

# **SELECIONANDO INDICADORES DE DESEMPENHO PARA PRAÇAS DE PEDÁGIO**

**Marcelo Leismann de Oliveira**

**Felipe Brum de Brito Sousa**

**Helena Beatriz Bettella Cybis**

Laboratório de Sistemas de Transportes – LASTRAN

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGEP

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

## **RESUMO**

Este trabalho apresenta um mecanismo de seleção de indicadores de desempenho visando análises operacionais em praças de pedágio. Os indicadores em avaliação foram obtidos através de revisão bibliográfica e pesquisa, considerando o estado da prática brasileira. Características de qualificação de indicadores serão utilizadas para julgamento, de forma a classificá-los em ordem de importância. Após a avaliação, os indicadores com maiores índices foram “nível de utilização das cabines”, seguido por “tamanho de fila máxima nas cabines”, “tempo máximo de espera na fila” e “tempos de atendimento de veículos”. A utilização conjunta de dois ou mais indicadores pode fornecer importante informação para análises operacionais e a definição de escalas para níveis de serviço, avaliando-se tanto a operacionalidade da praça, como também fatores de tráfego, e o inconveniente percebido pelos usuários quando enfrentam diferentes situações de tráfego.

## **ABSTRACT**

This paper presents a mechanism for selection measures of efficiency for operational analysis in toll plazas. The measures of efficiency to be evaluated were obtained through bibliographical review and research considering the Brazilian state of practice. Qualification characteristics are used for judgment and classification of measures of efficiency in order of importance. According to the evaluation, the measure of efficiency with higher indices were "level of utilization of tollbooths", "maximum length of queue in tollbooths", "maximum waiting times in queue" and "vehicle's service times". The conjoint utilization of two or more measures of efficiency can supply important information for operational analysis and the definition of scales for levels of service, evaluating operational efficiency of the plaza also traffic factors and the inconvenient perceived by the drivers when facing different situations of traffic.

## **1. INTRODUÇÃO**

Com a transferência da administração de rodovias para a iniciativa privada, ocorreu um aumento no número de praças de pedágio implantadas nas rodovias concedidas brasileiras. Atualmente existem 201 praças de pedágio nas rodovias brasileiras (ABCR, 2007a). Concessionárias filiadas a ABCR - Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias - administram 175 praças de pedágio nos estados do Espírito Santo (2), Bahia (1), Minas Gerais (3), Rio de Janeiro (20), São Paulo (88), Paraná (27) e Rio Grande do Sul (34) (ABCR, 2007a). O poder público administra 26 praças de pedágio, distribuídas nos estados de São Paulo (19), Rio Grande do Sul (3), Ceará (1) e Mato Grosso do Sul (3) (ABCR, 2007b). A ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres – estima ainda que serão repassados 2600 quilômetros de rodovias para a administração privada, e implantadas mais 36 praças, com a segunda etapa do Programa de Concessões Federais (ANTT, 2007).

Sob o ponto de vista de engenharia de tráfego, uma praça de pedágio atua como um gargalo ao fluxo normal de tráfego nas rodovias, já que todos os veículos devem desacelerar e a maioria deve parar para realizar o pagamento das tarifas. O congestionamento ocasionado em períodos de pico de tráfego está ligado diretamente à relação entre a oferta e demanda de serviço nas praças, e atrasos gerados por elas podem ser indicativos para a adoção de medidas alternativas de projeto e operação (Lin e Su, 1994). Medidas alternativas de projeto e operação estão relacionadas diretamente com estratégias de análise do comportamento do

fluxo de tráfego nas praças, e com estimativas de parâmetros operacionais e escalas de níveis de serviço ligados a eles.

Parâmetros operacionais são aqueles indicadores de desempenho (medidas de eficiência) que captam quantitativamente as características de operação de tráfego. Exemplos de indicadores são: (i) atrasos, (ii) relação entre volume e capacidade (V/C) e (iii) tamanho de filas nas cabines. Algumas destes indicadores fazem parte dos contratos de concessão rodoviária no Brasil (Oliveira e Cybis, 2006).

A avaliação do nível de serviço para praças de pedágio, por sua vez, ainda não foi formalmente definida no *Highway Capacity Manual 2000* (Kittelson e Roess, 2001). Devido a este fato, estudos sobre o tema divergem com relação aos indicadores de desempenho que melhor caracterizam o funcionamento destas infra-estruturas.

Este artigo apresenta um mecanismo para avaliação da adequação de indicadores de desempenho para análises de praças de pedágio. O atendimento em praças de pedágio será enquadrado como um serviço prestado, abrangendo sua qualidade, processos funcionais e indicadores. Os indicadores em avaliação neste estudo foram obtidos através de revisão bibliográfica e pesquisa, considerando o estado da prática brasileira. Serão analisados todos os indicadores obtidos, tanto aqueles úteis para avaliações exclusivamente operacionais, quanto àqueles que podem colaborar na obtenção de escalas de níveis de serviço. Características de qualificação de indicadores serão utilizadas para julgamento, de forma a classificá-los em ordem de importância.

## **2. INDICADORES DE DESEMPENHO**

Em função de sua natureza, a atividade de transportes é considerada um serviço. A produção e o consumo da atividade de transporte são coincidentes, o produto resultante da atividade não pode ser estocado e o cliente participa de sua produção (Ortúzar e Willumsen, 1990). Da mesma forma, a atividade desenvolvida em uma praça de pedágio pode ser medida através de mecanismos utilizados para avaliar o desempenho de um serviço.

Uma maneira objetiva e sistêmica de acompanhamento e controle dos atributos componentes dos transportes consiste na utilização de indicadores. Segundo Rummler e Brache (1994), servem de base para: comunicar as expectativas de desempenho esperadas; identificar falhas no desempenho e; fornecer *feedback* para comparar seu desempenho a um padrão. Em outras palavras, os indicadores servem como termômetros para premiar as melhores performances e punir as deficientes, incentivando a competição (Aragão *et al.*, 2000).

Assim, os indicadores são índices numéricos estabelecidos sobre os efeitos de cada processo para medir o desempenho, sendo ferramentas valiosas nesse contexto (Müller, 2003). Um sistema de análise de desempenho não é simplesmente a coleta de dados para verificar se um produto ou serviço atingiu o padrão pré-definido, mas sim um sistema global de gerenciamento, que também envolve prevenção e detecção, visando alcançar conformidades destes produtos ou serviços de acordo com o desejo de clientes/usuários (Jagdev *et al.*, 2004).

A análise do serviço deve ser baseada em um número limitado de indicadores de grande abrangência (Downs, 1988 *apud* Costa *et al.*, 2001). Da mesma forma, o processo de seleção e ponderação de indicadores precisa ter caráter dinâmico, considerando os diferentes objetivos e os anseios dos usuários dos sistemas de transportes (Lindau *et al.*, 2001). Os objetivos

envolvem as análises (i) das percepções do inconveniente causado aos usuários devido a situações de tráfego, e (ii) operacionais da própria concessionária.

### **2.1. Estado da Arte de Indicadores de Desempenho para Praças de Pedágio**

O desempenho e a qualidade de serviço mensurada por um indicador podem ser comparados com valores de padrões pré-fixados ou com medições anteriores do mesmo indicador. Neste sentido surge o conceito de nível de serviço (TRB, 2003). O conceito de nível de serviço foi originalmente desenvolvido em 1965 no *Highway Capacity Manual*, e divide o desempenho de um indicador em 6 classes, onde cada classe é identificada por uma letra, de “A” (mais alta qualidade) a “F” (mais baixa qualidade). O nível de serviço deve medir o ponto de vista dos usuários e não do operador de transporte.

Praças de pedágio devem ser analisadas, como qualquer outra infraestrutura de transportes, quanto à qualidade de serviço oferecido aos usuários. O HCM-2000 e a bibliografia não apresentam metodologia tacitamente aceita para este fim, por este motivo estudos que buscam analisar praças divergem com relação a métodos e indicadores de desempenho utilizados.

Em estudo pioneiro sobre a operação e otimização da coleta manual de pedágios, Edie (1954) utiliza, como indicador de desempenho, atrasos médios por veículo e fila máxima nas cabines como critério para avaliação do desempenho operacional de praças de pedágio.

O atraso total gerado pelas praças foi utilizado como indicador de desempenho na definição de níveis de serviço por Zarrillo (1998), Polus (1996) e Gulewicz e Danko (1995). Considera-se atraso total, neste caso, a soma dos atrasos sofridos por todos os veículos, que são obrigados a praticar velocidades inferiores, devido à presença da praça de pedágio no sistema. Burris e Hildebrand (1996) utilizaram comprimento médio de fila e tempo médio no sistema como indicadores de desempenho para avaliar o desempenho de praças. Outro possível indicador é o tempo de espera do usuário na fila para pagamento (Wanisubut, 1989 e Nielsten, 1988 *apud* Zarrillo, 1998).

O atraso médio por veículo, gerado pelas paradas nas filas, também foi utilizado como indicador de desempenho para avaliar a operação de praças por Fan e Saito (1998). Como indicado por Schaufler (1997), o tamanho das filas e os atrasos são utilizados por diversas agências de transportes norte-americanas como indicadores de desempenho para avaliar alternativas de planejamento e projeto para praças de pedágio.

Al-Deek e Radwan (1995) sugerem um sistema para avaliação do nível de serviço nas praças, com cobrança eletrônica de pedágios, baseado em vários indicadores incluindo o tempo médio de espera por veículo e relação volume-capacidade (V/C). Assim como Woo e Hoel (1991), que sugerem que a relação volume-capacidade, agregada para todas as cabines da praça, pode ser utilizada para classificar o nível de serviço.

O indicador de desempenho comumente utilizado para determinação do nível de serviço em rodovias e interseções é a relação volume-capacidade (TRB, 2000). Lin e Su (1994) acrescentam que, para praças de pedágio, a relação volume-capacidade (V/C) é mais fácil de ser obtida em campo do que outros indicadores.

A relação volume-capacidade (V/C) foi largamente utilizada para determinação do nível de serviço nas praças. Porém, Zarrillo (2000) contesta que a relação volume-capacidade (V/C) é

inadequada para avaliação de praças de pedágio, pois a capacidade é dependente de fatores humanos que influenciam no tempo de atendimento e escolha da forma de pagamento, portanto muito variável. Oliveira *et al.* (2003) também realizaram estudo sobre a influência de fatores humanos (motoristas e arrecadadores) nos tempos de atendimento e capacidades de processamento nas cabines, chegando a conclusão de que estes fatores não devem ser desprezados em análises de capacidade em praças de pedágio.

Em estudo mais recente, Klodzinski e Al-Deek (2002) propõem uma avaliação do nível de serviço baseado na formação de grupos de veículos que sofreram o mesmo atraso individual acumulado (em segundos). De acordo com o estudo, o atraso experimentado por 85% do total de veículos que atravessam a praça pode ser tomado como indicador de desempenho na determinação do nível de serviço geral da praça em estudo.

Em trabalho desenvolvido por Horn (2003), são utilizados indicadores de desempenho genéricos para praças de pedágio, correspondentes, em sua maioria, a indicadores provenientes do micro-simulador de tráfego, já que praças são simuladas em conjunto com rodovias e entornos. Para praças, os indicadores de desempenho escolhidos são apresentados por cabine de atendimento.

A tabela 1 apresenta um resumo, e os respectivos níveis de agregação, de alguns indicadores de desempenho encontrados na literatura quando da avaliação de praças de pedágio.

**Tabela 1:** Indicadores de desempenho para praças de pedágio encontrados na literatura

<b>Estudos</b>	<b>Indicadores de Desempenho</b>	<b>Nível de Agregação</b>
Edie (1954)	Atraso Médio; e Fila Máxima	Individual por veículo; e por cabine da praça
Wanisubut (1989) e Nielsten (1988) <i>apud</i> Zarrillo (1998);	Tempo de Espera na Fila	Individual por veículo
Woo e Hoel (1991)	Relação Volume-Capacidade (V/C)	Agregado para toda a praça
Burris e Hildebrand (1996) e Lin e Su (1994)	Comprimento Médio de Fila; e Tempo Médio no Sistema	Por cabine; e Individual por veículo
Gulewicz e Danko (1995)	Comprimento de Fila; e Tempo de Espera Médio	Individual por cabine
Al-Deek e Radwan (1995)	Tempo Médio de Espera na Fila; e Relação Volume-Capacidade (V/C)	Individual por veículo; e (V/C) agregado para toda a praça
Morin <i>et al.</i> (1996)	Comprimento de Filas; e Tempos de Espera	Por cabine; e para cada forma de coleta de pedágio (incluindo <i>mix</i> de formas)
Polus (1996)	Atraso Total	Agregado para toda a praça
Zarrillo (1998)	Atrasos; Tamanho de Fila Máxima	Agregado para toda a praça ou por cabine; e por cabine.
Fan e Saito (1998)	Atraso Médio de Parada nas Filas	Individual por veículo
Van Dijk <i>et al.</i> (1999)	Tempos de Espera; Tamanho de Fila Máxima; e Nível de Utilização das Cabines	Agregado para toda a praça; separado por intervalos; por cabine - (%) de utilização das cabines
Astarita <i>et al.</i> (2001)	Capacidade de Processamento da praça; Atraso Médio; e Nível de Utilização das Cabines	Agregado para toda a praça; atraso médio de cada veículo; por cabine - (%) de utilização das cabines
Klodzinski e Al-Deek (2002)	Atraso Individual Acumulado	Individual por veículo
Horn (2003)	Velocidades, Volume, atraso, Filas, Número de troca de Pistas, Consumo de Combustível e Emissão de Poluentes	Individual por cabine para cada praça de pedágio simulada

Nota-se que a relação volume-capacidade (V/C) foi medida utilizada na verificação do funcionamento de praças em trabalhos mais antigos, revelando a tentativa de adaptação de métodos já existentes no HCM para análises de praças de pedágio.

O indicador de desempenho mais freqüentemente encontrado nos trabalhos levantados nesta revisão bibliográfica foi o tempo de espera na fila, aparecendo em cinco trabalhos. Atraso médio por veículo, fila máxima observada e comprimento médio de fila foram indicadores também encontrados com freqüência, sendo sugeridos em três dos dezesseis trabalhos levantados. Indicadores de desempenho que apresentaram duas observações cada são: (i) atrasos totais; (ii) nível de utilização das cabines e (iii) a relação volume-capacidade. E, por último, com uma observação cada, estão os indicadores: (i) tempo médio no sistema e (ii) atraso individual acumulado. Destacando que autores podem apresentar, em um mesmo trabalho, vários indicadores de desempenho.

Existem algumas considerações quando tratamos de indicadores de desempenho relacionados a atrasos. Em praças de pedágio existem três principais atrasos: (i) aqueles que são sofridos pelos veículos devido às filas nas cabines, (ii) aqueles que são resultados da diferença de velocidades devido à presença da praça de pedágio no sistema, ou seja, diferença entre o tempo gasto para percorrer a mesma seção de rodovia com e sem a praça de pedágio, e (iii) atrasos vivenciados pelos veículos quando executando o pagamento de tarifas. Atrasos totais ou acumulados seriam aqueles atrasos onde estão somados todos os atrasos vivenciados pelos veículos no sistema de pedagiamento, com desacelerações, espera na fila, tempo para atendimento e reaceleração para retomada de velocidade.

## **2.2. Estado da Prática sobre Indicadores de Desempenho para Praças de Pedágio**

Oliveira e Cybis (2006) realizaram estudo qualitativo/quantitativo sobre o estado da prática brasileira a respeito de indicadores de desempenho para praças de pedágio. Enviaram pesquisa a todos os gerentes operacionais de concessionárias filiadas a ABCR - Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias. As respostas obtidas conseguiram englobar um terço do total de concessionárias pesquisadas. As concessionárias que responderam ao questionário são responsáveis por 2667 quilômetros de rodovias concedidas, 46 praças de pedágio em 5 estados e os maiores VDMs observados em trechos sob concessão.

Os indicadores que mais apareceram em contratos daquelas concessões pesquisadas, de acordo com seus gerentes operacionais, são o “tempo máximo de espera na fila” e o “tempo de atendimento de veículos”, com seis observações cada. A revisão bibliográfica apresenta o “tempo máximo de espera na fila” como indicador de desempenho mais utilizado dentre os trabalhos levantados sobre praças de pedágio. O “tempo de atendimento de veículos” nas cabines não foi observado na literatura.

O “tamanho de fila máxima nas cabines” apresentou quatro observações, e o “tempo médio de espera na fila” foi informado pertencer a um contrato de concessão.

Oliveira e Cybis (2006) também realizaram levantamento a respeito de alterações contratuais envolvendo indicadores de desempenho. Todos os gerentes operacionais pesquisados informaram que não ocorreram modificações em seus contratos de concessão, no que diz respeito a alterações ou adoção de indicadores para praças de pedágio. Uma exceção foi verificada, onde ocorreram mudanças nos limites originalmente estabelecidos para tempos máximos de espera na fila, além de incorporação de indicador novo: “tempos de atendimento nas cabines”.

Foi realizado levantamento sobre utilização de indicadores de desempenho diferentes daquelas previstos em contrato, e as respostas foram muito variadas, ficando a confiabilidade

destas bastante limitada, de acordo com Oliveira e Cybis (2006). Porém, dois indicadores mereceram destaque: “número de reclamações” e “nível de utilização das cabines”.

O “número de reclamação”, apesar de não ser um indicador de desempenho para praças de pedágio, pode fornecer indicativos sobre o processamento do fluxo de tráfego nas praças quando motoristas vivenciam altos atrasos com filas longas. Já o “nível de utilização das cabines”, que possui duas observações na literatura, não é indicador diretamente relacionado à verificação de níveis de serviço, contudo pode ser utilizado como indicador de desempenho na formação de estratégias operacionais de aberturas de cabines. Este mede a porcentagem de fluxo de tráfego processado por cabine em determinado intervalo de tempo, além de fornecer informação sobre possíveis capacidades de processamento ociosas. Cabines em extremidades opostas da praça podem apresentar diferentes taxas de ocupação, o que pode ser ocasionado por deficiências na sinalização, preferências de motoristas na escolha da cabine para pagamento ou influencia do *layout* da praça, quando filas em cabines tornam-se longas o suficiente para bloquear o acesso de veículos em cabines adjacentes (fenômeno de *SpillBack* reportado por Astarita *et al.*, 2001).

### **3. MECANISMO DE VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DE INDICADORES**

A revisão bibliográfica e a análise do estado da prática brasileira forneceram um número considerável de indicadores que podem ser utilizados na avaliação operacional de praças de pedágio, e nesta seção será apresentado mecanismo para a verificação de viabilidade de utilização destes indicadores listados.

A proposta consiste na aplicação de um mecanismo de cálculo, baseado na análise de características que devem possuir os indicadores de desempenho de serviços. Este mecanismo de análise possibilita destacar resumidamente quais são os benéficos e/ou problemas específicos de cada indicador quando da sua obtenção, representatividade e utilização.

#### **3.1. Critérios de Julgamento para Análise de Viabilidade de Indicadores**

Para analisar a viabilidade de utilização de cada um dos indicadores listados, primeiramente é necessário determinar quais são as características ou critérios básicos presentes nos indicadores que os distinguem entre si. Aqui, é importante diferenciar o termo “viabilidade” do termo “possibilidade”. Já que, no limite, todos os indicadores são possíveis de serem calculados e utilizados, contudo alguns deles não são viáveis, devido à inexistência de dados, ao elevado custo de obtenção ou baixa representatividade, dentre outros aspectos.

Caplice e Sheffi (1994) realizaram amplo estudo na área de logística buscando determinar características que devem possuir os indicadores de desempenho voltados para a análise de serviços. Dentre as características levantadas pelos autores, serão utilizadas aquelas que possuem representatividade e coerência com o objetivo deste trabalho. Eventualmente, em outros estudos sobre indicadores, os critérios de julgamento podem ser diferentes. Os critérios citados em Caplice e Sheffi (1994) e utilizados neste estudo serão: (i) **Validade** - um indicador é válido se consegue refletir a atividade que está sendo desenvolvida sem que seja afetado por fatores externos ao processo (ex.: condições meteorológicas); (ii) **Robusteza** - um indicador é robusto se é amplamente aceito, interpretado similarmente por diferentes usuários e pode ser utilizado para comparações através do tempo, locais e organizações; (iii) **Utilidade** - um indicador é útil se é facilmente compreendido pelos tomadores de decisão, e fornece sugestão de melhorias no serviço sendo prestado; (iv) **Integração** - um indicador é integrador se incorpora todos os componentes e aspectos do processo medido (abrange o macro-processo

de transposição de praças de pedágio), e; (v) **Compatibilidade de Dados** – um indicador é compatível com os dados e informações existentes e disponíveis se não necessitar de esforço extra para ser utilizado.

No último critério de avaliação serão ainda analisados os sub-critérios de (i) existência, (ii) disponibilidade e (iii) adequação dos dados. **Existência** – se dados existem, existem parcialmente ou não existem para o cálculo do indicador; **Disponibilidade** – se dados, para o cálculo do indicador, estão disponíveis eletronicamente, se necessitam levantamento em campo, se não estão disponíveis ou não existem, e; **Adequação** – se dados são adequados para uma aplicação direta no cálculo do indicador, se necessitam de algum tratamento para serem utilizados, se são inadequados ou se não existem.

Procurou-se aqui não analisar a confiabilidade dos dados a serem utilizados para o cálculo de cada indicador. A justificativa estaria na dificuldade de padronização dos (i) equipamentos de coleta e suas calibrações, (ii) formas de coleta praticadas e (iii) treinamentos de equipes.

### 3.2. Escalas de Medidas para os Critérios e Sub-Critérios de Julgamento

Cada um dos critérios e sub-critérios de julgamento para o cálculo da viabilidade de utilização de indicadores apresenta uma escala específica, e todas as escalas estão contidas no intervalo entre 0 e 9 pontos. Contudo, nas escalas propostas, utilizou-se metodologia proposta por Akao (1996), que procura ponderar dando ênfase às características boas através de pontuação 9, penalizando aquelas características intermediárias e ruins com notas 3 e 1, respectivamente. A escala para cada critério está descrita a seguir:

- Critério X1 (Validade): 9, se o indicador é válido, conseguindo refletir a atividade medida sem sofrer interferência de fatores externos; 3, se o indicador não está perfeitamente adequado, mas pode ser ajustado, e; 1, se o indicador é pouco válido, medindo a atividade desenvolvida, porém muito suscetível a fatores externos.
- Critério X2 (Robustez): 9, se o indicador é amplamente aceito e interpretado similarmente por diferentes usuários, podendo ser utilizado para comparações através do tempo e organizações; 3, se o indicador é aceito, porém causa dúvidas quando utilizado fora da organização que lhe deu origem, e; 1, se o indicador não apresenta consenso para sua utilização.
- Critério X3 (Compatibilidade de Dados): é calculado pela média aritmética dos três sub-critérios que o compõe. A média aritmética foi escolhida visando diminuir a influência de valores extremos (valores muito baixos, ou muito altos) no cálculo final deste critério, mantendo assim sua importância em relação aos demais critérios. Segundo Mandim (2001), a média aritmética tem a característica de absorver diferenças provocadas por valores extremos do conjunto. As escalas dos sub-critérios que compõe este critério são:
  - Sub-critério Y1 (Existência dos Dados): 9, se os dados existem; 3, se dados existem parcialmente; 1, se dados não existem.
  - Sub-critério Y2 (Disponibilidade dos Dados): 9, se a disponibilidade é eletrônica; 3, se há necessidade de levantamentos em campo; 1, se dados não estão disponíveis, e; 0 se dados não existem, ou seja, caso o sub-critério Y1 seja igual a 1;

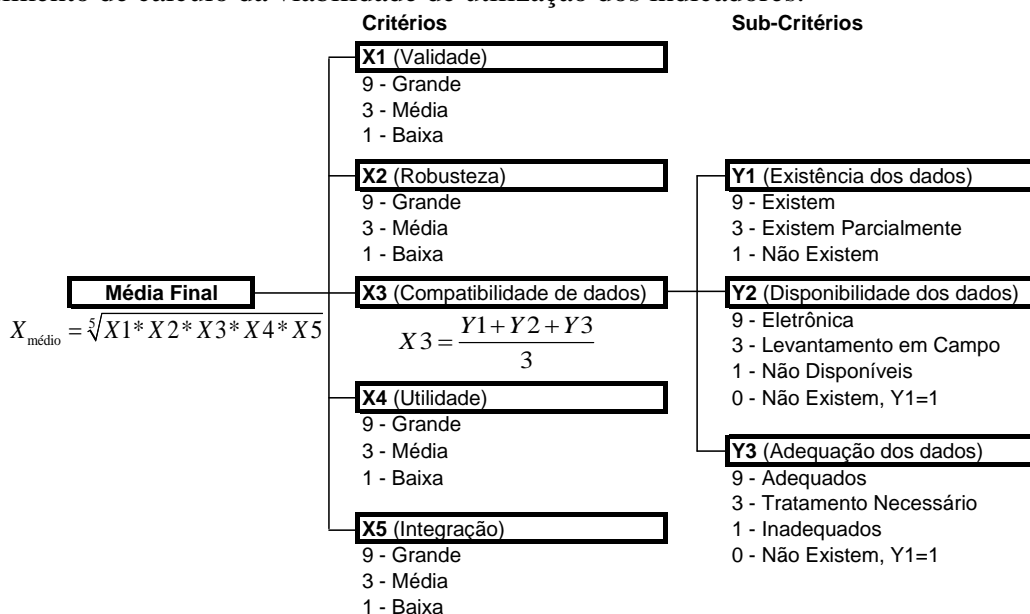
- Sub-critério Y3 (Adequação dos dados): 9, se dados estão adequados para utilização direta no cálculo do indicador em questão; 3, se dados necessitam algum tipo de tratamento ou ajuste para tornarem-se adequados ao uso; 1, se dados são inadequados para o cálculo do indicador, e; 0, se não existem, ou seja, caso o sub-critério Y1 seja igual a 1.
- Critério X4 (Utilidade): 9, se o indicador é de fácil entendimento para a tomada de decisão e fornece sugestão para atuação ou direção a ser seguida; 3, se o indicador é compreensível, porém não fornece sugestão para atuação ou direção a ser seguida, e; 1, se é pouco compreensível e dúbio.
- Critério X5 (Integração): 9, se o indicador é amplamente integrador, incorporando todos os componentes do macro-processo de transposição de praças de pedágio; 3, se o indicador é pouco integrador, somente incorporando parte do macro-processo medido, e; 1, se não é integrador.

É importante notar que, em função da escala adotada, nenhum dos critérios pode apresentar valor nulo. Mesmo se dados não existirem para o sub-critério Y1, o critério X3 será maior que zero.

### 3.3. Cálculo das Viabilidades de Utilização dos Indicadores

O cálculo das viabilidades dos indicadores é obtido através da média geométrica (raiz quintupla do produto dos cinco critérios). Aqui, todos os cinco critérios apresentam o mesmo peso e grau de importância, portanto procuram-se indicadores que satisfaçam todos os cinco critérios. Dessa forma, escolheu-se a média geométrica como ferramenta, já que é sensível a valores extremos, favorecendo indicadores que apresentam valores altos para todos os critérios, e penalizando àqueles cujo valor de algum dos critérios seja baixo. Procura-se aqui obter o valor final mais próximo de 9, que é a nota máxima.

A figura 1 apresenta resumidamente as escalas dos critérios e dos sub-critérios e o procedimento de cálculo da viabilidade de utilização dos indicadores.

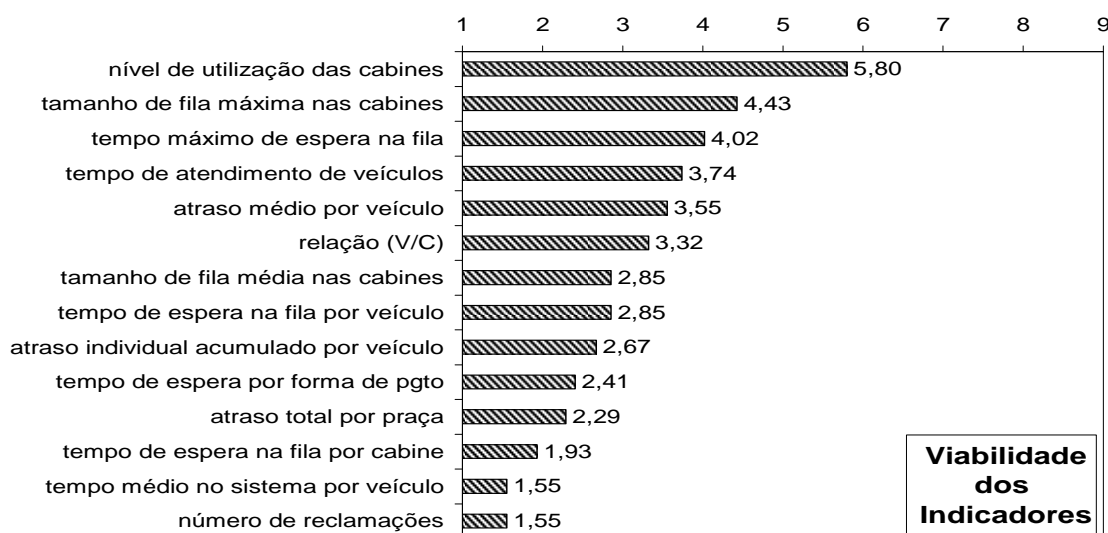


**Figura 1:** Procedimento de Cálculo da Viabilidade dos Indicadores.

#### 4. ANÁLISE DOS INDICADORES

Para fins de exemplificação, a avaliação dos indicadores foi realizada pelos autores através de consenso a respeito das notas de cada critério e sub-critério para cada indicador.

Após a aplicação do procedimento de avaliação, os indicadores com maiores índices de viabilidade foram “nível de utilização das cabines” (5,80 pontos), seguido por “tamanho de fila máxima nas cabines” (4,43 pontos), “tempo máximo de espera na fila” (4,02 pontos) e “tempos de atendimento de veículos” (3,74 pontos).



**Figura 2:** Valores de Viabilidade de Utilização dos Indicadores

Verifica-se que o indicador “nível de utilização das cabines” foi observado duas vezes na literatura, e é utilizado na prática por concessionárias brasileiras, apesar de não pertencer a contratos de concessão. Este indicador foi avaliado como: (i) medianamente válido, pois é parcialmente suscetível a fatores externos; (ii) de grande robusteza, pois é aceito na prática, além de interpretado similarmente por diferentes usuários e pode ser utilizado para comparações através do tempo e organizações; (iii) seus dados existem nos sistemas eletrônicos das concessionárias, estão disponíveis e são adequados para um cálculo direto do indicador; (iv) de grande utilidade, pois é facilmente compreendido e fornece sugestão para atuação a ser tomada, e (v) de média integração, pois incorpora somente parte do macro-processo de passagem através das praças.

Os indicadores que aparecem em segundo e terceiro lugares são relativos a medidas obtidas em filas, e possuem alta correlação entre si: “tamanho máximo de fila nas cabines” e “tempo máximo de espera na fila”. Ambos tem relação direta com o desconforto experimentado pelos usuários quando do ato de pagamento das tarifas, representado forte apelo sensitivo. Ainda, apresentam características de fácil mensuração prática pelos operadores, reforçando a necessidade de incorporação de indicadores deste tipo no desenvolvimento de metodologia para avaliação do nível de serviço nestas infraestruturas.

O indicador classificado em quarto lugar de acordo com o índice proposto, porém não menos importante, foi “tempo de atendimento de veículos” nas cabines. Esta colocação é justificada na medida em que avalia parte do macro-processo de passagem dos veículos pela praça (momento do pagamento de tarifas), indicando problemas com soluções pontuais, como

treinamento de arrecadadores, por exemplo. O “tempo de atendimento de veículos” possui representatividade para operadores, que necessitam monitorar produtividade, mas é informação desagregada para avaliar o desempenho da praça como um todo.

Dentre os indicadores citados na bibliografia ou na pesquisa a respeito do estado da prática brasileira, aqueles que apresentaram piores índices de viabilidade foram “tempo médio no sistema por veículo” e “número de reclamações”, ambos com 1,55 pontos. O “tempo médio no sistema por veículo” pode ser afetado por fatores externos, é pouco robusto, possui baixa utilidade, pois mede muito amplamente a situação de tráfego na praça, não fornecendo indicativos de atuação a ser tomada, além de baixa integração. O “número de reclamações” é totalmente suscetível a fatores externos, possui baixa robustez, pois pode ser interpretado diferentemente se avaliado por outra organização diferente daquela que lhe deu origem, baixa utilização, já que não fornece direção de atuação, e baixa integração, pois não incorpora todos os detalhes do macro-processo de transposição de praças de pedágio.

Contudo, a utilização conjunta de dois ou mais indicadores pode fornecer importante informação para a definição de escalas para níveis de serviço, avaliando-se tanto a operacionalidade da praça, de responsabilidade das concessionárias, como também fatores aleatórios de tráfego, como escolha de cabines e formas de pagamento por usuários, e o inconveniente percebido pelos mesmos quando enfrentam situações de filas nas cabines.

Neste sentido, indicadores para praças de pedágio podem ser classificados como (i) indicadores operacionais da operadora e (ii) indicadores de níveis de serviço. Indicadores operacionais buscam analisar a operação das praças e fornecer subsídios para uma operação eficiente, atendendo às restrições contratuais, diminuindo custos (eficiência de mão-de-obra) e satisfazendo os usuários. Indicadores de níveis de serviço possuem o objetivo de definir referências de comparação na forma de escalas, que representem as opiniões dos usuários, seu desconforto e inconveniência percebidos quando enfrentam determinadas situações de tráfego.

Aqueles indicadores aptos a representar escalas de níveis de serviço devem ser: (i) válidos, conseguindo refletir a atividade medida sem que sejam afetados por fatores externos ao processo; (ii) robustos, no sentido de amplamente aceitos, interpretados similarmente por diversos usuários e possíveis de serem utilizados através do tempo e organizações; (iii) úteis, sendo facilmente compreendidos e; (iv) integradores, incorporando todos os componentes e aspectos do processo medido, neste caso, abrangendo o macro-processo de transposição de praças de pedágio.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este trabalho apresentou um mecanismo de análise visando à seleção de indicadores para praças de pedágio. Os indicadores analisados podem contribuir para o acompanhamento operacional das praças (indicadores de desempenho e eficiência interna das concessionárias) e para análises de níveis de serviço oferecido aos motoristas (percepção do desconforto e inconveniência percebidos pelos usuários de praças).

O mecanismo descrito neste estudo permitiu uma hierarquização dos diversos indicadores de desempenho listados na revisão bibliográfica e em pesquisa sobre o estado da prática brasileira quanto ao tema.

A importância do desenvolvimento de metodologia para avaliação de níveis de serviço em praças está diretamente relacionada com a importância de obtenção de indicadores amplamente aceitos e compreendidos, de fácil mensuração prática e que possuam representatividade.

Apesar de não ser um indicador que verifique diretamente o nível de serviço nas praças, o “nível de utilização das cabines” pode ser utilizado em conjunto com outros indicadores para a verificação do comportamento do fluxo. Este indicador analisaria preferências aleatórias de usuários por formas e cabines de cobrança, que poderiam implicar em subutilização da capacidade de processamento disponível. A utilização de indicador que avalie a operacionalidade das praças em conjunto com indicador que analise o desconforto sofrido pelos usuários é indicada.

Indicadores que medem as diversas situações enfrentadas pelos usuários em filas de espera são altamente indicados para análises de níveis de serviço em praças. Tempos de espera e tamanhos de filas foram indicadores de desempenho mais encontrados na literatura e no estado da prática brasileira, e possuem relação direta com o desconforto experimentado pelos motoristas quando do ato de pagamento das tarifas, representando forte apelo sensitivo. O mecanismo de avaliação proposto neste trabalho destacou a importância de dois indicadores: “tamanho de fila máxima nas cabines” e “tempo máximo de espera nas cabines”. A correlação entre estes indicadores é evidente, o que reforça ainda mais a importância.

Contudo, uma pesquisa ampliada utilizando o mecanismo apresentado neste estudo deve ser realizada, visando à obtenção da percepção de outros agentes envolvidos no processo.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABCR (2007a) Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias. *Concessionárias Associadas*. Disponível em <http://www.abcr.org.br/conc/index.php>, acessado em 23/05/2007.
- ABCR (2007b) Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias. *Rodovias Pedagiadas Administradas pelo Governo*. Disponível em [http://www.abcr.org.br/etc/ser\\_pedagios.php](http://www.abcr.org.br/etc/ser_pedagios.php), acessado em 22/05/2007.
- Akao, Y. (1996) *Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements Into Product Design*. Productivity Press. Cambridge.
- 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.
- ANTT (2007) Agência Nacional de Transportes Terrestres. Concessões de Rodovias Federais – Segunda Etapa (fevereiro de 2006). Disponível em: <http://www.antt.gov.br/relatorios/rodoviario/Novasconcessoes2.ppt>. Acessado em 23/05/2007.
- Aragão, J. J.; A. Brasileiro; O. Limas Neto; E. Santos e R. Orrico Filho (2000) Construindo Modelos de Relações Institucionais e Regulatórias no Transporte Público Urbano: Algumas Considerações Metodológicas. In: *Transporte em Tempos de Reforma*. Santos, E.; Aragão, J. LGE. Brasília.
- 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*. Intelligent Transportation System Council-ITSC, August 25-29, Oakland, California, EUA.
- Burris, M. W. e E.D. Hildebrand (1996) Using Microsimulation to Quantify the Impact of Electronic Toll Collection. *ITE Journal*, v. 66, n. 7, p. 21–24.
- Caplice, C. e Y. Sheffi (1994) A Review and Evaluation of Logistics Metrics. *The International Journal of Logistics Management*, vol.5, no.2, p.11-28.
- Costa, M. B. B; L. A. Lindau; F. B. B. Sousa e F. Fogliatto (2001) Estudo Comparativo entre Empresas de Ônibus Utilizando AHP: O Caso das Empresas Consorciadas de Porto Alegre. In: *Anais do XV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, v. 2, p. 135-142, Campinas.
- Edie, L.C. (1954) Traffic Delays at Toll Booths. *Journal of Operations Research Society of America*, v.2, no.2, p. 107-138.
- Fan, J. e M. S. Saito (1998) Application of Artificial Neural Network for Level of Service Analysis of Signalized

- Intersection. *Proceedings of the 77th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington D.C., CD-ROM.
- Gulewicz, V. e J. Danko (1995) Simulation-Based Approach to Evaluation Optimal Lane Staffing Requirements for Toll Plazas. *Transportation Research Record 1484*, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Horn, M. (2003) Model Behavior - Feature Review. *Traffic Technology International*. April-May, 2003, p.30-35.
- Jagdev, H. S.; A. Brennan e J. Browne (2004) *Strategic Decision Making in Modern Manufacturing*. Kluwer Academic Publishers.
- Juran, J. M. (1993) *Juran na Liderança pela Qualidade (um guia para executivos)*. Editora Pioneira. São Paulo.
- Kittelson, W. K. e R. P. Roes (2001) Highway Capacity Analysis after the HCM 2000. *Proceedings of the 80th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington D.C., CD-ROM.
- Klodzinski, J. e H.M. Al-Deek (2002) New Methodology for Defining Level of Service at Toll Plazas. *Journal of Transportation Engineering*, vol. 128, n. 2, p. 173-181.
- 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.
- Lindau, L. A.; M. B. B. Costa e F. B. B. Sousa (2001) Em Busca do Benchmark da Produtividade de Operadores Urbanos de Ônibus. In: *Transportes: Experiências em Rede*. Nassi, C.; Brasileiro, A.; Kawamoto; Lindau, L. A. FINEP, Rio de Janeiro, RJ.
- Mandim, D. (2001) *Estatística Descomplicada*, 7o.edição, Ed. Vestcon, Brasília-DF.
- Morin, J-M; G. Louah e B. Daviet (1996) ANATOLL-Software for Simulation and Prediction of Queues at Toll Plazas: Characteristics and Evaluation. In: *3rd World Congress on ITS*, Orlando, Florida, US.
- Müller, C. (2003) Gerenciamento de Processos e Indicadores de Desempenho. *Apostila de aula – PPGEF - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção*. UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Normann, R. (1993) *Administração de Serviços: Estratégia e Liderança na Empresa de Serviços*. Editora Atlas. São Paulo.
- 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 da ANPET - Rio de Janeiro*, v.2, p.1264-1275, Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes-Rio de Janeiro.
- Oliveira, M.L. e H.B.B. Cybis (2006) Medidas de Eficiência e Níveis de Serviço para Praças de Pedágio na Percepção de seus Operadores. *XIV-PANAM –Congresso Panamericano de Engenharia de Trânsito e Transportes*, Las Palmas de Gran Canaria, Ilhas Canárias, Espanha. CD-ROM.
- Ortúzar, J.D. e L.G. Willumsen (1990) *Modelling Transport*. Ed.John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, UK.
- Polus, A. (1996) Methodology and Simulation for Toll Plaza Analysis. *Road & Transport Research*, vol. 1, no. 5
- Rummer, G. A. e Brache, A. P. (1994) *Melhores Desempenhos das Empresas*. Makron Books, São Paulo.
- Schaufler, A. E. (1997) *Toll Plaza Design - Synthesis of Highway Practice 240*. National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- TRB (2000) *Highway Capacity Manual - Special Report 209 (4th. edition)*. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., EUA.
- TRB (2003) *Transit Capacity and Quality of Service Manual (2nd Edition)*. Transportation Research Board. Disponível em: <http://www.trb.org>. Acessado em: 10/05/2007.
- 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: *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*. p.1262-1279. Netherlands.
- Woo, T.H. e L. H. Hoel (1991) Toll Plaza Capacity and Level of Service. *Transportation Research Record 1320*, p.119-127.
- 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, US.
- Zarrillo, M. L. (2000) Capacity Calculations for Two Toll Facilities: Two Experiences in ETC Implementation. *Proceedings of the 79th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington D.C., CD-ROM.