

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE BOTUCATU  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM LOGÍSTICA**

**NÁDIA DE ARAÚJO ALVES**

**ANÁLISE DO DIMENSIONAMENTO DE UMA PRAÇA DE PEDÁGIO**

Botucatu-SP  
Julho – 2015

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE BOTUCATU  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM LOGÍSTICA**

**NÁDIA DE ARAÚJO ALVES**

**ANÁLISE DO DIMENSIONAMENTO DE UMA PRAÇA DE PEDÁGIO**

Orientador: Prof. Dr. Paulo André de Oliveira

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
FATEC - Faculdade de Tecnologia de  
Botucatu, para obtenção do título de  
Tecnólogo no Curso Superior de Logística.

Botucatu-SP  
Julho – 2015

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como universitária, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

Aos meus pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional, ao meu esposo pela paciência nas tantas horas privadas de minha companhia.

E ao Professor Dr. Paulo André de Oliveira pelo empenho dedicado à elaboração deste trabalho.

## RESUMO

Este trabalho buscou a elaboração de um procedimento que permitisse dimensionar o número de cabines de cobrança manuais necessárias para determinada praça de pedágio, maximizando a eficiência dos recursos empregados na operação e minimizando os efeitos negativos da cobrança manual. O número de cabines de cobrança manuais abertas deve propiciar uma boa relação entre a oferta e a demanda de serviço, mantendo níveis de serviço aceitáveis aos usuários. Os dados utilizados são provenientes de uma praça de pedágio localizada em Botucatu/SP. O método utilizado para realizar o estudo foi o de teoria das filas. Foi possível dimensionar o número ideal de cabines abertas, em determinados horários, em um dia normal e em um dia véspera de feriado, conforme a intensidade do fluxo de tráfego. Conclui-se que a gestão de uma praça de pedágio ou mesmo de uma rodovia pode ser beneficiada por estudos de comportamento das filas dos veículos aumentando o conforto para o cliente da concessionária e reduzindo custos operacionais e de investimentos em infraestrutura.

**Palavras-chave:** Cobrança manual de pedágios. Níveis de serviço. Teoria das Filas.

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Representação de um sistema de filas.....	11
Figura 2 - (a) Sistema de fila única (modelo M/M/m) e (b) sistema de filas paralelas e independentes (m modelos M/M/1).....	15
Figura 3 - Estrutura dos sistemas de filas.....	20
Figura 4 - Comportamento de veículos ao longo de um dia normal e um dia véspera de feriado na praça de pedágio.....	28

## LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Critérios de níveis de serviço.....	14
Tabela 2 - Fluxo de veículos em um dia normal para uma cabine de cobrança.....	26
Tabela 3 - Fluxo de veículos em véspera de feriado para uma cabine de cobrança.....	27
Tabela 4 - Fluxo de veículos em véspera de feriado e distribuição de Poisson.....	29
Tabela 5 - Nível de serviço com praça de pedágio operando com 04 cabines.....	30
Tabela 6 - Nível de serviço com praça de pedágio operando com 03 cabines.....	31
Tabela 7 - Nível de serviço com praça de pedágio operando com 02 cabines.....	32
Tabela 8 - Nível de serviço com praça de pedágio operando com 01 cabine.....	33
Tabela 9 - Cabines necessárias a cada hora para se ter Nível A.....	34

## SUMÁRIO

	Página
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>1.1 Objetivos.....</b>	<b>8</b>
<b>1.2 Justificativa .....</b>	<b>8</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Características das praças de pedágio.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2 Teoria das Filas .....</b>	<b>10</b>
<b>2.3 Modelo M/M/1 .....</b>	<b>11</b>
<b>2.4 Operação e Nível de Serviço em Praças de Pedágio .....</b>	<b>11</b>
<b>2.5 Modelagem por meio de teoria de filas .....</b>	<b>14</b>
<b>2.5.1 Número de etapas do serviço .....</b>	<b>20</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1 Métodos .....</b>	<b>22</b>
<b>3.2 Formulação do Modelo de Filas para modelagem da Praça de Pedágio.....</b>	<b>22</b>
<b>3.3 Padrões Admissíveis .....</b>	<b>23</b>
<b>3.4 Estudo de caso .....</b>	<b>24</b>
<b>3.4.1 A Concessionária .....</b>	<b>24</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>25</b>
<b>4.1 Comparação entre fluxo normal e feriado.....</b>	<b>25</b>
<b>4.2 Dimensionamento do nível de serviço.....</b>	<b>29</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>35</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>37</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a cobrança de pedágio para manutenção e operação de rodovias é uma realidade em todo o mundo, administradas pelo poder público ou por empresas privadas através de concessão.

O pedágio é a principal fonte de recurso para investimento em ampliação e modernização da malha concedida do Estado de São Paulo, o que inclui obras, manutenção e serviços de socorro médico e mecânico.

Como a praça de pedágio a ser analisada, apesar de a concessão ser pública, se trata de uma “exploração” privada, vale a pena considerar que, através da cobrança de pedágio por empresas privadas, é possível controlar o processo de operação de rodovias, seja por imposição contratual ou por necessidade de controle de custo das empresas.

Geralmente os contratos são controlados através da qualidade do serviço prestado ao usuário, seja esta relacionada à qualidade do pavimento e sinalização, serviço de assistência ao usuário, capacidade e nível de serviço e tempo de atendimento às diversas ocorrências. Dentro da realidade de cada contrato, as empresas procuram minimizar seus custos e otimizar seus investimentos.

Em relação aos usuários, estes em função do pagamento do pedágio, buscam resultados imediatos, como por exemplo: rodovias em boas condições, atendimento rápido e eficaz, tanto na rodovia, através do atendimento de guincho e ambulância, quanto na praça de pedágio. Assim o usuário relaciona à praça de pedágio suas satisfações e insatisfações que dizem respeito à rodovia, aos atendimentos e à cobrança do pedágio.

Vale ressaltar que este estudo leva em consideração as cobranças manuais, visto que em casos de cobrança automática, a não ser por problemas técnicos, a formação de filas é praticamente inexistentes. Sendo assim, o foco será em relação às cobranças manuais.



Cobrança manual compreende aquela em que o veículo tem que parar na cabine de cobrança e que, de algum modo, é necessária a interferência de um arrecadador para que o pagamento seja realizado.

Neste trabalho foi utilizado o método de Teoria das Filas, um modelo ideal para que o dimensionamento de uma praça de pedágio específica, fosse otimizado. Isto foi feito por meio de uma análise matemática detalhada, levando em consideração, principalmente, qual deve ser o tempo de espera na fila, qual deve ser o comprimento da fila, assim como o número ideal de cabines abertas em determinados horários para se ter um nível de serviço aceitável no sistema, dando ênfase em horários de picos.

## **1.1 Objetivos**

O objetivo deste trabalho foi dimensionar uma praça de pedágio em uma rodovia na região de Botucatu-SP. O trabalho buscou desenvolver um dimensionamento ideal, quanto ao número de cabines da praça de pedágio, com base na relação entre as características da praça e o nível de serviço para o usuário.

## **1.2 Justificativa**

É fato que, atualmente, praças de pedágio representam gargalos no fluxo de uma rodovia e podem gerar congestionamentos. Porém através do correto dimensionamento da praça de pedágio é possível obter-se um nível de serviço maior utilizando técnicas simples, fazendo com que o usuário espere menos para ser atendido.

Em relação à privatização das rodovias, existem vantagens e desvantagens. Por um lado, esse procedimento acarreta em gastos para os motoristas, que precisam arcar com os pedágios. Por outro lado, leva o Estado a concentrar sua administração em funções básicas, como educação, saúde, segurança, saneamento básico, ciência e tecnologia e justiça, e possibilita maiores investimentos em melhorias para as pistas, visto que a empresa que adquiriu o bem deve deixá-las em um padrão mais elevado que o anterior.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Características das praças de pedágio**

Muitas características influenciam no dimensionamento e, conseqüentemente, no nível de serviço de uma praça de pedágio. Os fatores principais que podem ser citados são a composição do tráfego, as características geométricas da praça, o número de cabines em operação e a taxa de atendimento dos arrecadadores nas cabines manuais.

A composição do tráfego determina, de certa forma, o nível de serviço na praça de pedágio, já que veículos pesados são mais lentos e demoram mais tempo para liberar a cabine para o veículo seguinte. A existência de cabines exclusivas para veículos pesados também é outro item a ser levado em consideração. A geometria da praça de pedágio, com relação às áreas de aproximação das cabines, pode influenciar o processamento dos veículos. Entende-se por área de aproximação o trecho de alargamento de rodovia cuja função é o aumento do número de faixas, até as cabines de cobrança (TIEFENSEE, 2005).

O número de cabines em operação em uma praça de pedágio é um fator importante a ser analisado. Esta análise importa principalmente fora do horário de pico, já que no horário de maior movimento, todas as cabines da praça estão em funcionamento.

Danko e Gulewicz (1994) fizeram um estudo para determinar o número ideal de arrecadadores na praça de pedágio da Outerbridge, na cidade de Nova Iorque, de acordo com o período do dia.

Os autores chegaram à conclusão que a empresa que administra a via poderia diminuir significativamente seus custos operacionais mantendo um nível de serviço aceitável.

Os arrecadadores também podem ser influenciados pelas taxas de chegadas e o fluxo de veículos nas praças. Alguns autores sugerem que, sob condições de tráfego leve, os operadores consomem mais tempo processando os veículos do que quando pressionados por

uma fila, quando eles tendem a executar a transação com maior velocidade (WOO; HOEL, 1991 *apud* OLIVEIRA, 2004).

## **2.2 Teoria das Filas**

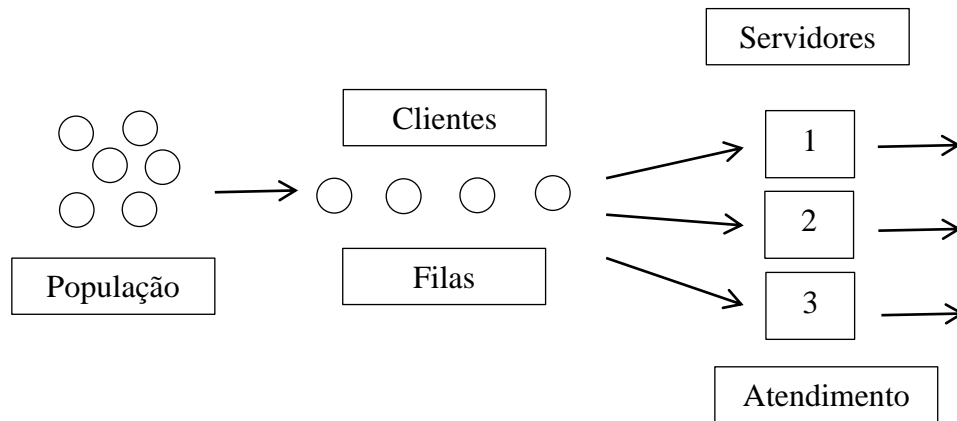
Miranda (2006) descreve a Teoria das Filas como sendo um conjunto de teoremas, que envolvem cálculos probabilísticos, quais visam explicar o comportamento de atendimento a serviços enfileirados, sendo que, o estudo de Teoria de Filas trata o fenômeno de aguardar em fila usando medidas representativas da performance do sistema, tais como comprimento médio da fila, tempo médio de espera na fila entre outros. O estudo de Teoria das Filas pertence a área de pesquisa operacional, estando também ligada aos processos estocásticos. As filas ocorrem porque a procura do serviço é maior do que a capacidade de atendimento. A Teoria de Filas existe para encontrar uma solução através da matemática que satisfaça o cliente e seja viável economicamente.

De acordo com Carrión (2007) a teoria das filas tem por objetivo aperfeiçoar o desempenho de um sistema reduzindo seus custos operacionais. Para que possa atingir o objetivo de otimizar o desempenho dos modelos de filas de espera, faz-se necessário analisar os resultados gerados por fórmulas apropriadas a um modelo específico. Estes resultados devem permitir a realização da análise de uma situação particular, onde eles podem ser gerados manualmente substituindo os dados de entrada nas fórmulas ou então estes podem ser obtidos através de um programa de computador. Com a aplicação da teoria de filas, há o estudo do dimensionamento do processo aumentando produtividade, evitando perdas financeiras e diminuindo as filas geradas. Assim, analisando as medidas de desempenho do modelo escolhido, pode-se avaliar e alterar o número de servidores, as taxas de atendimento e de chegadas.

Prado (2006) descreve que as filas são constituídas dos seguintes elementos: população, entidade, servidor e serviço. Um sistema de filas de espera, pode ser descrito através de seis características básicas: padrão de chegada dos clientes, padrão de serviço dos servidores, disciplina de filas, capacidade do sistema, número de canais de serviço e número de estágio de serviços (COSTA, 2006).

A Figura 1, representa um sistema de filas.

Figura 1 - Representação de um sistema de filas.



Fonte: Borges, 2010.

### 2.3 Modelo M/M/1

O modelo M/M/1 diz respeito ao modelo de filas onde tanto as chegadas quanto o atendimento são marcovianas (o que é o mesmo que dizer que seguem a distribuição de Poisson ou a Exponencial Negativa) e que temos um único atendente.

Como a população de uma praça de pedágio é infinita, será utilizado o modelo MM1, assim cada cabine será analisada separadamente. O modelo M/M/1 (ou modelo de Poisson) permite calcular tamanhos de filas, tempos, dimensionamentos e estudos financeiros de sistemas baseados em filas de maneira muito próxima àquela que utilizaríamos com estudos mais demorados, baseados em simulação (MAGALHÃES, 1996).

### 2.4 Operação e Nível de Serviço em Praças de Pedágio

A Teoria de Filas tem sido estudada extensivamente nos últimos anos. A razão disso se deve a sua aplicabilidade em muitas situações principalmente na ciência da computação e sistemas de comunicação devido ao rápido desenvolvimento ocorrido nessas áreas. (GROSS; HARRIS, p. 8).

Por se constituir em um gargalo potencial, a coleta de pedágios pode ter sérias repercussões no gerenciamento e nas operações de tráfego em rodovias. O congestionamento

que ela ocasiona pode ser grave o suficiente para que sejam consideradas alternativas no projeto e estratégias operacionais que visem amenizar a situação. (LIN; SU, 1994).

O nível de serviço é uma medida qualitativa que sintetiza as condições operacionais de um fluxo de tráfego e suas percepções pelos usuários. Fatores tais como velocidade e tempo de viagem, liberdade de manobra, interrupção de tráfego, conforto e segurança geralmente influem no nível de serviço. Apesar de o conceito de nível de serviço englobar todas as condições operacionais de um sistema de transportes, na prática, ele tem sido estabelecido através de uma ou duas medidas de desempenho para cada tipo de sistema (REILLY, 1992).

O nível de serviço de praças de pedágio deve ser quantificado por várias razões. Ele possibilita a avaliação de alternativas operacionais e de projeto através de um padrão aceitável, prove uma base sólida para comparação das condições operacionais de várias praças, fornece meios de avaliar as condições antes e depois de alguma alteração na operação das praças e determina a eficiência dessa alteração, dando aos usuários e operadores uma medida palpável do desempenho global do sistema. A análise do nível de serviço de praças de pedágio tem sido baseada na utilização de duas medidas simples – o comprimento médio da fila e o tempo médio no sistema – que efetivamente são capazes de refletir a qualidade do serviço. Essas medidas são facilmente percebidas pelos usuários, além de serem úteis para avaliar a necessidade e efeito de melhorias específicas ou para estabelecer a qualidade do serviço sob as diversas condições encontradas durante a operação da praça (WOO; HOEL, 1991).

As seguintes condições gerais de operação foram propostas por Woo e Hoel (1991) para cada nível de serviço relativo às praças de pedágio:

- Nível de serviço A: existe uma baixa densidade de tráfego e pouco atraso. O comportamento dos veículos não é afetado pela presença dos demais, apesar de a desaceleração ser necessária. Não há formação de filas e o nível geral de conforto é excelente.

- Nível de serviço B: os veículos começam a desacelerar mais cedo do que quando o nível de serviço é A. A presença de outros veículos no fluxo de tráfego começa a ser notada. Entretanto, há boa oportunidade de mudança de faixa. O nível de conforto ainda é alto, porém menor que no nível de serviço A.

- Nível de serviço C: o número de veículos parados é significativo. Os atrasos são resultantes de uma antecipação na desaceleração. As filas começam a se formar. Há uma queda considerável de conforto neste nível de serviço.

- Nível de serviço D: os veículos possuem pouca liberdade de manobra para escolha da cabine. O comprimento da fila se torna significativo e as condições de fluxo se tornam inevitáveis.

- Nível de serviço E: todos os veículos enfrentam filas antes de chegar às cabines. O tráfego de fluxo interrompido é um fenômeno típico. Manobras nas aproximações das cabines são quase impossíveis.

- Nível de serviço F: a taxa de chegada excede a taxa de atendimento. As filas continuam a crescer, avançando até alcançarem a rodovia.

O Highway Capacity Manual (HCM) (TRB, 2000) apresenta métodos de avaliação de níveis de serviços para várias facilidades rodoviárias, tais como autoestradas, rodovias de duas pistas e múltiplas pistas, rodovias urbanas, tráfego de pedestres e ciclistas, interseções semaforizadas.

Lin e Su (1994) basearam seus estudos em duas medidas relativamente simples, o comprimento médio na fila por canal de atendimento e o tempo médio no sistema. Estes indicadores refletem eficazmente a qualidade do serviço e são facilmente percebidos pelo usuário. Este critério tem relação direta com a teoria das filas que analisa o grau de congestionamento  $\rho$  (fluxo médio de chegadas / fluxo médio de atendimento), variando o nível de desempenho em função do número de canais disponível, (WIDMER, 1999).

A Tabela 1 apresenta os parâmetros para cada nível de serviço, utilizando os fatores acima descritos.

Tabela 1 - Critérios de níveis de serviço

Nível de serviço	Nº de veículos na fila (veículos)	Tempo médio no sistema (segundos)
A	$L \leq 1$	$T \leq 15$
B	$1 < L \leq 2$	$15 < T \leq 30$
C	$2 < L \leq 3$	$30 < T \leq 45$
D	$3 < L \leq 6$	$45 < T \leq 60$
E	$6 < L \leq 10$	$60 < T \leq 80$
F	$L > 10$	$T > 80$

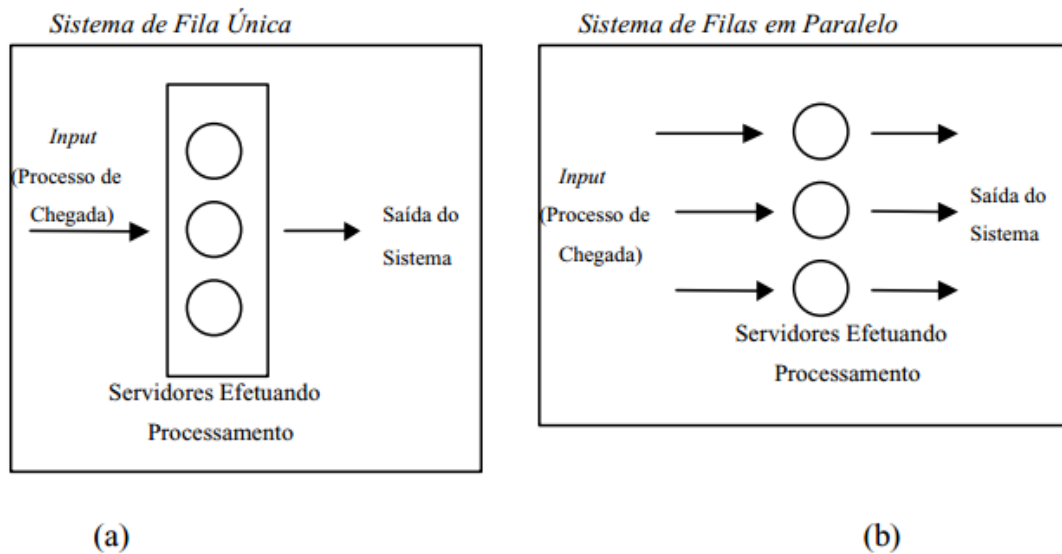
Fonte: Lin e Su, 1994

## 2.5 Modelagem por meio de teoria de filas

Admitindo-se que os intervalos de tempo entre chegadas dos usuários e os tempos de serviço das cabines sejam exponencialmente distribuídos, os dois candidatos mais simples da teoria de filas para modelar o sistema de atendimento das cabines da praça de pedágio são:

- um modelo M/M/m com fila única e disciplina de atendimento FCFS (First Come, FirstServed), onde m é o número de cabines. Consideramos que  $\lambda$  usuários, por unidade de tempo, chegam em média no sistema, e que as m cabines em paralelo são iguais, cada um com capacidade média de  $\mu$  usuários por unidade de tempo. (figura 2a).
- m modelos M/M/1 paralelos e independentes, cada um com disciplina de atendimento FCFS. Consideramos que  $\lambda/m$  usuários por unidade de tempo chegam em média em cada cabine, e que cada um dos m caixas tenha capacidade  $\mu$  (Figura 2b) (BORGES,2010).

Figura 2 - (a) Sistema de fila única (modelo M/M/m) e (b) sistema de filas paralelas e independentes (m modelos M/M/1).



Fonte: Borges, 2010.

Note que ambos os modelos (a e b) envolvem hipóteses que podem comprometer suas aplicações no sistema em estudo. Por exemplo, o modelo (a) admite que o sistema se comporte aproximadamente como um sistema de fila única, enquanto que, na prática, as filas se formam na frente de cada cabine. Por outro lado, o modelo (b) admite que o sistema se comporte aproximadamente como m sistemas de filas independentes, ou seja, o modelo supõe que, uma vez que um usuário tenha entrado em uma das filas, ele não troque mais de fila.

A grande vantagem dos modelos (a) e (b) é a simplicidade de análise, uma vez que os modelos M/M/1 e M/M/m são modelos Markovianos de fácil análise exata (Gross e Harris, 1974). Diversas medidas de desempenho podem ser facilmente computadas admitindo-se que o sistema esteja em equilíbrio, tais como a utilização média das cabines, o número médio de usuários no sistema, o tamanho médio da fila, o tempo médio de espera em fila, etc. Por exemplo, o tempo médio de espera em fila  $W_q$  é determinado simplesmente por:



$$W_q = \frac{\lambda / m}{\mu(\mu - \lambda / m)} \quad (M/M/1) \quad (1)$$

$$W_q = \frac{(\lambda / \mu)^m p(0)}{\mu m (1 - \rho)^2 m!} \quad (M/M/m) \quad (2)$$

$$\text{onde: } \rho = \frac{\lambda}{m\mu} \text{ e } p(0) = \left\{ \sum_{i=0}^{m-1} \frac{(\lambda / \mu)^i}{i!} + \frac{(\lambda / \mu)^m}{(1 - \rho)m!} \right\}^{-1} \quad (3)$$

Um modelo Markoviano mais preciso para o presente problema do que os modelos (a) e (b), aqui denominado modelo (c), pode ser construído definindo-se o espaço de estados do problema como  $(n_1, n_2, \dots, n_m)$ , onde  $n_i$  denota o número de usuários (em fila e serviço) na cabine  $i$ ,  $i=1, \dots, m$ .

Em praças de pedágio com um número de cabines não muito grande, que é o caso da praça em questão, digamos  $m < 10$ , é razoável supor que os usuários, ao chegarem, entram na fila de menor tamanho. Também é razoável supor que, após um certo tempo, se duas filas tiverem uma diferença de mais de  $k$  usuários, digamos  $k = 1, 2$  ou  $3$ , os usuários da fila maior mudam para a fila menor.

O processo de chegada se configura pela distribuição de probabilidade do tempo entre sucessivos eventos de chegadas, que podem ser uniformes (determinísticos) ou aleatórios (estocásticos), e pelo número de indivíduos ou unidades que aparecem em cada evento, que podem ser individuais ou em grupos. Neste estudo serão abordadas as chegadas individuais.

O processo é uniforme quando todas as chegadas ocorrem rigorosamente no mesmo intervalo de tempo, como por exemplo, os headway entre veículos que partem de uma fila formada num semáforo.

No processo aleatório, as taxas de chegada se dão de acordo com uma distribuição de Poisson e os intervalos de chegada, de acordo com uma distribuição exponencial negativa (GAFARIAN, 1960; PRADO, 2008).

Ao representar o processo de chegadas, é usada a variável que será determinada taxa de chegada e calculada dividindo-se o número de chegadas ( $C$ ) pelo intervalo total ( $t$ ) (veíc/min)

$$\lambda = \frac{C}{t} \quad (4)$$

Para ser considerada uma distribuição de Poisson, as chegadas devem ser independentes e as características probabilísticas do sistema não devem se alterar com o tempo. Isto se dá quando o comportamento médio do sistema, no período considerado, permanece praticamente inalterado, fazendo com que taxa de chegada não varie significativamente (NOVAES, 1975).

Um processo de chegada é dito de renovação, quando os intervalos entre chegadas sucessivas forem variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas. A independência entre os intervalos sucessivos pode ser verificada através de testes estatísticos. As distribuições dos tempos podem variar qualitativamente (natureza da distribuição) ou quantitativamente, através da alteração de seus parâmetros (NOVAES, 1975).

Para exemplificar, pode-se analisar o processo de chegadas de veículos em uma Praça de Pedágio: No intervalo de tempo  $T_1$ , este pode ser regida pelo processo de Poisson, com taxa de chegada 1. Já no intervalo  $T_2$  que se refere à hora pico, a taxa de chegada 2 pode ser bem maior que a anterior. Se formos analisar  $T_1 + T_2$ , provavelmente chegaremos a conclusão que o processo de chegada não possa mais ser considerada um processo de renovação e que o congestionamento de tráfego em  $T_2$  faça com que as chegadas deixem de ser regidas pelo processo de Poisson. Esta variação pode ser de natureza quantitativa, em função do número de veículos que chegam à praça, ou qualitativa, quando leva em consideração o tipo de veículo que chega, congestionamentos, comboios (NOVAES, 1975).

Edie (1954) concluiu que, quando os volumes de tráfego horário são relativamente baixos, a taxa de chegada se assemelha a uma distribuição de Poisson. A medida que o volume de tráfego horário aumenta, a curva tende a uma distribuição normal.

A disciplina da fila descreve a ordem na qual os usuários que entram no sistema são atendidos. A disciplina FIFO - first in, first out (PEPS - primeiro que entra é o primeiro que sai) é aplicada a maioria das situações de filas do dia a dia. No entanto, não pode deixar de ser citada a disciplina LIFO - last in, first out (UEPS - último que entra é o primeiro a sair), que se aplica, por exemplo, a um elevador que vem dos andares superiores para o térreo. Existe também o sistema de aleatoriedade, por exemplo, quando professores fazem chamada oral para os alunos e também a disciplina por prioridade como por exemplos “mulheres e crianças primeiro”, na espera por um lugar num bote salva-vidas (EDIE, 1975).

O processo de atendimento se configura pela quantidade de veículos atendidos por minuto e, assim como o processo de chegada, também se divide em regular (determinístico) ou aleatório (estocástico).

Em uma praça de pedágio, normalmente o processo de atendimento é estocástico, uma vez que os atendimentos dependem das características próprias da posição de serviço, do fator humano do arrecadador e também da disponibilidade do motorista. O fato de alternar períodos com baixa e alta demanda, faz com que o tempo de atendimento, em alguns casos, seja regido por uma distribuição exponencial (NOVAES, 1975). Por outro lado, outros autores sugerem que a afirmação de que o tempo de serviço segue uma distribuição exponencial, é uma conveniência matemática por se referir a uma distribuição sem memória, não importando o tempo em que foi realizado o atendimento (WAGNER, 1986) e que raramente se confirma na realidade, podendo ser melhor representada por uma distribuição de Erlang (PRADO, 2006).

Para representar o processo de atendimento, é usada a variável denominada taxa de atendimento e calculada dividindo-se o número de atendimentos (A) pelo intervalo total (t) (veíc/min)

$$\mu = \frac{A}{t} \quad (5)$$

Teoria das Filas: É uma modelagem dos sistemas em que as entidades que chegam aleatoriamente e necessitam de períodos diversos de tempo para serem atendidas, possam esperar em fila até serem servidas. Os modelos desse tipo trabalham com padrões típicos de chegada e atendimento, e por meio de fórmulas analíticas, medem características intrínsecas às filas de espera, tais como: comprimento, tempo de espera entre outros (PRADO, 2006).

A formação de uma fila decorre de um desequilíbrio entre a demanda por serviços e a capacidade destinada ao seu atendimento.

- “Linha de espera de clientes que demandam serviço a uma estação de serviço” (MIRSHAWKA, 1993);
- “Processo de chegada a um sistema de atendimento formado por um ou mais canais de serviços” (NOVAES, 1975);
- “De uma certa população ou fonte, surgem os clientes que formam uma fila aguardando algum tipo de serviço, saindo desse sistema após realizar tal serviço” (PRADO, 2006).

Ainda segundo Prado (2006) a Teoria das Filas analisa o fenômeno de formação de filas e suas características, com a finalidade de prever o seu comportamento de modo a permitir o dimensionamento adequado de instalações, equipamentos e sua infraestrutura. As características básicas analisadas no processo de filas são:

Processo de chegada dos clientes (demanda): É medido de duas formas:

1. Número médio de chegadas por uma dada unidade de tempo (taxa média de chegada);
2. Tempo médio entre chegadas sucessivas (intervalo médio de tempo entre chegadas).

Padrões de serviço dos atendentes (oferta): É descrito de duas formas:

1. Número de clientes atendidos em um dado intervalo de tempo (taxa de serviço);
2. Tempo necessário para atender o cliente (tempo de serviço).

Disciplina da fila (controle ou gerência da demanda): É a forma pela qual os clientes serão atendidos:

- 1 FIFO (first in, first out): Primeiro que chega é o primeiro a ser atendido;
- 2 LIFO (last in, first out): Último a chegar é o primeiro a ser atendido;
- 3 SIRO (service in random order): Seleção aleatória de serviços independente da ordem de chegada.

Número de canais de serviços (oferta/restrições ao atendimento): É o número de servidores paralelos, os quais prestam serviço simultâneo aos clientes:

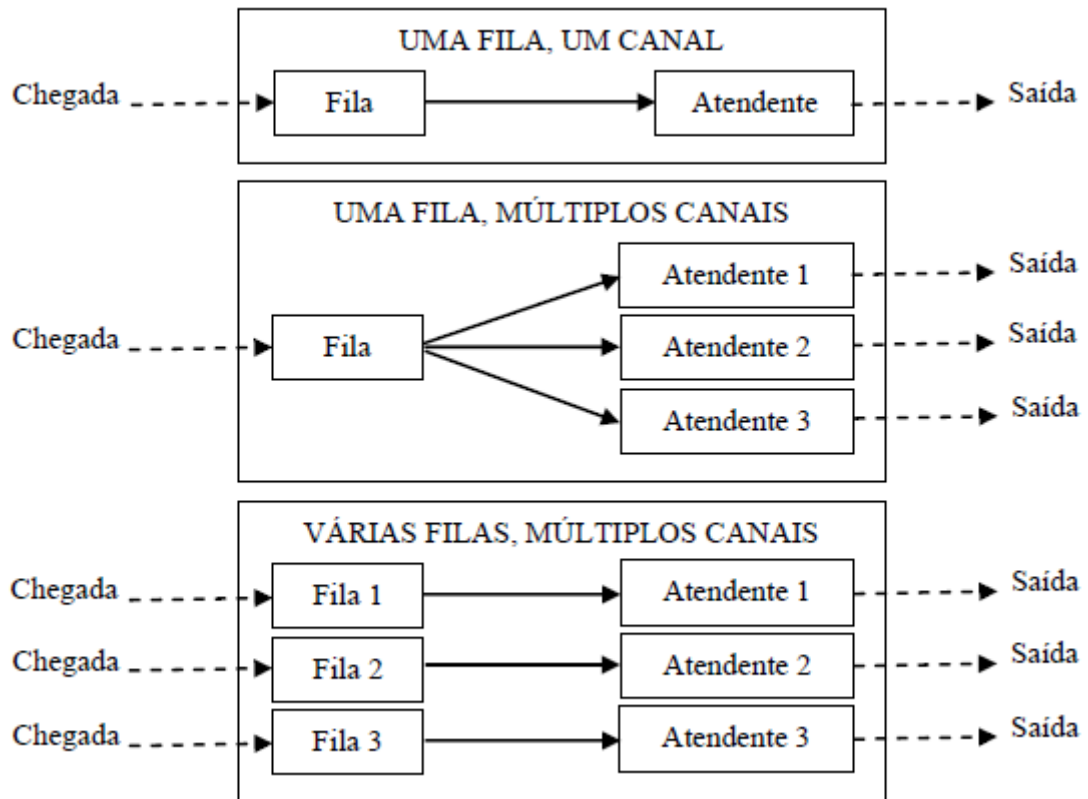
Um canal;

Múltiplos canais;

- Fila única,
- Uma fila para cada canal.

A Figura 3 mostra a estrutura dos sistemas de filas.

Figura 3- Estrutura dos sistemas de filas.



Fonte: Borges, 2010.

Em alguns processos de filas existem restrições físicas na quantidade de espaço de espera. Referem-se a situações finitas de fila, nas quais existe um limite para seu comprimento máximo, que reflete a capacidade máxima de armazenamento de clientes pelo sistema.

### 2.5.1 Número de etapas do serviço

Um sistema de filas pode apresentar:

1. Apenas uma etapa de serviço;
2. Várias etapas de serviço.

A partir dessas características é possível mensurar a eficiência do sistema de acordo com as seguintes medidas:

- Tempo de espera do cliente na fila; (Qualidade do serviço fornecido ao cliente)

- Número de clientes na fila; (Qualidade do serviço fornecido ao cliente)
- Tempo ocioso dos servidores. (Empresa responsável pela oferta do serviço)

O fluxo de tráfego é normalmente considerado constante em qualquer instante, com alterações ocorrendo lentamente, enquanto as medidas são realizadas a intervalos de tempo cada vez menores. Isso significa que, visto como um processo estocástico, o tráfego entre chegadas deve seguir uma distribuição exponencial.

- O tráfego é uniforme nas saídas das cabines de pedágio;

Será assumido que a saída das cabines de pedágio não contribuem para o atraso de forma que pudesse alterar o valor das variáveis consideradas no modelos.

- Os condutores sobre atraso enquanto esperam nas faixas de aproximação das cabines de pedágio para atendimento;

Se há uma fila na cabine de pedágio escolhida pelo condutor, este deverá aguardar que os condutores à sua frente sejam atendidos até que chegue a sua vez (FIFO).

- Os condutores sofrem atraso na coleta do pedágio, e este atraso é distribuído exponencialmente;

Todas as cabines são idênticas, e a média de tempo no atendimento das cabines é a mesma com o fluxo máximo de veículos com cabines entre 350 e 500 veículos por hora em cabines padrão (dinheiro ou automática). Assim como o fluxo de tráfego na rodovia, esta taxa pode ser considerada constante, seguindo também uma distribuição exponencial.

As cabines de pedágio expressas, nas quais os condutores não precisam parar, não são relevantes para o modelo por não permitirem a formação de fila (BORGES, 2010).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Métodos**

A realização desta pesquisa, na forma de estudo de caso, envolveu também pesquisa de campo realizada no local onde se formam as filas para a arrecadação da tarifa de pedágio.

A praça de pedágio fica entre a cidade de Botucatu e São Manuel, os dados foram coletados através do software utilizado pela empresa responsável pela concessão.

O estudo levou em consideração dados referentes ao tráfego de automóveis nas cobranças manuais na praça, nos seguintes moldes:

- Quantidade de veículos que passaram nas cabines manuais a cada hora do dia durante as vinte e quatro horas nos dias:
  - dia 08 de novembro de 2013, neste estudo tratado como “dia normal”;
  - dia 14 de novembro de 2013, neste estudo tratado como “véspera de feriado”.

Primeiramente, fez-se uma comparação do fluxo de veículos entre um dia normal e um véspera de feriado para uma cabine em operação, onde os resultados obtidos mostraram que não houve discrepância observada.

O segundo passo foi realizar o dimensionamento do nível de serviço empregando-se os dados totais da praça de pedágio para o dia normal, iniciando com a praça operando com quatro cabines e por fim com a praça operando com apenas uma cabine, tornando possível o correto dimensionamento para cada horário, para que o nível de serviço fosse considerado A.

#### **3.2 Formulação do Modelo de Filas para modelagem da Praça de Pedágio**

A primeira etapa consistiu em se analisar a frequência absoluta e relativa de uma cabine de pedágio em um dia normal e em um outro dia véspera de feriado. Após esta etapa procedeu-se o modelo de teoria das filas.

Ao montar o sistema baseado na teoria das filas, foram levados em consideração os seguintes fatores:

Utilização de modelo M/M/C, pois se verifica que as frequências de chegadas e atendimento são aleatórias, com vários canais de atendimento. Esta aleatoriedade pode ser justificada pela variabilidade do tráfego, modalidade de pagamento, quantidade de troco, agilidade do arrecadador, agilidade do usuário. Esta análise indica a utilização do modelo de filas estocástico.

As características do modelo de fila a ser considerado são as seguintes:

- a) Disciplina da fila: FIFO (Primeiro que entra, primeiro que sai);
- b) Taxa de chegada:  $\lambda = C/t$  (veic/min), C = chegadas em número de veículos;
- c) Taxa de Atendimento:  $\mu = A/t$  (veic/min), A = Atendimento em número de veículos.

O cálculo de probabilidade de ocorrência de um determinado número de veículos chegando a uma cabine de amostra foi feito por meio da distribuição de Poisson e comparada com a frequência relativa da amostra para se validar a sua aplicação.

### 3.3 Padrões Admissíveis

Com relação a tempo de atendimento e espera em fila temos as resoluções exigidas pela ARTESP (2013).

Os recursos materiais e humanos deverão ser dimensionados, em função do tráfego previsto, de modo a atender a níveis mínimos de serviço, expressos pelos seguintes indicadores:

- Tempo de cobrança de tarifa, necessário à operação manual de cobrança da tarifa pelo arrecadador, é calculado a partir do fornecimento do dinheiro pelo usuário ao atendente até a entrega do troco e/ou recibo: máximo de 12 (doze) segundos, em 85% dos casos considerados para fins de fiscalização. Nos 15% restantes o tempo não deverá exceder a média de 1(um) minuto;

- Tempo de Espera na fila, deve ser computado, acionando o cronômetro quando o veículo pesquisado se posicionar atrás do último veículo na fila; o final da cronometragem se dará quando este veículo se posicionar junto à cabine: não superior a 1 (um) minuto em 85%



das fiscalizações efetuadas. Nos 15% restantes o tempo não deverá exceder a média de 5 (cinco) minutos, no primeiro ano de operação, e de 3 (três) minutos, nos anos subsequentes.

- O nível de serviço nos pedágios também poderá ser medido, considerando o fluxo de chegada de veículos na praça (V) e a capacidade de atendimento nas cabines abertas (C). Para tanto, a fiscalização contará com equipamentos do tipo sensor de tráfego e CFTV instalados na praça. Estas imagens e dados de fluxo de veículos, futuramente, serão transmitidas ao COI - (Centro de Operações e Informações da ARTESP), on line e em tempo real, permitindo este tipo de Fiscalização”.

### **3.4 Estudo de caso**

#### **3.4.1 A Concessionária**

Em abril de 2009, a Concessionária Rodovias do Tietê assinou, junto ao Governo do Estado de São Paulo, o contrato de concessão de 30 anos do Corredor Leste da Rodovia Marechal Rondon. Para a gestão de 406 quilômetros de rodovias e acessos, a concessionária pagou, em 18 meses, R\$ 542 milhões a títulos de outorga fixa.

O trecho concedido é constituído pela SP-101 (Rodovia Jornalista Francisco Aguirra Proença), SP-113 (Rodovia Dr. João José Rodrigues), SP-308 (Rodovia Comendador Mário Dedini), SP-300 (Rodovia Marechal Rondon) e SP-209 (Rodovia Prof. João Hipólito Martins), interligando 25 municípios do interior do Estado de São Paulo.

Durante o período de concessão, serão investidos mais de R\$ 1,3 bilhão na duplicação de mais de 90 quilômetros de vias. Construção de 73 quilômetros de vias marginais, 87 quilômetros de faixas adicionais, 148 quilômetros de acostamentos e 24 passarelas. Entre as principais obras estão às duplicações das rodovias SP-101 e SP-308 e a construção dos Contornos de Piracicaba e de Maristela.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Comparação entre fluxo normal e feriado**

Os dados de um dia normal são apresentados na Tabela 2 e a Tabela 3 contém os dados de um dia de véspera de feriado.

A Tabela 2 contém os dados referentes a um dia normal de fluxo.

Tabela 2 - Fluxo de veículos em um dia normal para uma cabine de cobrança.

<b>Horas</b>	<b>Quant</b>	<b>Perc</b>
00:00	35	1,57%
01:00	23	1,03%
02:00	34	1,52%
03:00	12	0,54%
04:00	22	0,98%
05:00	32	1,43%
06:00	50	2,24%
07:00	95	4,25%
08:00	122	5,46%
09:00	128	5,73%
10:00	126	5,64%
11:00	126	5,64%
12:00	121	5,42%
13:00	118	5,28%
14:00	140	6,27%
15:00	149	6,67%
16:00	152	6,80%
17:00	161	7,21%
18:00	111	4,97%
19:00	112	5,01%
20:00	98	4,39%
21:00	95	4,25%
22:00	97	4,34%
23:00	75	3,36%
<b>Total</b>	<b>2234</b>	<b>100%</b>

Fonte: Rodovias do Tietê.

Pode-se observar que até cinco horas da manhã houve um fluxo inferior a 2% por hora do total do dia. O fluxo aumentou a partir das seis horas, crescendo até o pico que foi às 17 horas. Após o pico foi decrescente até às 23 horas.

A Tabela 3 mostra fluxo de veículos em véspera de feriado.

Tabela 3 – Fluxo de veículos em véspera de feriado para uma cabine de cobrança.

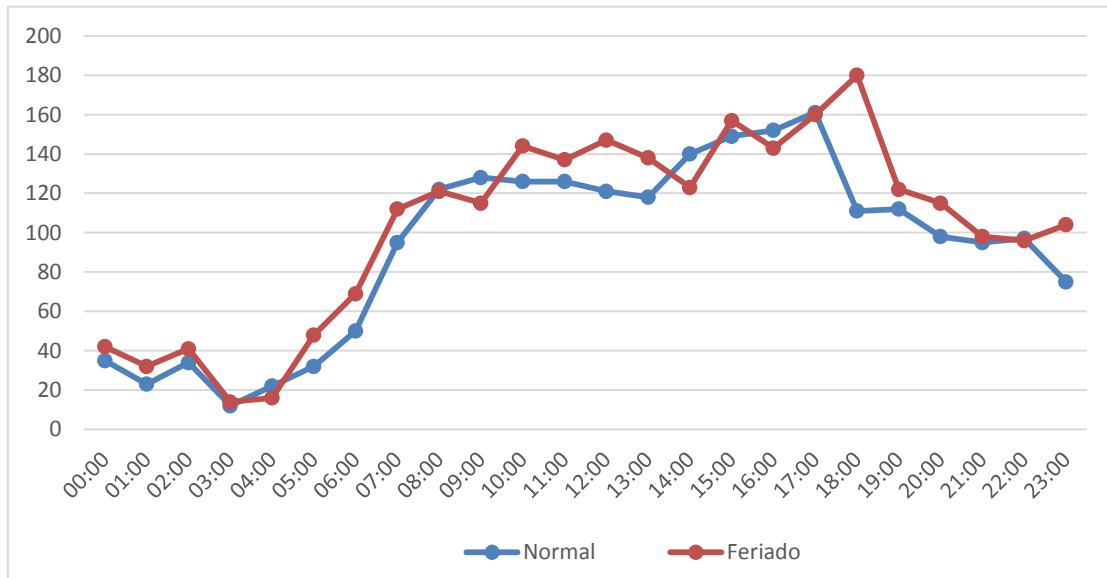
<b>Horas</b>	<b>Quant</b>	<b>Perc</b>
00:00	42	1,70%
01:00	32	1,29%
02:00	41	1,66%
03:00	14	0,57%
04:00	16	0,65%
05:00	48	1,94%
06:00	69	2,79%
07:00	112	4,53%
08:00	121	4,89%
09:00	115	4,65%
10:00	144	5,82%
11:00	137	5,54%
12:00	147	5,94%
13:00	138	5,58%
14:00	123	4,97%
15:00	157	6,35%
16:00	143	5,78%
17:00	160	6,47%
18:00	180	7,28%
19:00	122	4,93%
20:00	115	4,65%
21:00	98	3,96%
22:00	96	3,88%
23:00	104	4,20%
<b>Total</b>	<b>2474</b>	<b>100%</b>

Fonte: Rodovias do Tietê.

Comparando-se a Tabela 2 com a Tabela 3 podemos observar que na praça de pedágio em questão, em relação à quantidade total de veículos que passaram nos dois dias, não houve uma diferença significativa já que um dos períodos analisados diz respeito a um dia véspera de feriado. Do total de veículos houve um acréscimo de 10,7% para véspera de feriado em relação ao dia normal. O pico ocorreu às 18 horas.

A partir dos dados fornecidos pela empresa concessionária, a Figura 4 foi desenvolvida comparando a quantidade de veículos que passaram, no intervalo de uma hora, em ambos os dias.

Figura 4 - Comportamento de veículos ao longo de um dia normal e um dia véspera de feriado na praça de pedágio.



Na Figura 4 observa-se que entre 17 e 18 horas foi o momento onde o fluxo de veículos na via foi maior, representando o horário de pico, sendo que no dia véspera de feriado passaram 69 veículos a mais que no dia normal.

Através da Figura 4, pode-se analisar que o fluxo de veículos, nos dois dias, ficaram bem próximos, ou seja, nos horários correspondentes a quantidade de veículos que passaram nos mesmos horários não apresentaram discrepância observada.

Já os horários que apresentaram fluxos menores de veículos, foram entre as 3 e 4 horas. Assim é possível dimensionar o número ideal de arrecadadores levando em consideração os horários de alto e baixo fluxo de veículos na via.

A Tabela 4 mostra o fluxo de veículos em véspera de feriado.

Tabela 4 – Fluxo de veículos em véspera de feriado e distribuição de Poisson.

Horas	Quant	Perc	Poisson
00:00	42	1,70%	0,00%
01:00	32	1,29%	0,00%
02:00	41	1,66%	0,00%
03:00	14	0,57%	0,00%
04:00	16	0,65%	0,00%
05:00	48	1,94%	0,00%
06:00	69	2,79%	0,16%
07:00	112	4,53%	0,61%
08:00	121	4,89%	0,08%
09:00	115	4,65%	0,33%
10:00	144	5,82%	0,00%
11:00	137	5,54%	0,00%
12:00	147	5,94%	0,00%
13:00	138	5,58%	0,00%
14:00	123	4,97%	0,04%
15:00	157	6,35%	0,00%
16:00	143	5,78%	0,00%
17:00	160	6,47%	0,00%
18:00	180	7,28%	0,00%
19:00	122	4,93%	0,06%
20:00	115	4,65%	0,33%
21:00	98	3,96%	3,53%
22:00	96	3,88%	3,88%
23:00	104	4,20%	2,09%
Total	2474		

Observou-se na Tabela 4 que a distribuição de Poisson não apresentou o fluxo adequado de probabilidade observada comparando-se com os dados reais. Somente as 21 e 22 horas houve um ajuste adequado.

#### 4.2 Dimensionamento do nível de serviço

Para o dimensionamento do nível de serviço empregou-se dados totais da praça de pedágio para o dia normal.

A Tabela 5 mostra que quando a praça de pedágio atua com sua capacidade total, ou seja, com 04 cabines em funcionamento, o nível de serviço foi sempre A. Pois nenhum veículo precisou esperar mais do que 15 segundos para ser atendido.

Tabela 5 - Nível de serviço com praça de pedágio operando com 04 cabines.

Horas	Média Cab	Car/Min	Seg. entre carros	Seg. sobra	Nível
00:00	53	0,88	68,57	53,57	A
01:00	35	0,58	104,35	89,35	A
02:00	51	0,85	70,59	55,59	A
03:00	18	0,30	200,00	185,00	A
04:00	33	0,55	109,09	94,09	A
05:00	48	0,80	75,00	60,00	A
06:00	75	1,25	48,00	33,00	A
07:00	143	2,38	25,26	10,26	A
08:00	183	3,05	19,67	4,67	A
09:00	192	3,20	18,75	3,75	A
10:00	189	3,15	19,05	4,05	A
11:00	189	3,15	19,05	4,05	A
12:00	182	3,03	19,83	4,83	A
13:00	177	2,95	20,34	5,34	A
14:00	210	3,50	17,14	2,14	A
15:00	224	3,73	16,11	1,11	A
16:00	228	3,80	15,79	0,79	A
17:00	242	4,03	14,91	-0,09	A
18:00	167	2,78	21,62	6,62	A
19:00	168	2,80	21,43	6,43	A
20:00	147	2,45	24,49	9,49	A
21:00	143	2,38	25,26	10,26	A
22:00	146	2,43	24,74	9,74	A
23:00	113	1,88	32,00	17,00	A

A Tabela 6 se refere ao nível de serviço com a praça operando-se com 03 cabines, é possível observar que no intervalo entre 08 e 17 horas o nível de serviço caiu para B, neste período o fluxo de veículos é maior, entre um atendimento e outro não houve sobra de tempo, conseqüentemente formou fila. Os valores negativos para a coluna “Seg. sobra” indicam o tempo de espera para o veículo naquela hora do dia. A maior espera ocorreu às 17 horas com 3,82 segundos.

Tabela 6 - Nível de serviço com praça de pedágio operando com 03 cabines.

Horas	Média		Seg, entre carros	Seg. sobra	Nível
	Cab	Carros/Min			
00:00	70	1,17	51,43	36,43	A
01:00	46	0,77	78,26	63,26	A
02:00	68	1,13	52,94	37,94	A
03:00	24	0,40	150,00	135,00	A
04:00	44	0,73	81,82	66,82	A
05:00	64	1,07	56,25	41,25	A
06:00	100	1,67	36,00	21,00	A
07:00	190	3,17	18,95	3,95	A
08:00	244	4,07	14,75	-0,25	B
09:00	256	4,27	14,06	-0,94	B
10:00	252	4,20	14,29	-0,71	B
11:00	252	4,20	14,29	-0,71	B
12:00	242	4,03	14,88	-0,12	B
13:00	236	3,93	15,25	0,25	B
14:00	280	4,67	12,86	-2,14	B
15:00	298	4,97	12,08	-2,92	B
16:00	304	5,07	11,84	-3,16	B
17:00	322	5,37	11,18	-3,82	B
18:00	222	3,70	16,22	1,22	A
19:00	224	3,73	16,07	1,07	A
20:00	196	3,27	18,37	3,37	A
21:00	190	3,17	18,95	3,95	A
22:00	194	3,23	18,56	3,56	A
23:00	150	2,50	24,00	9,00	A



Com apenas 02 cabines em funcionamento, conforme Tabela 7, o intervalo com nível de serviço B aumentou, ficando entre as 07 e 22 horas. Pode-se analisar também, que às 17 horas foi o momento em que a formação de fila foi maior, já que na coluna “Seg. sobra” o resultado foi -7,55, indicando que entre um atendimento e outro faltou aproximadamente 8 segundos para que o nível de serviço fosse considerado A. Portanto, em 24 horas de funcionamento, 16 horas do dia o nível caiu para B representando 66% do dia.

Tabela 7 - Nível de serviço com praça de pedágio operando com 02 cabines.

Horas	Média		Seg. entre carros	Seg. sobra	Nivel
	Cab	Carros/Min			
00:00	105	1,75	34,29	19,29	A
01:00	69	1,15	52,17	37,17	A
02:00	102	1,70	35,29	20,29	A
03:00	36	0,60	100,00	85,00	A
04:00	66	1,10	54,55	39,55	A
05:00	96	1,60	37,50	22,50	A
06:00	150	2,50	24,00	9,00	A
07:00	285	4,75	12,63	-2,37	B
08:00	366	6,10	9,84	-5,16	B
09:00	384	6,40	9,38	-5,63	B
10:00	378	6,30	9,52	-5,48	B
11:00	378	6,30	9,52	-5,48	B
12:00	363	6,05	9,92	-5,08	B
13:00	354	5,90	10,17	-4,83	B
14:00	420	7,00	8,57	-6,43	B
15:00	447	7,45	8,05	-6,95	B
16:00	456	7,60	7,89	-7,11	B
17:00	483	8,05	7,45	-7,55	B
18:00	333	5,55	10,81	-4,19	B
19:00	336	5,60	10,71	-4,29	B
20:00	294	4,90	12,24	-2,76	B
21:00	285	4,75	12,63	-2,37	B
22:00	291	4,85	12,37	-2,63	B
23:00	225	3,75	16,00	1,00	A

Com uma cabine em operação, observa-se na Tabela 8, apenas nas 5 primeiras horas do dia o nível de serviço foi A. Entre 16 e 17 horas, foi o período em que o fluxo foi maior, onde entre um atendimento e outro faltou aproximadamente 11 segundos para que o nível de serviço fosse considerado A.

Tabela 8 - Nível de serviço com praça de pedágio operando com 01 cabine.

Horas	Média		Seg. entre		Nível
	Cab	Carros/Min	carros	Segundos sobra	
00:00	210	3,50	17,14	2,14	A
01:00	138	2,30	26,09	11,09	A
02:00	204	3,40	17,65	2,65	A
03:00	72	1,20	50,00	35,00	A
04:00	132	2,20	27,27	12,27	A
05:00	192	3,20	18,75	3,75	A
06:00	300	5,00	12,00	-3,00	B
07:00	570	9,50	6,32	-8,68	B
08:00	732	12,20	4,92	-10,08	B
09:00	768	12,80	4,69	-10,31	B
10:00	756	12,60	4,76	-10,24	B
11:00	756	12,60	4,76	-10,24	B
12:00	726	12,10	4,96	-10,04	B
13:00	708	11,80	5,08	-9,92	B
14:00	840	14,00	4,29	-10,71	B
15:00	894	14,90	4,03	-10,97	B
16:00	912	15,20	3,95	-11,05	B
17:00	966	16,10	3,73	-11,27	B
18:00	666	11,10	5,41	-9,59	B
19:00	672	11,20	5,36	-9,64	B
20:00	588	9,80	6,12	-8,88	B
21:00	570	9,50	6,32	-8,68	B
22:00	582	9,70	6,19	-8,81	B
23:00	450	7,50	8,00	-7,00	B

Em relação ao número ideal de cabines abertas, em cada horário para obter-se nível de serviço A, tem-se a Tabela 9.

Tabela 9 – Cabines necessárias a cada hora para se ter Nível A.

Horas	Média Cab	Carros/Min	Seg. entre carros	Segundos sobra	Nível	Nº cab
00:00	210	3,50	17,14	2,14	A	1,00
01:00	138	2,30	26,09	11,09	A	1,00
02:00	204	3,40	17,65	2,65	A	1,00
03:00	72	1,20	50,00	35,00	A	1,00
04:00	132	2,20	27,27	12,27	A	1,00
05:00	192	3,20	18,75	3,75	A	1,00
06:00	150	2,50	24,00	9,00	A	2,00
07:00	190	3,17	18,95	3,95	A	3,00
08:00	183	3,05	19,67	4,67	A	4,00
09:00	192	3,20	18,75	3,75	A	4,00
10:00	189	3,15	19,05	4,05	A	4,00
11:00	189	3,15	19,05	4,05	A	4,00
12:00	182	3,03	19,83	4,83	A	4,00
13:00	177	2,95	20,34	5,34	A	4,00
14:00	210	3,50	17,14	2,14	A	4,00
15:00	224	3,73	16,11	1,11	A	4,00
16:00	228	3,80	15,79	0,79	A	4,00
17:00	242	4,03	14,91	-0,09	A	4,00
18:00	222	3,70	16,22	1,22	A	3,00
19:00	224	3,73	16,07	1,07	A	3,00
20:00	196	3,27	18,37	3,37	A	3,00
21:00	190	3,17	18,95	3,95	A	3,00
22:00	194	3,23	18,56	3,56	A	3,00
23:00	225	3,75	16,00	1,00	A	2,00

A Tabela 9, mostra que nas primeiras 5 horas do dia apenas uma cabine em operação seria o suficiente. Às 6 horas apenas duas cabines seriam suficientes e às 7 horas seriam preciso três cabines. Já entre as 08 e 17 horas a praça de pedágio deveria operar com 04 cabines para que o nível de serviço não caísse para B. E entre as 18 e 22 horas operar com 03 cabines para que o mesmo não ocorresse.

## 5 CONCLUSÃO

A partir do estudo pode-se afirmar que o presente trabalho atingiu os objetivos traçados inicialmente, dimensionando a praça de pedágio quanto ao número ideal de cabines para cada horário, tanto em um dia de alto fluxo como num dia de baixo movimento, levando em consideração as características da praça e o nível de serviço para os usuários, que por estarem pagando buscam resultados imediatos.

O estudo levou em consideração as cobranças manuais, visto que em casos de cobrança automática, a não ser por problemas técnicos, a formação de filas é praticamente inexistente. Sendo assim, o foco deste estudo foi em relação às cobranças manuais. Os dados utilizados foram disponibilizados pela empresa concessionária, que foram coletados pelo software da mesma.

O dia normal e o dia de véspera de feriado apresentaram volumes diferentes de veículos, sendo que na véspera de feriado houve uma frequência superior em 10,7%. Porém pode-se visualizar um comportamento semelhante nos horários de maior e menor frequência de veículos. Estudos de comportamento de horários podem direcionar informações para os motoristas, pelos meios de comunicação como rádios e de informação eletrônica das rodovias, sobre os momentos de menor fluxo na praça de pedágio reduzindo-se filas e o tempo de viagem.

A distribuição de Poisson não se mostrou adequada para estas amostras. Contudo um número maior de dias de coletas de dados (amostras) pode ser necessário, permitindo uma melhor avaliação da adequação de um modelo de distribuição.

O estudo permitiu determinar que a manutenção de serviço no nível A pode ser atingida por meio de um escalonamento do número de cabines em operação. Verificou-se, em dia normal, que em dez horas do dia (8 às 17h) são necessárias 4 cabines em 41,7% do tempo; em seis horas do dia (7h e das 19 às 22h) são necessárias 3 cabines com 25% do tempo; em duas horas do dia (6 e 23h) são necessárias 2 cabines com 8,3% do tempo e nas seis horas restantes (0 às 5h) é necessário apenas uma cabine com os 25% das horas do dia restantes.

Conclui-se que a gestão de uma praça de pedágio ou mesmo de uma rodovia pode ser beneficiada por estudos de comportamento das filas dos veículos, aumentando o conforto para o cliente da concessionária e reduzindo custos operacionais e de investimentos em infraestrutura.

## REFERÊNCIAS

- ANECKER, C.J. Jr; GAFARIAN, A.V; **Queuing with multiple Poisson inputs and exponential services time**. Journal of the Operations Research Society of America, v. 5, p. 321 – 327, 1960.
- ANDRADE, E. B. **Apostila de Gestão da Manutenção**. Florianópolis, CEFET/SC, 2002.
- ANDRADE, E. L. Introdução à Pesquisa Operacional: **Métodos e Modelos para Análise da Decisão**. Rio de Janeiro: LTC, 2004.
- ARAÚJO, J.J. – **Características operacionais de praças de arrecadação de pedágio**. São Carlos, 2001. Dissertação de Mestrado da EESC / USP.
- BORGES, R. M; COELHO, A.S., **Teoria das Filas e da Simulação Aplicada ao Embarque de Ferro e Manganês No Terminal de Ponta da Madeira**, 2010. Disponível em: <<http://www.administradores.com.br/informe-se/producao-academica/teoria-das-filase-da-simulacao-aplicada-ao-embarque-de-minerio-de-ferro-e-manganes-no-terminalmaritimo-de-ponta-da-madeira/3549/download/>>. Visualizado em 09 Set, 2013.
- BRONSON, R. **Pesquisa operacional**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985.
- CAMPBELL, J. O poder do mito. 19. ed. São Paulo: Palas Athena, 2001.
- CARRIÓN, E. A., Teoria das filas como ferramenta para análise de desempenho de sistemas de atendimento: Estudo de caso de um servidor da UECE – **Dissertação de Mestrado**, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, Ceará, 2007.
- COSTA, L. C. **Teoria das Filas**. Disponível em: [http://www.deinf.ufma.br/~mario/grad/filas/TeoriaFilas\\_Cajado.pdf](http://www.deinf.ufma.br/~mario/grad/filas/TeoriaFilas_Cajado.pdf). Acesso em 03 out. 2013.
- COSTA, L. C.. **Apostila da disciplina de Teorias das Filas e Simulação**. Centro Tecnológico da Universidade Federal do Maranhão – UFMA. Maranhão, 2006.
- DANKO, J; GULEWICZ V. Insight through innovations: **A dynamic approach to demand based toll plaza lane staffing**. In: Proceedings of the 1994 Winter Simulation Conference. p. 1116 - 1123.  
Disponível em <<http://www.antt.gov.br/conces/saorod/apresentacaorod.asp>>. Visualizado em 10 Nov, 2013.
- EDIE, L.E. Traffic delays at toll booths. **Journal of the Operations Research Society of America**, v.2 p. 107-138, 1954.
- GROSS, D., HARRIS. C.M. **Fundamentals Queueing Theory**, Wiley series in Probability and Mathematical Statistics, New York, 1974.
- LIN, F. B.; SU, C. W. **Level of Service Analysis of Toll Plazas on Freeway Main Lines**. Journal of Transportation Engineering, v. 120, n. 2, p. 246 – 263, 1994.
- MAGALHÃES, M. N. **Introdução à Rede de Filas**. São Paulo, 1996.

- MENDES, A. C. **Aplicação da simulação de teoria de filas nos estudos de confiabilidade e otimização de equipes de manutenção**. 20º Congresso Brasileiro de Manutenção. ABRAMAN. 2005.
- MIRANDA, J. C. **O Software ARENA**. Monografia. Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS-MG, Minas Gerais, 2006.
- MIRSHAWKA, V.; OLMEDO, N. L. **Manutenção: Combate aos custos de não eficácia**. São Paulo: Makron Books, 1993.
- NOVAES, A.G. **Pesquisa operacional e transportes: modelos Probabilísticos**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, E. da Universidade de São Paulo, 1975.
- OLIVEIRA, M.L de, NETO, J.M.R., CYBIS, E H.B. **A Influência do tamanho das Filas na capacidade de atendimento das praças de pedágio**. Rio de Janeiro, v. 2, p. 1264-1275.
- PORTUGAL, L. S. **Simulação de tráfego: conceitos e técnicas de modelagem**. Rio de Janeiro: Interciência, 2005.
- PRADO, D. S. **Teoria das Filas e da Simulação**. Nova Lima, Minas Gerais, 2006.
- PRADO, D. S. **Usando o Arena em Simulação**. Belo Horizonte, 2008.
- REILLY, C. **Logistic service measurement: a reference framework**. Journal of Manufacturing Technology Management. Vol. 24, N. 3, p. 280-290, 2004.
- SENNA, L. S; MICHEL, F. D. **Concessão de rodovias no Rio Grande do Sul - Análise das razões de sua implantação, da visão dos usuários, do custo-benefício e de seu impacto econômico**. Laboratório de Transportes da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998. Disponível em: <<http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/arquivos/concessao.pdf>>. Visualizado em 09 Set, 2013.
- TIEFENSEE, M. D. **Dimensionamento de cabines de cobrança em praças de pedágio**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.
- TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. (TRB). **Highway capacity manual 2000**. Washington, D.C: National Research Council, 2000.
- WAGNER, H.M. **Pesquisa operacional**. Rio de Janeiro: Prentice Hall do Brasil, 1986.
- WIDMER, J. **Contribuição à análise de problemas de filas e estoques nos transportes**. São Carlos, 1989. Tese de livre docência. EESC / USP.
- WOO, T. H; HOEL, L. H. **Tool plaza e capacity and level of Service**. Transportation Research Record 1320, Transportation Research Board, Washington, D.C, p. 119-127, 1991.
- ZARRILLO, M. L; RADWAN, A; AL-DEEK, H.M. **Modeling traffic operations at electronic toll collection and traffic management Systems**. *Computers and Industrial Engineering*, v. 33, n. 3-4, p. 857- 860, 1997.

Botucatu, 15 de junho de 2015.

---

Nádia de Araujo Alves

De Acordo:

---

Prof. Dr. Paulo André de Oliveira  
Orientador

---

Prof. MSc. Vítor Campos Leite  
Coordenador do Curso de Produção Industrial