnicos e usuários de praças possibilitaram a comparação entre as percepções dos diferentes agentes envolvidos no sistema de pedagiamento acerca da qualidade operacional em praças de pedágio.

4. APLICAÇÃO DA PESQUISA QUALITATIVA JUNTO AOS DIFERENTES GRUPOS

A pesquisa aplicada junto aos usuários foi estruturada através de 3 questionários, cada um contendo 5 dos 15 cenários elaborados. Cada usuário respondia a somente um questionário, avaliando, portanto, 5 cenários. Para a aplicação junto a técnicos de concessionárias e de agências reguladoras, a pesquisa foi estruturada através de 2 questionários, um composto por 7 cenários e o outro composto por 8 cenários, totalizando os 15 cenários analisados.

A aplicação dos questionários foi feita através da internet, de forma a possibilitar a realização da pesquisa com um maior número de respondentes de diferentes estados. Os questionários foram hospedados na página do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFRGS, e acessados pelos respondentes através de uma senha de controle. Os respondentes foram direcionados sequencialmente aos questionários 1, 2 e 3 (no caso de usuários), ou 1 e 2 (no caso de técnicos), 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.



Figura 1: Fragmento do questionário utilizado para avaliação dos cenários

As amostras de usuários de praças de pedágio pesquisados foram compostas por: (i) 55 usuários do estado de Santa Catarina; (ii) 197 usuários de praças de São Paulo; e (iii) 88 usuários de praças do Rio de Janeiro. Em todos os estados, a amostra pesquisada da população de usuários de praças foi composta por usuários de diferentes faixas etárias, com

idade mínima igual a 18 anos. O sexo e o grau de escolaridade dos entrevistados não foram considerados como fatores importantes para a estratificação da amostra. Não foi considerado se os respondentes eram motoristas habilitados ou não.

A pesquisa também foi respondida por usuários de praças de Minas Gerais, Paraná, Espírito Santo e Bahia. Entretanto, o tamanho reduzido das amostras de usuários de praças destes estados que responderam à pesquisa não possibilitou a utilização dos resultados das mesmas.

A Tabela 3 apresenta uma caracterização dos estados nos quais foi aplicada a pesquisa. A aplicação da pesquisa com usuários de praças do estado do Rio Grande do Sul foi realizada em estudo prévio (Obelheiro *et al.*, 2010). Entretanto, para fins de comparação, a Tabela 3 também apresenta informações sobre este estado. Para cada estado, são apresentados o número de praças de pedágio e informações a respeito das condições da malha rodoviária.

Tabela 3: Caracterização dos estados de Santa Catarina, São Paulo, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul

	SC	SP	RJ	RS
Malha rodoviária concedida* [%] ⁽¹⁾	0,78%	2,96%	4,18%	1,55%
% da malha rodoviária pavimentada em estado bom ou ótimo ⁽²⁾	39,8%	75,4%	63,4%	38,4%
Número de praças de pedágio existentes no estado ⁽³⁾	10	153	27	39

*percentual relativo ao total da malha rodoviária do estado (pavimentada e não pavimentada)

(1) Fonte: calculado a partir de ABCR (2010b) e CNT (2009)

(2) Fonte: CNT (2009)

(3) Fonte: ABCR (2010a)

O percentual de malha rodoviária concedida e o número de praças de pedágio existentes em um estado são indicativos da familiaridade da população com o tráfego em rodovias pedagiadas. A maior ou menor familiaridade da população com praças de pedágio pode influenciar a qualidade percebida nas praças. A qualidade da malha rodoviária do estado pode estar relacionada com a expectativa dos usuários acerca da qualidade de serviço nas praças. É possível que usuários habituados a trafegar em rodovias em bom estado sejam mais exigentes em relação à qualidade do serviço existente nas praças do que usuários habituados a trafegar em rodovias em mau estado.

A Tabela 3 mostra que o estado de São Paulo apresenta o maior número de praças de pedágio em operação no país; neste estado também estão localizadas as maiores praças do Brasil, com até 28 cabines (Obelheiro *et al.*, 2010). Além disso, este estado possui a malha rodoviária de melhor qualidade, de acordo com pesquisa rodoviária da Confederação Nacional do Transporte para avaliação das condições de rodovias brasileiras (CNT, 2009). O estado de Santa Catarina e o estado do Rio Grande do Sul apresentam malhas rodoviárias de qualidade semelhante: menos da metade da malha rodoviária destes estados avaliada na pesquisa CNT foi considerada em estado bom ou ótimo. Em comparação com os demais estados da pesquisa, o Rio de Janeiro possui o maior percentual de malha rodoviária concedida. Dentre os estados analisados, o estado de Santa Catarina possui o menor percentual de malha rodoviária concedida, e também o menor número de praças de pedágio.

A amostra da população de técnicos de empresas concessionárias foi composta por 21 técnicos ligados diretamente à operação das praças. Atualmente, existem em atuação no país

cerca de 50 concessionárias filiadas à Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias – ABCR (ABCR, 2010a). Em virtude da população reduzida de técnicos que atuam na operação das praças no país, o tamanho da amostra também se mostrou reduzido, de modo que não foi possível realizar qualquer estratificação. O mesmo ocorreu com técnicos de agências reguladoras.

A amostra pesquisada de técnicos de agências reguladoras ligadas ao governo foi composta por 29 indivíduos. Estes técnicos são responsáveis pela supervisão, inspeção e auditoria dos contratos de concessão de rodovias estaduais e federais, e também pela avaliação do desempenho das empresas concessionárias.

5. ANÁLISE DE RESULTADOS

Os conceitos atribuídos à qualidade de serviço dos cenários foram transformados em notas conforme a associação apresentada na Tabela 4. Esta associação entre notas e conceitos foi utilizada no método proposto por Obelheiro *et al.* (2010). A nota de cada cenário foi obtida através da média das notas a ele atribuídas, sendo descartados valores atípicos.

Tabela 4: Associação entre notas e conceitos atribuídos aos cenários da pesquisa

Nota	Avaliação do cenário						
	Péssimo	Muito Ruim	Ruim	Regular	Bom	Muito Bom	Excelente
	1	2	3	4	5	6	7

A Tabela 5 apresenta as médias das notas dos cenários obtidas nas pesquisas aplicadas com usuários de praças de pedágio dos diferentes estados, com técnicos de agências reguladoras e técnicos de empresas concessionárias. Para fins de comparação, também são apresentadas as notas obtidas na pesquisa com usuários de praças do Rio Grande do Sul realizada em estudo prévio (Obelheiro *et al.*, 2010).

A análise dos dados apresentados na Tabela 5 permite concluir que a porcentagem de caminhões no fluxo exerce pouca influência sobre a qualidade percebida nas praças pelos usuários dos diferentes estados. Por exemplo, na pesquisa com usuários de São Paulo, em uma praça de 6 cabines e comprimento médio de fila nas cabines igual a 10 m, a nota obtida por um cenário com fluxo de tráfego composto por 10% de caminhões é igual a 4,15 (cenário 1). Para o mesmo tamanho de praça e mantido o comprimento médio de filas nas cabines, a nota apresenta um acréscimo de cerca de 18% com a alteração da composição do fluxo para 50% de veículos pesados, sendo igual a 4,89 (cenário 5). Acréscimos semelhantes são observados na comparação das notas atribuídas a estes cenários pelos demais grupos: (i) na pesquisa com usuários de Santa Catarina, o acréscimo foi de cerca de 12%; (ii) na pesquisa com usuários do Rio de Janeiro, o acréscimo foi de 9,0%; (iii) na pesquisa prévia com usuários do Rio Grande do Sul, o acréscimo foi de cerca de 10%; (iv) na pesquisa com técnicos reguladores, o acréscimo foi de 6%; e (v) na pesquisa com técnicos operadores, o acréscimo foi de cerca de 12%.

A tendência de acréscimo na nota do cenário em decorrência do aumento da porcentagem de caminhões no fluxo também pode ser verificada na comparação das notas dos cenários 4 e 8 e dos cenários 9, 10 e 15. O acréscimo na nota do cenário com o aumento da porcentagem de caminhões no fluxo se justifica pois, para um dado comprimento de fila nas cabines, o usuário prefere que essa fila seja formada por caminhões, uma vez que isso representa um menor

número de veículos em fila. Com menos veículos em fila aguardando atendimento, o tempo de espera na fila torna-se menor, aumentando a qualidade percebida pelo usuário na praça.

Tabela 5: Notas médias atribuídas aos cenários da pesquisa por diferentes grupos

Cenário	% de caminhões	Nº de cabines (n)	Comprimento de fila (m)	Notas dos Cenários segundo os diferentes grupos					
				Usuários de Praças				Técnicos	
				SC	SP	RJ	RS	Reguladores	Operadores
1	10	6	10	4,33	4,15	4,67	4,42	4,71	4,25
2	10	6	50	2,50	2,96	3,55	2,50	3,00	3,80
3	10	18	10	4,63	5,00	5,69	4,88	5,29	4,50
4	10	18	50	3,00	2,19	3,08	2,32	3,75	4,00
5	50	6	10	4,83	4,89	5,09	4,88	5,00	4,75
6	50	6	50	2,38	2,60	2,77	2,53	3,50	4,40
7	50	18	10	5,44	5,44	5,92	5,58	5,57	5,50
8	50	18	50	3,00	2,74	3,73	2,63	3,00	4,40
9	0	10	30	2,50	2,68	3,23	2,94	2,86	3,00
10	60	10	30	3,56	3,30	4,08	3,58	4,50	5,40
11	30	3	30	3,33	3,15	3,45	3,63	3,43	3,25
12	30	18	30	2,75	2,92	3,69	3,18	4,50	5,60
13	30	10	0	6,44	6,78	6,67	6,89	6,71	6,50
14	30	10	60	2,50	2,78	3,64	2,69	3,00	3,60
15	30	10	30	2,88	2,72	3,38	2,94	3,43	3,00

* resultados obtidos em estudo prévio (Obelheiro *et al.*, 2010)

A Tabela 5 também revela que as notas atribuídas aos cenários pelos diferentes grupos variam de forma expressiva com a variação do comprimento médio de fila nas cabines. Por exemplo, em uma praça de 18 cabines com fluxo composto por 10% de caminhões, a nota média atribuída por usuários de São Paulo a uma situação com comprimento médio de fila de 10 metros foi igual a 5,00 (cenário 3). Para o mesmo tamanho de praça e mantida a composição do fluxo, a nota média caiu para 2,19 com o aumento do comprimento médio de fila para 50 m (cenário 4), o que corresponde a uma redução de cerca de 56% na nota média. A redução na nota em decorrência do aumento do comprimento de fila nas cabines também foi observada para esta comparação de cenários nos resultados da pesquisa com: (i) usuários de praças de Santa Catarina (redução de cerca de 35%); (ii) usuários do Rio de Janeiro (redução de aproximadamente 46%); (iii) usuários de praças do Rio Grande do Sul (redução de cerca de 52%); (iv) técnicos reguladores (redução de 29%); e (v) técnicos operadores (redução de cerca de 11%). O efeito de redução nas notas dos cenários em decorrência de acréscimos no comprimento médio de filas nas cabines também pode ser verificado nos outros cenários testados. Observa-se que, nos resultados das pesquisas com técnicos operadores, as taxas de redução nas notas dos cenários em decorrência do aumento do comprimento de filas nas cabines são em geral inferiores àquelas verificadas nos resultados das pesquisas com os demais grupos.

Além disso, a Tabela 5 mostra que as notas atribuídas a cada cenário por usuários de praças dos estados de Santa Catarina, São Paulo e Rio Grande do Sul são bastante semelhantes. As notas atribuídas por usuários de praças do Rio de Janeiro são em geral maiores do que aquelas atribuídas pelos usuários dos demais estados.

As notas atribuídas a cada cenário por técnicos operadores são em geral maiores do que aquelas atribuídas por usuários de praças e por técnicos reguladores. Esta diferença entre as notas atribuídas por técnicos operadores e pelos demais grupos pode ser verificada nos cenários 4, 6, 8, 10 e 12. Todos os cenários acima citados são representativos de situações operacionais em que o comprimento de filas nas cabines é de no mínimo 30 m, o que indica que técnicos operadores tendem a atribuir notas maiores do que as notas dos demais grupos às situações em que as filas nas cabines são intermediárias e longas.

6. MODELAGEM DA PERCEPÇÃO DOS DIFERENTES GRUPOS

Os resultados das pesquisas foram utilizados para a obtenção de modelos que relacionaram as notas representativas da percepção da qualidade de serviço com as variáveis estudadas. Foram obtidos modelos para a percepção de usuários de praças de todos os estados pesquisados (Santa Catarina, São Paulo e Rio de Janeiro), bem como para a percepção de técnicos de agências reguladoras e técnicos de empresas concessionárias. As variáveis explicativas inicialmente consideradas na modelagem foram: (i) número de cabines na praça; (ii) comprimento médio de fila nas cabines; e (iii) porcentagem de caminhões no fluxo de tráfego. A variável dependente foi “Nota do Cenário”. Entretanto, o efeito da variável “número de cabines na praça” não se mostrou significativo em nenhum dos casos, razão pela qual a variável foi retirada dos modelos. O efeito desta variável já havia se mostrado não significativo em estudo prévio com usuários de praças do Rio Grande do Sul, apesar da variável ter sido mantida na modelagem (Obelheiro *et al.*, 2010). Para possibilitar a comparação com os modelos estimados para os demais grupos, as respostas procedentes da pesquisa prévia com usuários do Rio Grande do Sul foram utilizadas para a obtenção de um novo modelo, de forma a não incluir a variável “número de cabines” no mesmo.

Todas as modelagens foram realizadas com o uso do software StatGraphics v.15.2.06 (StatPoint, 2005), e as equações que melhor representaram os dados foram do tipo exponencial negativa, obtidas através de regressão múltipla não linear. A forma geral da equação obtida para representar a percepção de qualidade de serviço dos diferentes grupos é:

$$\text{Nota do Cenário} = 1 + 6,0 \cdot e^{-\left\{ \left(\frac{\text{FILA}}{a} \right)^b \cdot \left[1 - \left(\frac{\text{CAM}}{c} \right) \right] \right\}} \quad (1)$$

em que *FILA* representa a variável “comprimento médio de fila nas cabines” [em metros];
CAM representa a “porcentagem de caminhões no fluxo” [em valor decimal];
a, *b*, *c* são os coeficientes de ajuste do modelo encontrado para cada grupo.

As equações 2 a 7 apresentam os modelos representativos da percepção de qualidade de serviço encontrados para os diferentes grupos. O modelo representativo da percepção de usuários de praças do Rio Grande do Sul é apresentado na equação 2. Este modelo obteve coeficiente de determinação (R^2) igual a 96,2%, o que indica um ótimo ajuste aos dados.

$$\text{Nota do Cenário}_{RS} = 1 + 6,0 \cdot e^{-\left\{ \left(\frac{\text{FILA}}{26,8} \right)^{0,710} \cdot \left[1 - \left(\frac{\text{CAM}}{2,47} \right) \right] \right\}} \quad (2)$$

O modelo representativo da percepção de usuários de praças de Santa Catarina é apresentado na equação 3. Este modelo obteve coeficiente de determinação (R^2) igual a 91,0%.

$$\text{Nota do Cenário}_{SC} = 1 + 6,0 \cdot e^{-\left\{ \left(\frac{\text{FILA}}{24,2} \right)^{0,636} \cdot \left[1 - \left(\frac{\text{CAM}}{2,17} \right) \right] \right\}} \quad (3)$$

O modelo representativo da percepção de usuários de praças de São Paulo é apresentado na equação 4. Este modelo obteve coeficiente de determinação (R^2) igual a 92,2%.

$$\text{Nota do Cenário}_{SP} = 1 + 6,0 \cdot e^{-\left\{ \left(\frac{\text{FILA}}{25,2} \right)^{0,659} \cdot \left[1 - \left(\frac{\text{CAM}}{2,62} \right) \right] \right\}} \quad (4)$$

O modelo representativo da percepção de usuários de praças do Rio de Janeiro é apresentado na equação 5. Este modelo obteve coeficiente de determinação (R^2) igual a 84,0%.

$$\text{Nota do Cenário}_{RJ} = 1 + 6,0 \cdot e^{-\left\{ \left(\frac{\text{FILA}}{42,5} \right)^{0,615} \cdot \left[1 - \left(\frac{\text{CAM}}{3,22} \right) \right] \right\}} \quad (5)$$

O modelo representativo da percepção de técnicos de agências reguladoras é apresentado na equação 6. Este modelo obteve coeficiente de determinação (R^2) igual a 86,1%.

$$\text{Nota do Cenário}_{Reg} = 1 + 6,0 \cdot e^{-\left\{ \left(\frac{\text{FILA}}{38,3} \right)^{0,590} \cdot \left[1 - \left(\frac{\text{CAM}}{2,10} \right) \right] \right\}} \quad (6)$$

O modelo representativo da percepção de técnicos operadores de empresas concessionárias é apresentado na equação 7. Este modelo obteve coeficiente de determinação (R^2) igual a 60,6%.

$$\text{Nota do Cenário}_{Op} = 1 + 6,0 \cdot e^{-\left\{ \left(\frac{\text{FILA}}{51,3} \right)^{0,236} \cdot \left[1 - \left(\frac{\text{CAM}}{1,10} \right) \right] \right\}} \quad (7)$$

As equações 2 a 4 mostram que os modelos representativos da percepção dos usuários de praças do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo apresentaram coeficientes de ajuste “a”, “b” e “c” bastante semelhantes. Esta semelhança entre os coeficientes era esperada, uma vez que a análise dos resultados das pesquisas indicou similaridades entre as percepções de qualidade dos usuários destes estados acerca dos diferentes cenários testados.

As Figuras 2 e 3 apresentam a variação da nota da qualidade do serviço em decorrência de variações no comprimento médio de filas nas cabines conforme percebido pelos diferentes grupos, para composições de fluxo de tráfego distintas.

O efeito da variável “porcentagem de caminhões no fluxo” é pequeno mas significativo ao nível de 5% para o modelo do Rio Grande do Sul e ao nível de 10% para os modelos dos demais grupos. Na medida em que aumenta a porcentagem de caminhões, há uma melhora na qualidade percebida por todos os grupos. Esta melhora ocorre pois, dado um comprimento de fila, o usuário prefere que essa fila contenha caminhões, como discutido anteriormente.

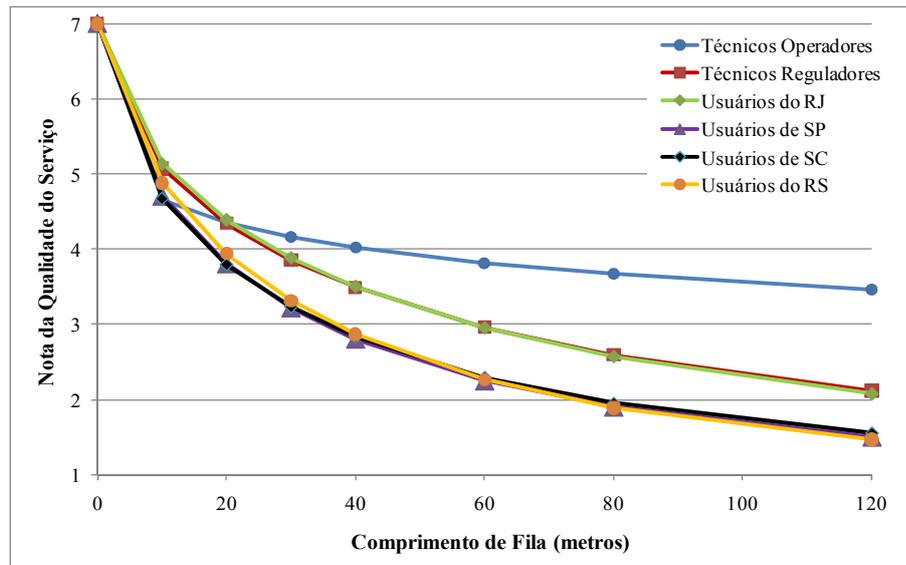


Figura 2: Efeito do comprimento de fila nas cabines sobre a nota da qualidade do serviço conforme percebido pelos diferentes grupos, para fluxos compostos por 30% de caminhões

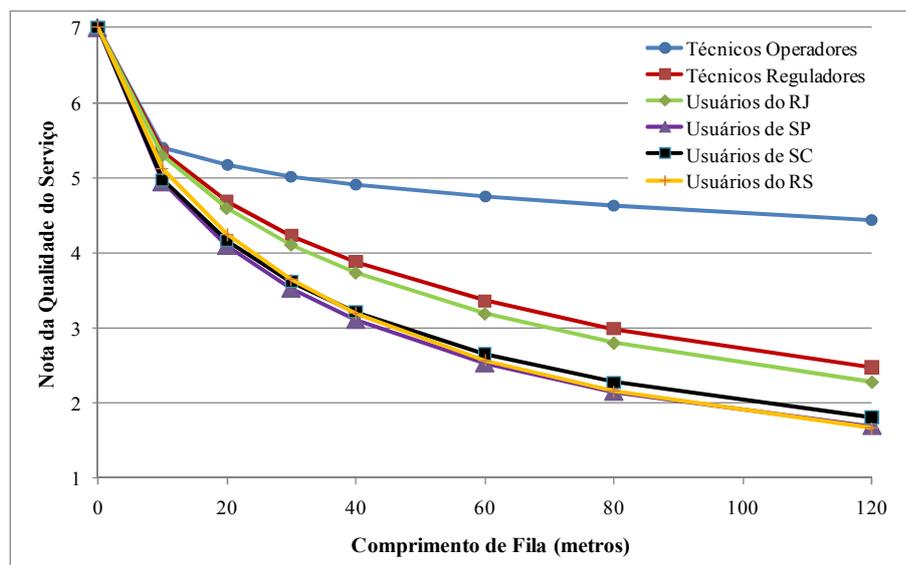


Figura 3: Efeito do comprimento de fila nas cabines sobre a nota da qualidade do serviço conforme percebido pelos diferentes grupos, para fluxos compostos por 60% de caminhões

O efeito da variável “comprimento médio de fila nas cabines” é o mais expressivo sobre as notas atribuídas aos cenários por todos os grupos. Para os usuários de praças dos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo, o efeito desta variável é bastante forte, com as notas caindo de 7 a aproximadamente 2 com o aumento das filas de 0 a 80 metros, conforme Figuras 2 e 3. Como observado nas Figuras 2 e 3, a percepção dos usuários acerca da qualidade do serviço apresenta um comportamento bastante semelhante nestes três estados. Em comparação aos usuários dos demais estados, usuários de praças do Rio de Janeiro e técnicos de agências reguladoras se mostraram mais tolerantes à presença de filas nas cabines. Para estes grupos, o aumento do comprimento de filas de 0 até 80 m leva a uma redução nas notas de 7 a cerca de 2,8, conforme Figuras 2 e 3. Técnicos de empresas concessionárias mostraram uma tolerância ainda maior às filas nas cabines. Para estes técnicos operadores, o

aumento do comprimento de filas nas cabines de 0 até 80 m causa uma redução nas notas dos cenários de 7 a cerca de 3,8 (para fluxos compostos por 30% de caminhões) e de 7 a aproximadamente 4,8 (para fluxos compostos por 60% de caminhões).

As Tabelas 6 a 8 apresentam as variações do comprimento de filas nas cabines relacionadas aos níveis de serviço de acordo com o modelo obtido para cada grupo, para diferentes composições de fluxo. As escalas representativas da percepção de técnicos operadores não apresentam alguns dos valores de comprimento de filas para os níveis de serviço “Ruim a Regular”, “Muito Ruim a Ruim” e “Péssimo a Muito Ruim”, pois os valores correspondentes a estes níveis de serviço são muito elevados, dada a maior tolerância deste grupo em relação às filas nas cabines. Os valores máximos de comprimento de fila testados nesta pesquisa correspondem a 60 metros, enquanto que os valores omitidos nas tabelas são muito maiores, correspondendo a filas com no mínimo 290 metros de comprimento. Filas com estes comprimentos tão elevados, além de dificilmente serem encontradas na prática, excederiam a área de chegada nas cabines em grande parte das praças de pedágio brasileiras.

Tabela 6: Escala de níveis de serviço para fluxos compostos por 0% de caminhões, de acordo com as percepções dos diferentes grupos

Nível de Serviço	Comprimento de fila (L metros)					
	Usuários do RS	Usuários de SC	Usuários de SP	Usuários do RJ	Técnicos Reguladores	Técnicos Operadores
Muito Bom a Excelente	$L \leq 2$	$L \leq 2$	$L \leq 2$	$L \leq 3$	$L \leq 2$	$L = 0$
Bom a Muito Bom	$2 < L \leq 8$	$2 < L \leq 6$	$2 < L \leq 6$	$3 < L \leq 10$	$2 < L \leq 8$	$0 < L \leq 1$
Regular a Bom	$8 < L \leq 16$	$6 < L \leq 14$	$6 < L \leq 14$	$10 < L \leq 23$	$8 < L \leq 21$	$1 < L \leq 11$
Ruim a Regular	$16 < L \leq 31$	$14 < L \leq 28$	$14 < L \leq 29$	$23 < L \leq 50$	$21 < L \leq 45$	$11 < L \leq 76$
Muito Ruim a Ruim	$31 < L \leq 61$	$28 < L \leq 61$	$29 < L \leq 61$	$50 < L \leq 110$	$45 < L \leq 103$	$76 < L \leq 607$
Péssimo a Muito Ruim	$L > 61$	$L > 61$	$L > 61$	$L > 110$	$L > 103$	--

Tabela 7: Escala de níveis de serviço para fluxos compostos por 30% de caminhões, de acordo com as percepções dos diferentes grupos

Nível de Serviço	Comprimento de fila (L metros)					
	Usuários do RS	Usuários de SC	Usuários de SP	Usuários do RJ	Técnicos Reguladores	Técnicos Operadores
Muito Bom a Excelente	$L \leq 3$	$L \leq 2$	$L \leq 2$	$L \leq 3$	$L \leq 3$	$L = 0$
Bom a Muito Bom	$3 < L \leq 9$	$2 < L \leq 7$	$2 < L \leq 8$	$3 < L \leq 11$	$3 < L \leq 11$	$0 < L \leq 4$
Regular a Bom	$9 < L \leq 19$	$7 < L \leq 17$	$8 < L \leq 17$	$11 < L \leq 27$	$11 < L \leq 27$	$4 < L \leq 42$
Ruim a Regular	$19 < L \leq 37$	$17 < L \leq 35$	$17 < L \leq 35$	$27 < L \leq 58$	$27 < L \leq 58$	$42 < L \leq 295$
Muito Ruim a Ruim	$37 < L \leq 73$	$35 < L \leq 76$	$35 < L \leq 73$	$58 < L \leq 129$	$58 < L \leq 134$	--
Péssimo a Muito Ruim	$L > 73$	$L > 76$	$L > 73$	$L > 129$	$L > 134$	--

As Tabelas 6 a 8 mostram que, como esperado, as escalas obtidas para usuários de praças de pedágio de Santa Catarina, São Paulo e Rio de Grande do Sul são muito semelhantes. As escalas referentes à percepção de usuários de praças do Rio de Janeiro apresentam maior tolerância em relação ao comprimento de filas nas cabines, sendo bastante semelhantes às escalas referentes à percepção de técnicos de agências reguladoras. As escalas referentes à percepção de técnicos operadores são ainda mais tolerantes em relação às filas nas cabines.

Tabela 8: Escala de níveis de serviço para fluxos compostos por 60% de caminhões, de acordo com as percepções dos diferentes grupos

Nível de Serviço	Comprimento de fila (L metros)					
	Usuários do RS	Usuários de SC	Usuários de SP	Usuários do RJ	Técnicos Reguladores	Técnicos Operadores
Muito Bom a Excelente	$L \leq 4$	$L \leq 3$	$L \leq 3$	$L \leq 4$	$L \leq 4$	$L \leq 1$
Bom a Muito Bom	$4 < L \leq 11$	$3 < L \leq 10$	$3 < L \leq 10$	$4 < L \leq 14$	$4 < L \leq 15$	$1 < L \leq 32$
Regular a Bom	$11 < L \leq 24$	$10 < L \leq 23$	$10 < L \leq 21$	$14 < L \leq 33$	$15 < L \leq 36$	$32 < L \leq 307$
Ruim a Regular	$24 < L \leq 45$	$23 < L \leq 47$	$21 < L \leq 43$	$33 < L \leq 69$	$36 < L \leq 79$	--
Muito Ruim a Ruim	$45 < L \leq 90$	$47 < L \leq 101$	$43 < L \leq 91$	$69 < L \leq 153$	$79 < L \leq 182$	--
Péssimo a Muito Ruim	$L > 90$	$L > 101$	$L > 91$	$L > 153$	$L > 182$	--

A diferença entre as escalas representativas da percepção dos diferentes grupos pode ser exemplificada através da avaliação de uma situação caracterizada por fluxo composto por 30% de caminhões e comprimento médio de filas nas cabines igual a 40m. Conforme Tabela 7, a avaliação da qualidade do serviço desta situação de acordo com os diferentes grupos seria: (i) para usuários de praças de Santa Catarina, São Paulo e Rio Grande do Sul, a situação seria avaliada como nível de serviço “Muito Ruim a Ruim”; (ii) para usuários de praças do Rio de Janeiro e técnicos reguladores, a avaliação corresponderia a nível de serviço “Ruim a Regular”; e (iii) para técnicos operadores, a situação seria avaliada como nível de serviço “Regular a Bom”.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Escalas de níveis de serviço devem descrever condições operacionais em componentes do sistema viário, representando também a percepção de usuários acerca destas condições. Para avaliar se o método de análise de níveis de serviço em praças de pedágio proposto por Obelheiro *et al.* (2010) é adequado para avaliar situações de tráfego em diferentes contextos, este trabalho buscou captar a percepção de usuários de praças de diferentes estados acerca da qualidade do serviço nestas infraestruturas.

A pesquisa qualitativa proposta no método de Obelheiro *et al.* (2010) foi aplicada junto a usuários de praças dos estados de Santa Catarina, São Paulo e Rio de Janeiro. A pesquisa também foi aplicada junto a técnicos de agências reguladoras ligadas ao governo e técnicos de empresas concessionárias responsáveis pela operação das praças. A aplicação da pesquisa junto a técnicos e usuários de praças possibilitou a comparação entre as percepções de qualidade dos diferentes agentes envolvidos no sistema de pedagiamento.

Os resultados mostraram que o comprimento médio de filas nas cabines é a variável que exerce maior influência sobre a qualidade percebida por todos os grupos pesquisados. À medida que aumentam as filas nas cabines, a qualidade percebida nas praças sofre um decréscimo acentuado.

Os resultados também indicaram que há uniformidade entre as percepções de qualidade de serviço dos usuários de praças de Santa Catarina, São Paulo e Rio Grande do Sul. Com o aumento do comprimento de fila nas cabines, há uma redução expressiva na qualidade percebida por usuários destes estados. Usuários de praças do Rio de Janeiro e técnicos de agências reguladoras se mostraram mais tolerantes à presença de filas nas cabines, atribuindo às mesmas condições operacionais avaliações melhores do que aquelas atribuídas pelos usuários de praças dos demais estados.

As avaliações atribuídas por técnicos operadores às situações de tráfego analisadas na pesquisa qualitativa foram em geral melhores do que aquelas atribuídas por usuários de praças às mesmas situações. Situações de operação caracterizadas por longas filas nas cabines são indesejáveis sob o ponto de vista do usuário, uma vez que representam maiores tempos de espera para atendimento na chegada das praças. Entretanto, sob o ponto de vista dos profissionais, estas situações operacionais podem caracterizar um maior rendimento na utilização das cabines, indicando uma operação mais eficiente da praça. As avaliações atribuídas a estas situações de tráfego por técnicos operadores indicam, portanto, uma maior tolerância destes profissionais a situações em que a operação das praças é considerada menos satisfatória sob o ponto de vista do usuário.

Desta forma, fica claro que as percepções de técnicos ligados à operação das praças e de usuários das mesmas acerca da qualidade do serviço foram distintas. Esta diferença deve ser considerada na elaboração e adoção de escalas de níveis de serviço de praças de pedágio. Escalas baseadas na percepção de técnicos ligados à operação das praças podem levar a avaliações de situações de tráfego que não correspondem à qualidade percebida pelos usuários destas infraestruturas.

A aplicação da pesquisa qualitativa proposta no método de Obelheiro *et al.* (2010) junto a usuários de praças de São Paulo, Santa Catarina e Rio de Janeiro apresentou resultados semelhantes àqueles encontrados em pesquisa prévia com usuários de praças do Rio Grande do Sul. Com base na semelhança existente entre os resultados das pesquisas, é possível concluir que o método analisado é adequado para representar a percepção dos usuários de praças destes estados na avaliação de situações de tráfego encontradas em praças de pedágio de todo o país.

Estudos futuros podem buscar avaliar a percepção de usuários de praças de pedágio de outros estados brasileiros que não foram incluídos nesta pesquisa, de forma a possibilitar a elaboração de um modelo representativo da percepção de usuários de todo o país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABCR (2010a) *Concessionárias Associadas*. Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias. São Paulo. Disponível em <<http://www.abcr.org.br/conc/index.php>>. Acessado em: 16 de março de 2010.
- ABCR (2010b) *Setor em Números*. Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias. São Paulo. Disponível em <<http://www.abcr.org.br/publi/index.php>>. Acessado em: 16 de março de 2010.
- 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.
- 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.
- Choocharukul, K.; K. Sinha e F. Mannering (2004) User Perceptions and Engineering Definitions of Highway Level of Service: An Exploratory Statistical Comparison. *Transportation Research A*, v. 38, p. 677–689.
- CNT (2009) *Pesquisa Rodoviária 2009: relatório gerencial*. Confederação Nacional do Transporte, Brasília.
- 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. In: *Traffic Technology International*. Apr.- May 2003, p. 30-35.
- Hostovsky, C.; S. Wakefield e F. L. Hall (2004) Freeway Users' Perceptions of Quality of Service: Comparison

- of Three Groups. *Transportation Research Record*, n. 1883, p. 150-157.
- 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.
- Obelheiro, M. R.; H. B. B. Cybis e J. L. D. Ribeiro (2010) Método para Análise de Níveis de Serviço em Praças de Pedágio (Não Publicado).
- Oliveira, M. L. (2009) Método para Determinação de Nível de Serviço em Praças de Pedágio. 2009. 137p. *Tese de Doutorado*, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Pécheux, K. K.; A. Flannery; A. Wochinger; J. Rephlo e L. Lappin (2004). Automobile Drivers' Perceptions of Service Quality on Urban Streets. *Transportation Research Record*, n. 1883, p. 167-175.
- Pécheux, K. K.; M. T. Pietrucha e P. P. Jovanis (2000) User Perception of Level of Service at Signalized Intersections: Methodological Issues. *Transportation Research Circular E-C018: Proceedings of the Fourth International Symposium on Highway Capacity*, TRB, p. 322-335.
- StatPoint (2005) *The User's Guide to STATGRAPHICS Centurion XV*. Virginia, EUA: Statpoint Inc.
- TRB (2000) Highway Capacity Manual (4ª. Edição) Special Report n. 209. 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 Queueing 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.
- Washburn, S. S. e D. S. Kirschner (2006) Rural Freeway Level of Service Based on Traveler Perception. *Transportation Research Record*, n. 1988, p. 31-37.
- Woo, T. H. e L. H. Hoel (1991) Toll Plaza Capacity and Level of Service. *Transportation Research Record*, v. 1320, p. 119-127.
- Zarrillo, M. L. (1998) Development and Applications of TPMODEL: A Queueing model describing Traffic Operations during Electronic Toll Collection (ETC). *Ph.D. Thesis*. University of Central Florida - UFC, Florida, USA.

Marta Rodrigues Obelheiro (marta.obelheiro@producao.ufrgs.br)

Helena Beatriz Bettella Cybis (helenabc@producao.ufrgs.br)

Laboratório de Sistemas de Transportes – LASTRAN

José Luis Duarte Ribeiro (ribeiro@producao.ufrgs.br)

Laboratório de Otimização de Produtos e Processos – LOPP

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGEP

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

Av. Osvaldo Aranha, 99 (5º andar) – Porto Alegre, RS, Brasil

5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho apresentou um método para análise de níveis de serviço em praças de pedágio brasileiras. Neste capítulo, são apresentadas as conclusões obtidas através do desenvolvimento do estudo, assim como as considerações para trabalhos futuros.

O primeiro artigo desta dissertação correspondeu à etapa inicial da pesquisa, em que estava sendo estudada a ferramenta computacional que possibilitou a elaboração dos cenários representativos de praças de pedágio utilizados em etapa posterior da pesquisa. Nesta primeira etapa, foi avaliada a possibilidade de inclusão da utilização de cobrança eletrônica de pedágio no método proposto em etapa seguinte. Uma vez que o indicador de desempenho utilizado na elaboração do método foi o comprimento médio de filas nas cabines, optou-se por representar somente cabines de cobrança manual de tarifas. O comprimento de filas nas cabines não é adequado para representar a influência da demanda sobre a qualidade percebida por usuários de cabines de cobrança eletrônica, uma vez que estes não sofrem atrasos em decorrência do tempo de espera em fila, pois não são obrigados a parar para realizar o pagamento da tarifa.

As etapas seguintes da pesquisa envolveram a elaboração e validação do método de análise de níveis de serviço em praças de pedágio proposto neste estudo. O método proposto foi elaborado a partir de mudanças metodológicas realizadas no trabalho de Oliveira (2009). Estas mudanças envolveram: (i) a modificação do indicador de desempenho utilizado no método; e (ii) a redefinição dos limites adotados para os fatores intervenientes na percepção da qualidade de serviço em praças.

Para a elaboração do método, foram levantados indicadores de desempenho operacional de praças de pedágio de acordo com a literatura existente. Como resultado, o comprimento médio de filas nas cabines (em metros) foi escolhido para representar a influência da demanda na percepção da qualidade de serviço em praças de pedágio. O comprimento de filas nas cabines (em metros) foi escolhido por estar diretamente relacionado aos atrasos vivenciados por usuários em praças de pedágio, e por apresentar maior facilidade de mensuração na prática quando comparado aos indicadores de desempenho utilizados em outros estudos.

Além do comprimento médio de filas nas cabines, os demais fatores intervenientes na percepção da qualidade de serviço adotados no método foram a composição do tráfego e o número de cabines nas praças. O tráfego nas praças de pedágio foi caracterizado pela porcentagem total de caminhões no fluxo e pela composição da categoria de caminhões, em relação às frações de caminhões leves e pesados. Os valores adotados tanto para a porcentagem de caminhões no fluxo como para a composição da categoria de caminhões foram provenientes de levantamento de dados de tráfego característicos de rodovias e praças de pedágio de diferentes estados brasileiros. O levantamento realizado indicou que a composição da categoria de caminhões se mantém a mesma em diferentes estados, enquanto que a porcentagem total de caminhões no fluxo pode variar bastante de acordo com a região analisada.

A elaboração dos modelos representativos de praças de pedágio utilizou dados provenientes de levantamento de características geométricas de praças brasileiras. Praças de pedágio podem apresentar características geométricas variadas em relação às áreas de aproximação, número de cabines e largura de faixas nas cabines de cobrança. O levantamento realizado buscou identificar, para estas características, quais os valores mais comumente encontrados em praças de pedágio brasileiras. Desta forma, as redes de tráfego foram modeladas buscando representar características geométricas frequentemente encontradas em praças de todo o país.

A pesquisa aplicada junto aos usuários e técnicos foi elaborada através de um projeto de experimentos, que resultou no delineamento de cenários para a pesquisa. A aplicação da pesquisa através da internet se mostrou bastante eficiente no levantamento da percepção de um grande número de respondentes de diversos estados brasileiros. Os resultados da pesquisa foram utilizados em modelagens que resultaram em equações do tipo exponencial negativa. As equações obtidas relacionam os três fatores usados na elaboração dos cenários com as percepções de qualidade de serviço indicadas por cada grupo na pesquisa. Os modelos obtidos respeitam os limites de contorno estabelecidos pela pesquisa, na medida em que geram valores que variam entre 1 e 7 para a qualidade percebida nas praças.

Os resultados indicaram que o comprimento de filas nas cabines é a variável que exerce maior influência sobre a qualidade percebida nas praças de pedágio por todos os grupos pesquisados. Com o aumento das filas nas cabines, a qualidade percebida nas praças sofre um

decréscimo acentuado. A composição do fluxo exerceu influência pequena, mas significativa, sobre a qualidade percebida nas praças. Com o aumento da porcentagem de caminhões no fluxo, há uma melhora na qualidade percebida nas praças. Essa melhora ocorre pois, para um dado comprimento de filas nas cabines, os usuários preferem que essa fila seja composta por caminhões, uma vez que isso representa um menor número de veículos em fila. Com menos veículos em fila aguardando atendimento, menor é o tempo de espera do usuário na fila para o pagamento da tarifa. O efeito da variável número de cabines não se mostrou significativo, sendo recomendada sua exclusão do método.

Os resultados também indicaram que há uniformidade entre a qualidade percebida por usuários de praças dos estados de Santa Catarina, São Paulo e Rio Grande do Sul. Usuários de praças do Rio de Janeiro e técnicos de agências reguladoras se mostraram mais tolerantes à presença de filas nas cabines, atribuindo às mesmas condições operacionais avaliações melhores do que aquelas atribuídas pelos usuários de praças dos demais estados.

Técnicos de empresas concessionárias se mostraram ainda mais tolerantes à presença de filas nas cabines, atribuindo avaliações melhores do que aquelas atribuídas por usuários de praças às situações operacionais analisadas na pesquisa qualitativa, especialmente às situações em que as filas nas cabines eram longas. Situações de operação caracterizadas por longas filas nas cabines são indesejáveis sob o ponto de vista do usuário, uma vez que representam maiores tempos de espera para atendimento na chegada das praças. Entretanto, sob o ponto de vista dos profissionais, estas situações operacionais podem indicar uma operação mais eficiente da praça. As avaliações atribuídas a estas situações de tráfego por técnicos operadores indicam, portanto, uma maior tolerância destes profissionais a situações em que a operação das praças é considerada menos satisfatória pelos usuários.

Os resultados indicaram, portanto, que existem diferenças expressivas entre as percepções de técnicos operadores e de usuários acerca da qualidade de serviço nas praças. Como esperado, usuários tendem a valorizar situações em que o tempo de espera em fila é menor, refletindo uma busca pelo menor atraso possível ao cruzar a praça de pedágio. A percepção de qualidade de técnicos operadores, por sua vez, parece ser influenciada por outros fatores além da sensação de conforto e conveniência vivenciada pelo usuário ao trafegar pela praça de pedágio.

A diferença verificada neste estudo entre as percepções de usuários e de técnicos operadores acerca da qualidade de serviço nas praças deve ser considerada na elaboração e adoção de escalas de níveis de serviço em praças de pedágio. Escalas baseadas na percepção de técnicos ligados à operação das praças podem levar a avaliações de situações de tráfego que não correspondem à qualidade percebida pelos usuários destas infraestruturas.

Por fim, a partir dos modelos representativos da qualidade percebida por cada grupo em praças de pedágio, foram definidas escalas de níveis de serviço utilizando o comprimento médio de filas nas cabines como indicador de desempenho. Em decorrência das diferenças observadas nas percepções de qualidade dos diferentes grupos pesquisados, e uma vez que a qualidade percebida nas praças também está relacionada à composição do fluxo, não foi possível estabelecer uma escala única para a determinação de níveis de serviço em praças de pedágio.

O *Highway Capacity Manual* (TRB, 2000) apresenta escalas de níveis de serviço em rodovias de tal modo que o nível de serviço E corresponde à capacidade da via. Desta forma, situações em que os volumes de tráfego estão abaixo da capacidade da rodovia são avaliadas com qualidade de serviço variando entre A e E, enquanto que situações com volumes de tráfego acima da capacidade são avaliadas como nível de serviço F. A definição de escalas de níveis de serviço em praças de pedágio brasileiras poderia buscar uma compatibilidade com os princípios de classificação de níveis de serviço utilizados no HCM para rodovias, uma vez que é nas rodovias que estão instaladas a grande maioria das praças brasileiras.

Entretanto, a capacidade de praças de pedágio apresenta maior variabilidade do que a capacidade de rodovias, uma vez que a capacidade das praças está diretamente relacionada aos tempos de atendimento praticados nas cabines. Os tempos de atendimento sofrem influência de diversos fatores, tais como valor da tarifa, forma de pagamento e até mesmo influência do perfil de motoristas e arrecadadores, como abordado no primeiro artigo desta dissertação. Desta forma, seguindo princípio de classificação do HCM, a associação do nível de serviço E à capacidade das praças poderia resultar em escalas de níveis de serviço de validade restrita.

Neste estudo, portanto, optou-se por elaborar escalas de níveis de serviço baseadas na qualidade percebida pelos usuários nas praças. Diferentemente do critério utilizado no HCM (TRB, 2000) para avaliação de níveis de serviço em rodovias, as escalas propostas neste

trabalho não apresentam qualquer relação entre os níveis de serviço e a capacidade das praças de pedágio. Para evitar uma possível associação errônea entre nível de serviço e capacidade de atendimento da praça de pedágio, as categorias de classificação propostas neste trabalho foram associadas a conceitos de qualidade que variam de Excelente a Péssimo.

Trabalhos futuros sobre o tema poderiam ampliar a pesquisa sobre qualidade de serviço desenvolvida neste método. Ampliações da pesquisa podem estar relacionadas: (i) ao levantamento de outros fatores intervenientes na qualidade percebida por usuários em praças, além daqueles relacionados ao tempo de espera em fila considerados neste estudo; (ii) à aplicação da pesquisa qualitativa proposta neste método junto a usuários de praças de pedágio de estados diferentes dos pesquisados neste trabalho. A aplicação da pesquisa junto a usuários de outros estados poderia resultar em levantamentos de diferentes percepções de qualidade de serviço em praças, de forma a possibilitar a elaboração de um modelo representativo da percepção de usuários de praças de todo o país.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONCESSIONÁRIAS DE RODOVIAS. São Paulo: ABCR, 2010. **Concessionárias Associadas**. Disponível em <<http://www.abcr.org.br/conc/index.php>>. Acessado em: 27 jan. 2010.

_____. São Paulo: ABCR, 2008. **Rodovias Pedagiadas Administradas pelo Governo**. Disponível em <http://www.abcr.org.br/etc/ser_pedagios.php>. Acessado em 14 mar. 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES - ANTT. **Edital de Concessão N° 001/2008**. Brasília: ANTT, 2008.

_____. **Concessões de Rodovias Federais – Segunda Etapa** (fevereiro de 2006). Brasília: ANTT, 2009. Disponível em: <<http://www.antt.gov.br/relatorios/rodoviario/Novasconcessoes2.ppt>>. Acessado em: 22 set. 2009.

_____. **3ª Etapa de Concessões Rodoviárias – Fase I** (novembro de 2008). Brasília: ANTT, 2010. Disponível em: <http://www.antt.gov.br/avisolicitacao/MinasGerais/ap94/Apresentacao_BR040_116_381.ppt>. Acessado em: 22 jan. 2010.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES – CNT. **Atlas do Transporte: 1ª Edição**. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/>>. Acessado em: 27 jan. 2010.

OLIVEIRA, M.L. **Método para Determinação de Nível de Serviço em Praças de Pedágio**. 2009. 142f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

PÉCHEUX, K.K.; FLANNERY, A.; WOCHINGER, K.; REPHLO, J.; LAPPIN, J. **Automobile drivers' perceptions of service quality on urban streets**. Transportation Research Record, 1883, Transportation Research Board, National Research Council, p. 167-175, 2004.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD – TRB. **Highway Capacity Manual - Special Report no.209.** Washington, Estados Unidos: Transportation Research Board. National Research Council, 2000.