

## UM MÉTODO DE DELIMITAÇÃO DOS NÍVEIS DE SERVIÇO COM BASE NA PERCEPÇÃO DOS USUÁRIOS

Artur Piatti Oiticica de Paiva

José Reynaldo Setti

Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de São Carlos

### RESUMO

Este artigo propõe um método para delimitar os níveis de serviço com base na percepção dos usuários cuja finalidade é permitir a adaptação paramétrica do método HCM a uma condição local. O método baseia-se na utilização de um simulador de tráfego para gerar filmes que exibem uma viagem gravada do ponto de visão do condutor. Os participantes avaliam a qualidade das viagens apresentadas por meio de uma escala contínua. A partir dos resultados da avaliação, os limites entre os níveis de serviço são determinados por regressão logística. O método foi testado em um experimento piloto e discutem-se os resultados obtidos nele, como, por exemplo, o tempo de duração e a quantidade de vídeos apropriados para compor o questionário.

### ABSTRACT

This article proposes a method to estimate thresholds for levels of service based on the user's perception of the quality of service. The aim of the study is develop a method that allow parameter's adaptation of HCM method to local areas. The proposed approach uses a traffic microsimulator to create drive-through scenarios, the traveller's opinion is collected through a continuous scale and the results are obtained by logistic regression. The method has been tested on a pilot experiment. Results such as the number and the length of the videos to be shown to respondents are discussed.

### 1. INTRODUÇÃO

O nível de serviço é medida qualitativa introduzida pelo *Highway Capacity Manual* (HCM) em sua edição de 1965 para representar a qualidade de serviço ofertada por um sistema (ou componente) viário em uma determinada condição operacional. A determinação do nível de serviço é realizada por meio de uma estratificação quantitativa de uma medida de serviço (ou conjunto de medidas) (TRB, 2010). A escolha da medida de serviço para determinar o nível de serviço é feita pelo comitê HCQS (*Highway Capacity and Quality of Service Committee*), baseando-se em pesquisas sobre o assunto e considerando as variáveis operacionais que os viajantes podem perceber (Washburn, Ramlackhan & McLeod, 2004).

Desde a edição de 1985 do HCM, o conceito de nível de serviço considera a percepção do usuário sobre a qualidade de serviço. Porém, o método de determinação do nível de serviço no modo rodoviário não acompanhou essa evolução e ainda se baseia unicamente em variáveis operacionais (TRB, 2010). A percepção do usuário sobre a qualidade de serviço seria indiretamente contemplada pelo método se cada nível de serviço representasse qualitativamente um tipo de percepção do usuário, ou seja, se as categorias denominadas pelas letras de A à F correspondessem a qualificações, como exemplo, respectivamente, ótimo, bom, razoável, ruim, péssimo e congestionado. Para *freeways* e rodovias de pista dupla, isto não ocorre, já que os limites entre os níveis de serviço de A à E foram determinados por meio de consenso entre os membros do comitê HCQS, com base na experiência profissional e opinião do corpo técnico, sem utilizar como base alguma pesquisa de opinião do usuário sobre o desempenho do componente viário (Washburn, Ramlackhan e McLeod, 2004).

Nesse contexto, um método para determinar os limites entre os níveis de serviço com base na percepção dos usuários sobre a qualidade de serviço mostra-se útil para adaptação paramétrica à condição local e para validar os limites entre os níveis de serviço para realidades diversas.

Assim, este trabalho delimita como objetivo de pesquisa a proposição de um método que, utilizando um simulador de tráfego para conceber cenários rodoviários, seja capaz de estimar os valores operacionais limites que definem os níveis de serviço com base na qualidade de serviço percebida pelos usuários. O método foi testado em um experimento piloto e os resultados obtidos estão apresentados a seguir. Vale mencionar que o método proposto pode ser aplicado em qualquer país, desde que um simulador microscópico devidamente calibrado para refletir as condições operacionais locais esteja disponível, além de ser possível utilizar o método na estimativa dos limites de nível de serviço para outros componentes do sistema viário após a adaptação do método ao componente (ou sistema) viário em consideração.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Os estudos que abordam quantitativamente a relação entre a condição de tráfego, o comportamento do motorista e a percepção do usuário sobre a qualidade de serviço diferem quanto à escala de medida usada, ao método de apresentação dos cenários escolhido, à forma de análise dos dados e ao modo de transporte analisado. Neste artigo, são discutidos trabalhos desenvolvidos para analisar a qualidade de serviço em autoestradas.

Choocharukul, Sinha e Mannering (2004) apresentaram cenários rodoviários reais que foram gravados previamente por uma câmera em perspectiva aérea. Aos participantes desse experimento foram fornecidas as descrições de cada um dos seis níveis de serviço e apresentados 12 vídeos, 2 representativos para cada nível de serviço. Após assisti-los, o respondente qualificava o cenário por meio da classificação de nível de serviço do HCM. O método de análise de dados foi através de um modelo PROBIT ordenado e os resultados sugerem que os limites especificados pelo HCM aos níveis de serviço não são próximos aos estimados com base na percepção do usuário.

Os trabalhos de Nakamura, Suzuki e Ryu (2000), Washburn e Kirschner (2006) e Papadimitriou, Mylona e Golias (2010) foram desenvolvidos para analisar o mesmo tema, mas apresentavam os cenários rodoviários sob a perspectiva do ponto de visão do motorista (*drive-through*): forma como os condutores visualizam o tráfego quando estão dirigindo.

No Japão (Nakamura, Suzuki e Ryu, 2000), um experimento em campo, no qual os participantes trafegavam em uma seção de uma via expressa enquanto a condição do fluxo era captada por uma câmera acoplada no veículo do participante e por sensores na via, foi usado para avaliar a percepção dos motoristas sobre a qualidade de serviço. Após trafegar pela seção, o motorista completava um questionário para avaliar sua impressão sobre a condição do tráfego.

Washburn e Kirschner (2006) filmaram trechos de rodovias rurais onde havia monitoramento de tráfego por sensores em diversas condições de tráfego – ainda que não tenha sido possível cobrir toda a gama de densidades. Os vídeos foram mostrados para grupos de participantes que, em seguida, respondiam um questionário que solicitava as opiniões acerca dos cenários apresentados pelos filmes. A escala utilizada era categórica ordinal de seis níveis (quantidade de níveis de serviço do HCM): muito fraco, fraco, razoável, bom, muito bom e excelente. A análise dos dados foi realizada por meio de modelo PROBIT ordenado. Os resultados mostraram que os limites encontrados foram menores do que os sugeridos pelo HCM para todos níveis de serviço. Entretanto, cabe destacar que há diferença entre a condição de entorno da rodovia, pois na abordagem de Washburn e Kirschner (2006), os cenários gravados mostravam

rodovias situadas em zona rural, enquanto que no HCM não se faz distinção entre procedimentos para rodovia rural e urbana.

Na Grécia (Papadimitriou, Mylona e Golias, 2010), foi realizado um estudo cujo objetivo era analisar a relação entre a percepção do nível de serviço e as condições de tráfego. O método adotado foi uma pesquisa de campo por meio de entrevista, para a qual motoristas que trafegavam em uma autoestrada urbana eram escolhidos aleatoriamente quando paravam em um sinal vermelho após sair do trecho de autoestrada onde o monitoramento de tráfego estava sendo realizado. O método restringiu a gama de condições operacionais às presenciadas durante a fase de coleta de dados. A avaliação da qualidade de serviço era feita por uma escala quantitativa discreta de 1 a 10. A análise dos dados foi realizada por meio de uma regressão linear por partes que utilizou como variável representativa do tráfego a razão entre o fluxo e a capacidade da via ( $v/c$ ). Na análise dos dados, foram admitidas três suposições quanto ao comportamento dos motoristas, que diferiam com relação à tolerância dos motoristas à congestionamento (baixa, média e alta tolerância). Para cada suposição, foi determinado quantos níveis de serviço são percebidos, assim como seus limites operacionais. Foi constatado que apenas dois níveis de serviço são percebidos na suposição de média e alta tolerância à congestionamento e que são percebidos três níveis de serviço ao considerar que os motoristas apresentam baixa tolerância à congestionamento.

Em nenhum desses trabalhos, uma simulação foi usada como alternativa para superar a dificuldade em replicar condições operacionais de tráfego, obter cenários em toda a gama de valores e apresentar os fatores necessários para a percepção da qualidade de serviço. Dessa constatação, surge a proposta de um método que utiliza um simulador de tráfego microscópico para gravar cenários hipotéticos. Os trabalhos de Oliveira (2009) e Obelheiro (2010) utilizam a técnica, porém na avaliação da qualidade de serviço em praças de pedágio.

### 3. MÉTODO PROPOSTO

No método proposto, a forma de representação dos cenários (as condições operacionais) é através de um filme que exibe a viagem de um veículo em uma rodovia virtual a partir do ponto de visão do motorista, gerados por meio de um simulador microscópico de tráfego. A percepção do respondente sobre o cenário é medida por meio de uma escala métrica contínua e analisam-se os resultados por meio de regressão logística. O método está dividido em 10 etapas, apresentadas na Figura 1.

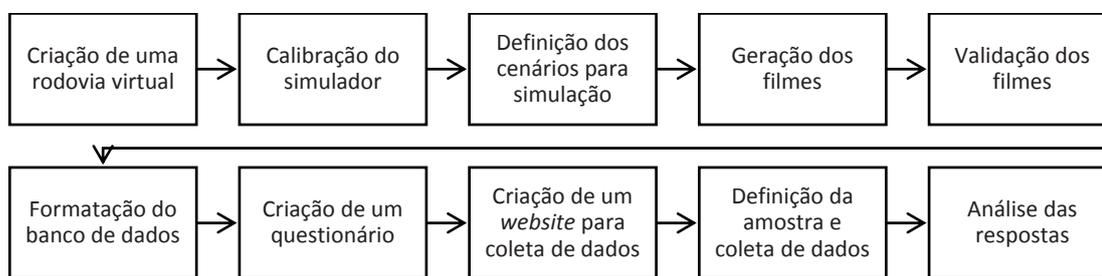


Figura 1: Sequência de etapas para aplicação do método proposto

#### 3.1. Experimento piloto

Um experimento piloto foi usado para testar a viabilidade e utilidade do método em proposição. No experimento piloto, foi implementada uma versão preliminar do método, quando algumas etapas (tais como a validação dos filmes e a formatação do banco de dados) não haviam sido

concebidas. Outras etapas, como a de calibração do simulador e de criação de um *website* para coletar respostas dos usuários, foram suprimidas devido a sua complexidade e às limitações de recursos e tempo disponíveis.

A etapa de validação dos filmes foi incluída, pois durante o acompanhamento da aplicação dos questionários notou-se que algumas variáveis não-operacionais (como clima, manobras, segurança viária ou comportamento do condutor do veículo) foram usadas como critério de avaliação. Como esses critérios não haviam sido previstos pela pesquisa, cujo objetivo era analisar o nível de serviço com base exclusivamente em variáveis operacionais, uma etapa de validação dos filmes seria importante para identificar os critérios marcantes percebidos em cada filme e selecionar para as etapas seguintes aqueles filmes com situações não-operacionais neutras, evitando a existência de ruídos na análise.

Para exemplificar essa situação, nos filmes, o clima variava simplesmente entre nuvens e nuvens com sol; porém, alguns respondentes julgaram que dirigir com tempo nublado seria pior que dirigir com sol entre nuvens. Para os pesquisadores, as duas situações seriam praticamente idênticas, mas os participantes do experimento piloto relataram que o clima havia influenciado na percepção da qualidade de serviço da rodovia virtual.

A etapa de formatação do banco de dados serviria para criar categorias no banco de dados com base nos valores das variáveis operacionais (densidade, composição do tráfego, etc.). Isso permitiria que a seleção do cenário, ainda que aleatória, ficasse condicionada a categorias específicas, assegurando que a cada avaliador sejam apresentados cenários distribuídos em toda a gama de condições operacionais de tráfego.

O experimento piloto teve também como objetivos: (1) testar o questionário concebido; (2) verificar se os respondentes são capazes de diferenciar os níveis de serviço através de filmes simulados; e (3) verificar se a forma de análise dos dados coletados é capaz de estimar os limites dos níveis de serviço. A seguir detalham-se as etapas executadas no experimento piloto.

### 3.1.1. Criação da rodovia virtual

O *software* utilizado para produzir os vídeos foi o Aimsun (v. 8.0.2). Nele, foi criado um traçado em terreno plano com características geométricas semelhantes às encontradas em rodovias de pista dupla típicas do estado de São Paulo, ou seja, uma rodovia tipo *freeway* com três faixas de rolamento por sentido, velocidade máxima permitida de 120 km/h, sem intersecção e nem acessos ao longo do trecho. A ambientação do entorno representou uma zona rural.

A corrente de tráfego foi formada unicamente por veículos de passeio e caminhões e configurou-se a via para capacidade de 2550 cpe/(h.faixa), conforme determinação de Andrade (2012) para rodovias rurais do Estado de São Paulo.

### 3.1.2. Definição dos cenários para simulação

A variação entre cada cenário se deu no quesito densidade veicular ( $k$ ) e percentual de veículos pesados ( $\%vp$ ), duas variáveis que podem impactar a percepção da qualidade de serviço.

Definiu-se para o método a utilização de seis níveis para porcentagens de caminhão (0%; 10%; 20%; 30%; 40%; e 50%) – a mesma abordagem do trabalho de Cunha (2007) – e que o número de níveis de  $k$  seria igual ao valor da densidade na capacidade da rodovia [variação em

1 cpe/(km.faixa) de 1 cpe/(km.faixa) até a densidade na capacidade]. Para o experimento piloto, entretanto, foram criados cenários apenas com 0%, 20% e 40% de caminhões e com densidade veicular variando em duas unidades, de 1 até a densidade na capacidade. Dessa forma, foram criados 35 cenários pois, conforme resultado dos sensores do Aimsun, a densidade média (por simulação) máxima obtida foi de 21 cpe/(km.faixa) para %vp igual a 0%; e de 23 cpe/(km.faixa) para 20% e 40% de caminhões.

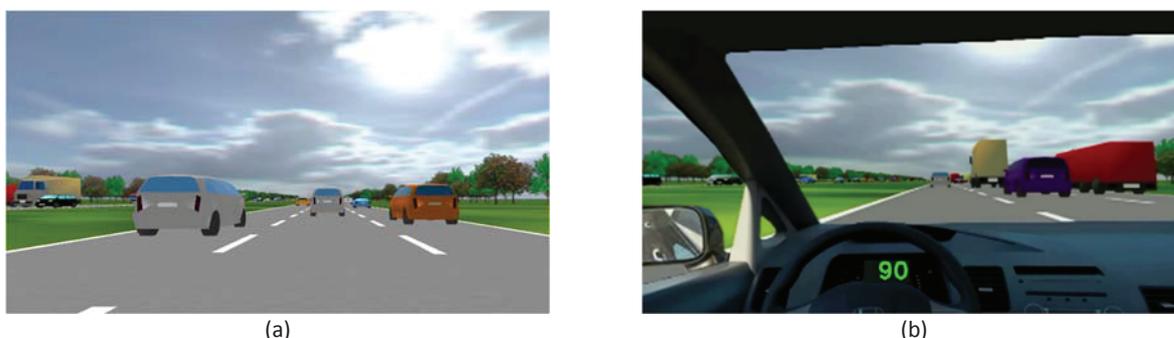
### 3.1.3. Geração dos filmes

A produção dos filmes possui três etapas: (1) determinação dos dados de entrada da simulação; (2) a gravação do cenário; e (3) a adição do painel veicular e do velocímetro digital.

No experimento piloto, para encontrar qual volume de tráfego fornecia a densidade desejada, optou-se por um método iterativo: nos dados de entrada variou-se o fluxo equivalente em 30 cpe/(h.faixa) da condição de fluxo livre até a capacidade da via em cada categoria de %vp. Para o cálculo do fluxo equivalente utilizou-se um fator de equivalência veicular entre caminhões e carros de passeio igual a 2 cpe/caminhão ( $E_T$ ). Assim, foi possível determinar quais valores de entrada forneciam a densidade desejada para a simulação.

O monitoramento das densidades veiculares ao longo do trecho foi obtido por meio de sensores de laço indutivo que foram programados para fornecer dados de médias de densidade a cada 2,5 minutos. Esse é o tempo estimado para durar a viagem de um veículo entre os dois pontos de controle da gravação da simulação (5 km) para uma velocidade em torno de 120 km/h (velocidade de fluxo livre). O ideal é que esse tempo seja igual ao determinado para durar os vídeos que serão mostrados aos avaliadores, a fim de garantir que a densidade apontada pelo sensor seja a vivenciada pelo veículo gravado.

Foram tomados cuidados para aumentar a probabilidade de o veículo selecionado para a filmagem viajar em um fluxo com densidade próxima à desejada. Para cada cenário, rodava-se a simulação até o tempo escolhido para a gravação iniciar, escolhia-se o veículo que passava no ponto de controle naquele instante, selecionava-se a câmera do ponto de visão do motorista e iniciava-se a gravação do cenário (Figura 2a). Para esse veículo, também se obtinha do simulador a série temporal de velocidades ao longo da viagem, com a finalidade de gerar o velocímetro digital. No total foram gravados 70 vídeos, 2 para cada um dos 35 cenários, um no sentido norte e outro no sentido sul. Após a gravação dos filmes, um para-brisa, um painel veicular e um velocímetro digital foram sobrepostos à imagem (Figura 2b). O velocímetro digital indicava a velocidade instantânea do veículo a cada segundo.



**Figura 2:** (a) Vídeo gerado pelo simulador, a partir do ponto de visão do motorista; (b) Vídeo preparado para aplicação do questionário, com superposição de painel, para-brisa e velocímetro digital

### 3.1.4. Criação do questionário

Foi criado um questionário para avaliar a percepção da qualidade de serviço em função da densidade e do percentual de veículos pesados. Para isso, foram definidas quais informações desejava-se coletar, a escala psicométrica que seria utilizada para coletar a resposta da avaliação para cada cenário e a estrutura do questionário em um formato que respondesse quantos vídeos seriam apresentados a cada avaliador e a duração desses. Foi escolhida uma escala contínua com marcação apenas nos extremos para coletar as respostas (Figura 3).

Para determinar o tempo adequado de duração do vídeo, usou-se um mecanismo tal que os vídeos eram apresentados em *loop* aos avaliadores, de forma que se reiniciavam ao chegar no final. O propósito era deixar os participantes livres para avaliar os filmes durante o tempo que achassem necessário.

Para verificar quantos cenários o avaliador toleraria analisar, montou-se uma estrutura que apresentava uma sequência inicial de 9 cenários (quantidade mínima definida *a priori*), para em seguida, perguntar se o avaliador estava disposto a continuar colaborando com a pesquisa. Em caso de afirmativo, um bloco com 5 cenários era apresentado, seguindo esse processo até o respondente parar de responder ou responder a todos os vídeos do banco de dados.



**Figura 3:** Escala métrica contínua presente no questionário: escolhe-se um ponto entre os dois extremos como resposta da avaliação posicionando-se o cursor no lugar desejado

### 3.1.5. Aplicação do experimento piloto

Em virtude da dificuldade de codificar um *website* para coletar os dados, escolheu-se uma plataforma de questionário *on-line* para auxiliar a coleta de dados do experimento piloto. Por permitir a inserção de mídia nas questões e um modo de seleção aleatória de questão, foi possível codificar o questionário nessa plataforma de modo análogo ao idealizado para o *website*. O público que respondeu ao questionário foi formado por 35 alunos de pós-graduação do campus de São Carlos da Universidade de São Paulo (USP).

## 4. ANÁLISE DAS RESPOSTAS DO EXPERIMENTO PILOTO

Neste tópico são discutidos os resultados obtidos durante o experimento piloto: (a) a forma de análise dos dados; (b) o tamanho do questionário e o tempo de visualização dos vídeos; (c) a densidade de tráfego *versus* sua influência na avaliação dos cenários; e (d) o processo para delimitar os níveis de serviço. Na análise dos dados, apenas a densidade foi considerada, pois a versão do simulador usada não era capaz de simular corretamente o desempenho de veículos pesados sem a instalação de um componente externo.

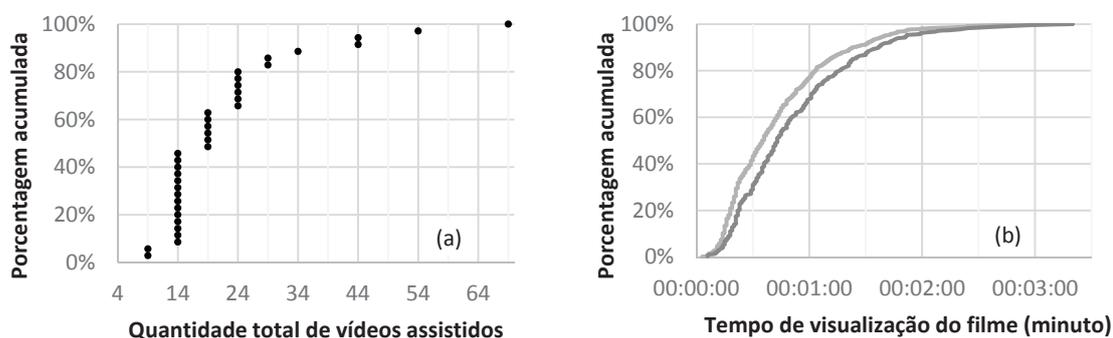
### 4.1 Análise das respostas

A amostra foi por oportunidade e 35 pessoas aceitaram responder o questionário. Ao todo, foram obtidas 773 avaliações. Para análise dos dados, as cadeias de respostas vinculadas por avaliador (ou por vídeo) foram fragmentadas de forma que cada resposta passou a constituir um elemento isolado; ou seja, a análise não considerou, de forma conjunta, o grupo de notas fornecidas a cada vídeo ou por cada avaliador, mas considerou que cada uma separadamente

seria um indivíduo na amostra. Dessa forma, por meio dos 35 respondentes foram gerados 773 elementos, onde cada elemento possuía informações sobre as características operacionais do cenário (vídeo) e a resposta (percepção) dos respondentes.

#### 4.2. Análise da extensão do questionário e da duração do vídeo

Na Figura 4a, apresenta-se a distribuição do número de cenários avaliados por cada participante. Nota-se que o número variou de 9 (mínimo), com dois casos, até 69 vídeos; a mediana foi 19 vídeos avaliados. Com base nos resultados apresentados nesse gráfico, recomenda-se que o formato final do questionário possua 14 vídeos, todos com o mesmo tempo de duração, sendo 4 para analisar a variação de resposta dada por um respondente a condições operacionais de tráfego similares e 10 para a determinação dos limites entre os níveis de serviço.



**Figura 4:** (a) Porcentagem acumulada do número de vídeos assistidos por cada participante; (b) distribuição de porcentagem acumulada do tempo de visualização dos vídeos até o participante fornecer sua avaliação. A curva clara representa a curva de probabilidade acumulada com descarte dos primeiros vídeos e a escura representa a curva com dados apenas do segundo ao nono vídeo

A Figura 4b apresenta a distribuição das porcentagens acumuladas dos tempos de visualização das simulações, com exceção dos tempos gastos na primeira análise de cada participante. O descarte dos tempos das primeiras avaliações foi motivado porque alguns participantes não entenderam as instruções apresentadas no texto do questionário (*loop*) e ficaram aguardando demasiadamente a conclusão do primeiro vídeo. Antes do segundo vídeo, o facilitador intercedeu, esclarecendo como funcionava o experimento.

Para 98% dos casos, o tempo de análise do vídeo foi menor que 2 minutos; em 76%, foi gasto até um minuto para avaliar; e em 43%, menos que 30 segundos. A mediana foi 35 segundos.

A razão para plotar a outra distribuição (2<sup>as</sup> a 9<sup>as</sup> avaliações) é que, na curva com todos os tempos, há mais casos para uns participantes do que para outros. Por isso, optou-se por analisar também uma distribuição uniforme por participante. Como o número mínimo de vídeos assistidos é nove, considerou-se apenas os tempos das segundas às nonas avaliações. Nessa, em 96% dos casos tomaram até dois minutos para responder; em 68% dos casos precisaram de menos do que 1 minuto; e em 31%, não mais que 30 segundos. A mediana foi 43 segundos.

Dessa maneira, foi possível estimar a duração mais adequada dos vídeos para compor o formato final de questionário. Assim, baseando-se na mediana optou-se por vídeos de 40 segundos de duração. Para atender as pessoas que levam mais tempo para decidir sua nota, será permitido visualizar o vídeo quantas vezes for desejado.

Não é desejado que os respondentes analisem os vídeos por pouco tempo, como ocorreu em cerca de 20% dos casos. Por isso, definiu-se como tempo mínimo de observação a visualização do filme por completo ao menos uma vez, por dois motivos. O primeiro é que a percepção no começo do vídeo pode ser diferente no final, uma vez que a distribuição de tráfego na simulação não é constante, ou seja, pode haver uma variação de densidade ao longo do trecho, pois o fluxo é aleatório. O segundo é que pode haver diferença dos critérios considerados na avaliação, caso o avaliador não assista a todos os eventos presentes no filme.

### 4.3. Impacto da densidade de tráfego na avaliação da qualidade de serviço

A finalidade desta análise foi verificar a capacidade de um vídeo simulado apresentar as informações necessárias para o respondente julgar adequadamente a qualidade do serviço oferecido na rodovia e averiguar a capacidade do respondente identificar diferenças entre cenários simulados.

Esta análise foi realizada por dois modos: (a) através da dispersão bivariada entre a variável independente percepção,  $p$ , e densidade de tráfego,  $k$ ; e (b) através da correlação entre  $p$  e  $k$ . A Figura 5 resume os resultados desta análise.

#### 4.3.1. Relação entre a percepção e a densidade da corrente de tráfego

Dando continuidade ao estudo do impacto da densidade da corrente de tráfego na avaliação dos cenários apresentados, é fundamental para validação do método que haja uma relação inversamente proporcional entre  $k$  e  $p$ .

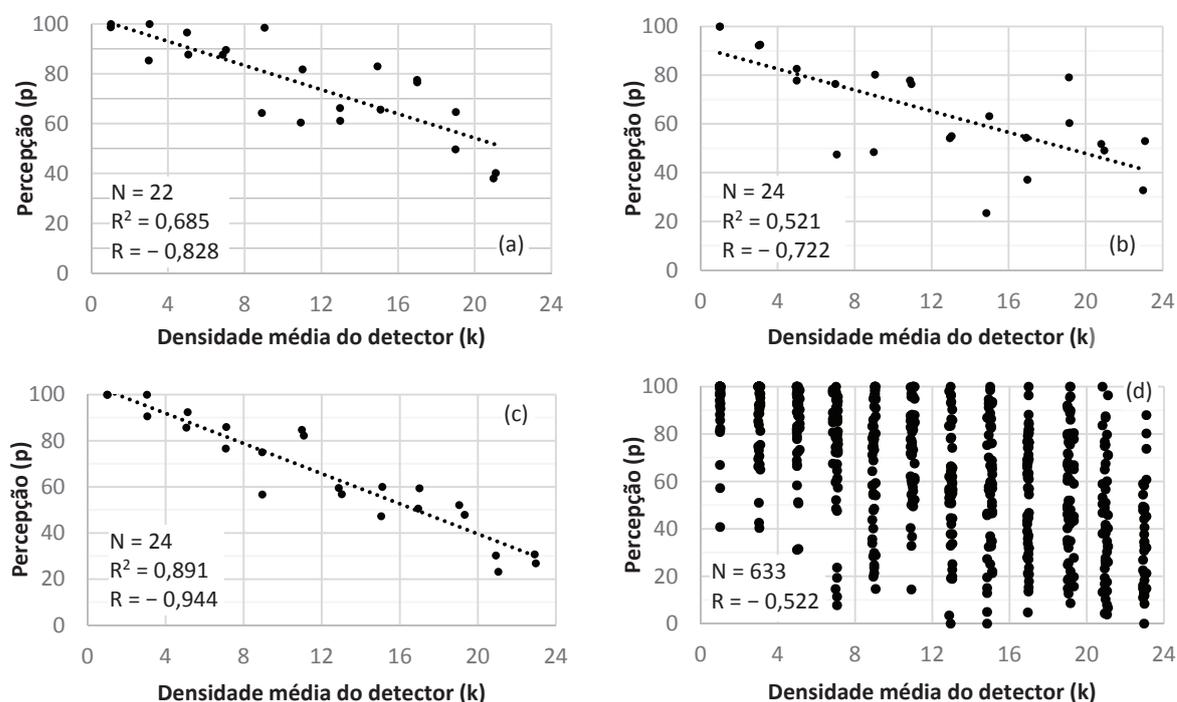


Figura 5: Relação entre a mediana de  $p$  para cada vídeo e  $k$  do vídeo, para (a) 0% de caminhões na corrente de tráfego, para (b) 20% de caminhões e para (c) 40% de caminhões; na Figura (d), dispersão de todas as respostas obtidas sem calcular a mediana e sem segmentar por categoria de caminhão

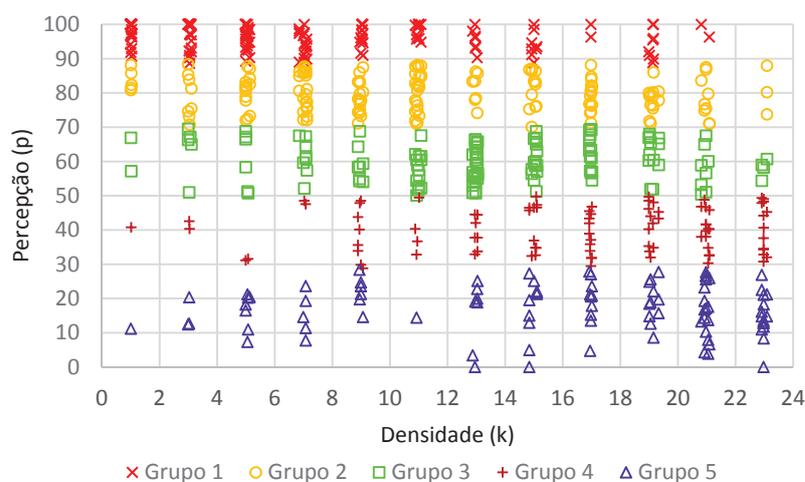
Para isto, foram criados gráficos que apresentam a dispersão de valores entre a  $k$  média (entre carros e caminhões para o instante da gravação) medida no detector e  $p$ . É perceptível, através

da análise dos gráficos, que existe uma relação inversamente proporcional entre  $p$  e  $k$ . A linha de tendência e os coeficientes de correlação e de determinação comprovam a correlação negativa entre essas duas variáveis. Para quantificar essa relação, calculou-se a correlação entre  $p$  e  $k$  e o valor encontrado foi  $-0,522$ , com significância menor que  $0,001$  (Figura 5d). Os demais gráficos apresentam as avaliações segmentadas por %vp (a: 0%; b: 20%; e c: 40%) e consideram no eixo das ordenadas a mediana (para cada vídeo) de  $p$ .

Quanto às observações atípicas (*outliers*), elas podem ocorrer por causas tais como: (a) o respondente teve dificuldade em usar a escala de resposta do questionário, fornecendo uma resposta diferente da pretendida; (b) o avaliador penalizou um evento do vídeo assistido de forma mais severa que os demais respondentes; (c) o julgamento do vídeo baseou-se em um critério não utilizado pelos demais avaliadores; (d) o respondente é incapaz de diferenciar os cenários simulados; ou (e) o respondente contraria o senso comum. Foram aplicados métodos de identificação de respostas inconsistentes [métodos do escores padrão e diagrama em caixa (*box-plot*)] para analisar o seu efeito e constatou-se que nenhum caso identificado como resíduo ‘estudentizado’ da regressão logística havia sido identificado como observação atípica. Assim, percebe-se que não há necessidade de eliminar as informações discrepantes, uma vez que a técnica multivariada escolhida para processar os dados utiliza a probabilidade de ocorrência de um evento e as observações atípicas têm baixa probabilidade de ocorrer.

O processo proposto para determinar os limiares dos níveis de serviço utiliza uma regressão logística binomial simples. Como a técnica de regressão logística usa como variável dependente dados binários e como variável independente dados contínuos ou categóricos, foi necessário discretizar a variável dependente  $p$ , uma vez que ela foi obtida por meio de uma escala contínua.

Para a discretização, propõe-se o uso do método de agrupamento de dados (*cluster k-means*). O cluster calcula as medidas de similaridade entre os casos coletados baseando-se na variável  $p$ , gerando 5 grupos (quantidade definida *a priori* por ser o número de níveis de serviço em fluxo não-congestionado). Na Figura 6, pode-se observar a dispersão dos casos observados e seu respectivo agrupamento definido pelo *cluster*. Na Figura 7, apresenta-se a distribuição de frequência em função da densidade para cada grupo.



**Figura 6:** Resultado encontrado para o agrupamento k-means em 5 níveis, baseado na medida percepção da qualidade de serviço

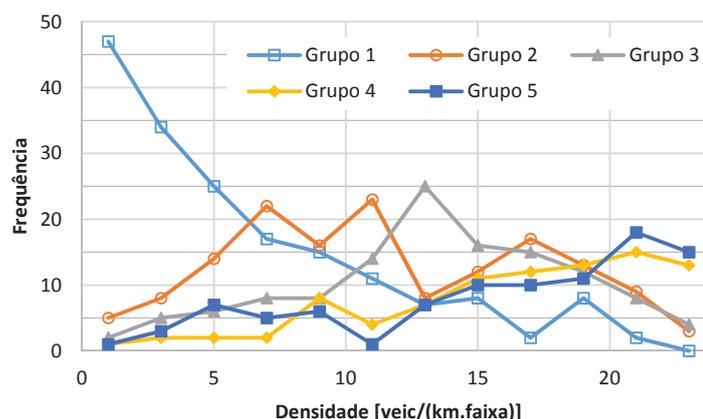
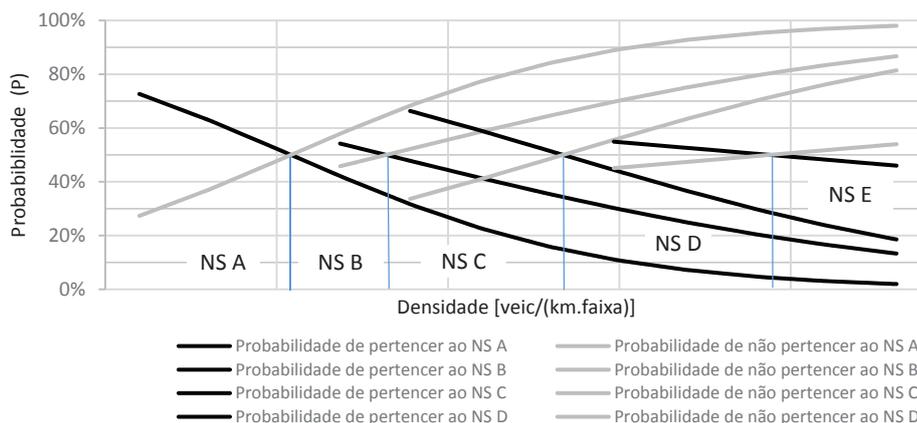


Figura 7: Histograma da densidade para os clusters baseados na percepção da qualidade de serviço

A partir desses dados, é possível criar funções logísticas para obter os limiares dos níveis de serviço. O esquema proposto possui os seguintes passos:

1. Criar uma variável binária em que os casos do primeiro grupo (Grupo 1) tem valor 1 e os demais casos (Grupo 2 a 5) tem valor 0;
2. Calcula-se a probabilidade estimada ( $P$ ) de um indivíduo pertencer ao grupo em questão (Grupo  $i$ ), considerando como variável independente a densidade  $k$  e como variável dependente a variável binária;
3. Calcula-se a probabilidade estimada de um indivíduo não pertencer ao Grupo  $i$ , ou seja, a probabilidade complementar ( $1-P$ );
4. Eliminam-se todos os casos do Grupo  $i$  e os casos que possuem valor da variável independente  $k$  menores que o valor do ponto de corte (intersecção entre a curva de probabilidade estimada e a sua complementar);
5. A variável binária passa a ter como valores 1 os indivíduos do Grupo  $i+1$  e os indivíduos dos demais grupos continuam com o valor 0;
6. Repete-se o passo 2 e o passo 3, de obtenção das probabilidades; e o passo 4, sendo neste passo eliminados os casos do grupo em questão, o Grupo  $i+1$ , e com densidade menor que o novo ponto de corte;
7. Continua-se o processo até que a variável binária seja formada pelos casos do penúltimo grupo (com valor de 1) e do último grupo (com valor de 0), respectivamente, o Grupo 4 e o Grupo 5.

A Figura 8 ilustra o resultado do método, apontando os pontos de corte entre os grupos. Os pontos de corte entre os grupos são considerados como os limites estimados entre os níveis de serviço. Os valores do eixo das abscissas foram omitidos, pois o simulador não estava calibrado a uma condição operacional brasileira. Outro ponto que motivou a omissão é referente ao tamanho da amostra do experimento piloto, pequena e restrita; útil, portanto, apenas para testar a viabilidade do método.



**Figura 8:** Funções logísticas e suas complementares que estimam a probabilidade de elementos, com uma densidade específica, pertencer ou não a um dado nível de serviço. Pela falta de calibração, os valores do eixo horizontal foram omitidos.

Por meio do experimento piloto, notou-se que a regressão logística foi adequada para alcançar o objetivo da pesquisa, sendo útil para a análise de dados provenientes de avaliação subjetiva com presença de *outliers* e de ruídos na distribuição. Entretanto, para diminuir a incidência dos ruídos causados por outra variável operacional sobre a percepção da qualidade dos cenários, sugere-se a execução da etapa de formatação do banco de dados.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo limitou-se a questões relacionadas ao método proposto, pois o simulador de tráfego usado no experimento piloto não estava calibrado às condições de tráfego do Brasil e mostrou-se incapaz de representar o desempenho veicular da frota pesada. Assim, a fim de estimar os limites entre os níveis de serviço como percebidos pelos usuários brasileiros, sugere-se a aplicação do método proposto gerando os vídeos através de um simulador microscópico de tráfego, já calibrado e validado para representar a configuração de veículos pesados e as condições de tráfego brasileiras.

O método propõe a apresentação de cenários através de vídeos de 40 segundos de duração, sendo permitido assistir aos vídeos quantas vezes for desejado. Além disso, para todos os avaliadores devem ser mostrados 14 filmes, 10 para a análise da percepção do usuário sobre a qualidade de serviço e os demais para estudar a variação de resposta fornecida a duas condições de tráfego similares por um mesmo respondente.

O experimento piloto demonstrou que existe uma correlação entre a densidade e a percepção que os respondentes tiveram sobre a qualidade de serviço mostrada através dos vídeos gerados a partir de uma câmera que gravava o campo de visão do motorista da simulação. Verificou-se ainda que uma regressão logística simples serve para delimitar os níveis de serviço em função da densidade da corrente de tráfego.

### Agradecimentos

Os autores agradecem as contribuições dadas à pesquisa pelos professores Cira Pitombo e André Cunha e pelos colegas do grupo de pesquisa Fernando Piva, José Elievam Bessa Jr. e Felipe Bethônico. Agradecem também à CAPES e ao CNPq, pelo auxílio financeiro sob a forma de bolsas de estudo e de produtividade em pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, G. R. (2012). *Capacidade e relação fluxo-velocidade em autoestradas e rodovias de pista dupla paulistas*. São Carlos, SP: Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Choocharukul, K., Sinha, K. C., & Mannering, F. L. (2004). User perceptions and engineering definitions of highway level of service: an exploratory statistical comparison. *Transportation Research Part A* 38, pp. 677-689.
- Cunha, A. L. (2007). *Avaliação do impacto da medida de desempenho no equivalente veicular de caminhões*. São Carlos, SP: Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Hair Jr, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L., & Black, W. C. (2005). *Análise multivariada de dados* (5ª ed.). (A. S. Sant'Anna & A. Chaves Neto, Trans.) Porto Alegre, RS, Brasil: Bookman.
- Nakamura, H., Suzuki, K., & Ryu, S. (2000). Analysis of the interrelationship among traffic flow conditions, driving behavior, and degree of driver's satisfaction on rural motorways. *Transportation Research Circular E-C018: Proceedings of the Fourth International Symposium on Highway Capacity*, pp. 42-52.
- Obelheiro, M. R. (2010). *Método de análise de níveis de serviço em praças de pedágio brasileiras*. Porto Alegre, RS, Brasil: Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Oliveira, M. L. (2009). *Método para determinação de nível de serviço em praças de pedágio*. 137p. Porto Alegre: Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Papadimitriou, E., Mylona, V., & Golias, J. (2010). Perceived level of service, driver, and traffic characteristics: piecewise linear model. *Journal of Transportation Engineering*, 136(10), 887-894.
- TRB. (2010). *Highway Capacity Manual* (5ª ed., Vol. 1). Washington D.C.
- Washburn, S. S., & Kirschner, D. S. (2006). Rural freeway level of service based on traveler perception. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* (Nº 1988), pp. 31-37.
- Washburn, S. S., Ramlackhan, K., & McLeod, D. S. (2004). Quality-of-service perceptions by rural freeway travelers: exploratory analysis. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*(Nº 1883), pp. 132-139.

---

Artur Piatti Oiticica de Paiva (a.piattidepaiva@yahoo.com)

José Reynaldo Setti (jrasetti@usp.br)

Departamento de Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo  
Av. Trabalhador São-carlense, 400 – São Carlos, SP, Brasil 13566-590