DIMENSIONAMENTO DE UMA PRAÇA DE PEDÁGIO NO BRASIL: ESTUDO DE CASO EM UM FERIADO PROLONGADO

Patrícia Pereira Arantes Inácio
Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI
Av. BPS, 1303, bairro Pinheirinho, Itajubá - MG
pati.arantes@hotmail.com

Vinicius Paes
Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI
Av. BPS, 1303, bairro Pinheirinho, Itajubá - MG
vinicius.paes@unifei.edu.br

Mateus Santos
Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI
Av. BPS, 1303, bairro Pinheirinho, Itajubá - MG
mateus.gabriel@yahoo.com.br

Bruno Borges
Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI
Av. BPS, 1303, bairro Pinheirinho, Itajubá - MG
brunoborges@br-petrobras.com.br

Josiane Palma Lima
Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI
Av. BPS, 1303, bairro Pinheirinho, Itajubá - MG
jpalmalima@gmail.com

RESUMO

O modal rodoviário é o principal meio de transporte utilizado no Brasil, sendo que a concessão de rodovias para o setor privado foi uma alternativa encontrada pelo governo para tentar garantir a conservação de toda infraestrutura. Concessionárias responsáveis pelas rodovias precisam atender níveis de serviço definidos em contrato, que consideração medidas de desempenho qualitativas, como o desconforto e a inconveniência percebidos pelo usuário. Neste trabalho é proposto um dimensionamento de cabines de pedágio visando atender níveis os serviços acordados, em um feriado prolongado, através da modelagem e simulação. Para levantamento dos dados foram analisados documentos e vídeos disponibilizados pela empresa, além de visitas in loco. Os resultados mostram que no cenário atual há um superdimensionamento da praça de pedágio, análises de diferentes cenários mostram que é possível atender ao nível de serviço acordado com 5 cabines manuais e 3 cabines eletrônicas a menos do que a atual configuração da praça.

PALAVRAS CHAVES. Simulação, Praça de pedágio, Dimensionamento.
Tópicos. SIM - Simulação

ABSTRACT

The road transport is the main transport option in Brazil, and the highway concession to the private sector was an alternative used by the government to ensure the conservation of the infrastructure. Concessionaires responsible for the highways must meet service levels defined in contract, which considerate qualitative measures of performance, such as discomfort and inconvenience experienced by the user. This paper proposes the sizing of toll booths to meet satisfactory levels of service in an extended holiday, through modeling and simulation. For the data collect, documents and videos provided by the concessionaire were analyzed, as well person visits to the toll plaza. The results show that in the present scenario there is an oversizing, with

idle resources. Analysis of different scenarios show that it is possible to meet the service level agreement with five less manuals booths and 3 less electronic booths than the current setting.
KEYWORDS. Simulation, Toll Plaza, Sizing.
Paper topics. SIM - Simulation

1. Introdução

O processo de concessão de rodovias vem se mostrando uma alternativa para a melhoria da infraestrutura de transportes no Brasil. Esta conservação é fundamental, visto que o transporte rodoviário é predominante no país, servindo tanto para o transporte doméstico, quanto para escoamento de produtos, sendo fundamental no sistema produtivo [Caixeta-Filho e Martins 2001]. A necessidade de acesso fácil e de baixo custo entre o fluxo de mercadorias e cargas na cadeia de suprimentos contribui fundamentalmente para o aumento da competitividade. Entretanto, para que isso ocorra é necessário que os níveis de serviço oferecidos ou que as medidas qualitativas de desempenho sejam satisfatórias. Para isso é preciso estabelecer uma escala de avaliação do nível de serviço a fim de capturar os níveis de desconforto e inconveniência percebidos pelos usuários [Oliveira e Cybis 2006].

Pensando no nível de serviço que as concessionárias de pedágio devem atender segundo acordos estabelecidos entre a concessionária e a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), o presente trabalho tem por objetivo definir o número de cabines de cobrança manual e eletrônica em uma praça de pedágio, localizada no estado de São Paulo, para disponibilizar aos usuários o nível de serviço acordado em circunstância de maior demanda.

A fim de alcançar este objetivo, foi utilizado o *software* ProModel para validar o modelo e simular o comportamento da praça de pedágio durante o período analisado e dessa maneira definir o número de cabines necessárias. É importante ressaltar que, apesar de existirem softwares de simulação específicos para a simulação de problemas de transporte, optou-se pela utilização do ProModel para, além do resultado prático, verificar como um software não específico se comporta ao simular problemas de transporte.

2. Características operacionais da praça de pedágio

O pedágio rodoviário é uma intervenção física instalada na rodovia que restringe o direito de passagem mediante pagamento de tributo ao poder público ou à concessionária privada [Alvarenga et al. 2006]. Segundo dados do Relatório Anual da ABCR [2013], no Brasil existiam 283 pontos de cobrança de pedágio distribuídos entre 57 concessionárias associadas no ano de 2013 e que juntas tiveram um fluxo de 1.671.479.072 veículos passando pelas cabines de pedágio neste mesmo ano.

Cada praça de pedágio possui características únicas, definidas de acordo com as particularidades do tráfego que por ela passa e do tipo da via na qual é implantada. Uma praça de pedágio pode ser definida como a área onde o pedágio é cobrado [Faria e Campos 2012]. Tal área tem início onde a estrada se alarga o suficiente para que sejam instalados quantos postos de cobrança sejam necessários, para o atendimento da demanda do tráfego, se estendendo pelas ilhas de cobrança e terminando onde a rodovia volta à sua largura original [Schaufler 1997].

As praças de pedágio se diferenciam em função das características de sua operação no Brasil, que incluem: (i) forma de cobrança, (ii) localização dentro do sistema viário e (iii) layout [Faria e Campos 2012]. A forma de cobrança pode ocorrer de três maneiras: manual, eletrônica e automática. Entende-se por cobrança manual aquela em que o veículo tem que parar na cabine de cobrança onde ocorrerá uma interação entre o usuário e o operador de caixa para realizar a transação [Tiefensee 2005]. Já a eletrônica é um sistema em que uma antena identifica o veículo equipado com uma etiqueta ou com um *transponder* quando este se aproxima da praça. Desta forma, o sistema debita o valor da tarifa correspondente ao veículo. Por fim, a cobrança automática consiste no pagamento da tarifa em máquinas automáticas de moedas. O usuário se aproxima da cabine e, em vez de interagir com o arrecadador, insere quantas moedas sejam necessárias para efetuar o pagamento [Toralles e Paulistsch 2010].

Em relação ao modo de cobrança da tarifa, o pedágio pode ser considerado um obstáculo, pois provoca alteração no perfil de velocidade de curso dos veículos, aumentando assim, o tempo de percurso [Alves et al. 2011]. Sob o ponto de vista da engenharia de tráfego, a cobrança de pedágio geralmente atua como um gargalo ao fluxo nas rodovias, uma vez que a capacidade das praças costuma ser menor do que a capacidade das rodovias onde estas praças estão inseridas [Obelheiro et al. 2010]. Araújo [2001] comenta que essas paradas impedem o fluxo contínuo do tráfego, aumentam o tempo total de viagem e potencialmente podem reduzir o nível de serviço na rodovia.

2.1 Níveis de serviço

A ineficiência do sistema de pedagiamento é fonte de preocupação para operadores das praças e órgãos reguladores. Filas nas cabines podem ocasionar aumento no (i) tempo total de viagem, (ii) no consumo de combustível, (iii) no ruído devido ao constante movimento de acelerações e desacelerações nas filas, (iv) emissão de poluentes, (v) risco de acidentes dentro das praças, entre outros [Oliveira e Cybis 2006].

O nível de serviço é uma medida qualitativa que sintetiza as condições operacionais de um fluxo de tráfego e suas percepções pelos usuários [Araújo 2001]. A análise da qualidade dos serviços em sistemas de transporte é cada vez mais importante, tendo em vista que este fator serve para avaliar o desempenho do sistema e mudanças implantadas [Faria e Campos 2012]. Para Nascimento, Caldas e Paula [2007] os níveis de serviço de uma praça de pedágio podem ser qualificados através de vários indicadores, sendo que no estudo que realizaram, as qualificações foram dadas através de três grupos de indicadores: análise de conflitos, análise de indicadores de qualidade e utilização física da praça. Enquanto que para Araújo e Setti [2006] a qualidade dos serviços prestados aos usuários envolve aspectos referentes ao estado do pavimento e da sinalização, aos serviços de assistência ao usuário e a capacidade e nível de serviço dos diversos segmentos.

Ainda de acordo com Araújo e Setti [2006] um dos pontos mais críticos da qualidade do serviço prestado está na cobrança de pedágio que afeta significativamente a percepção do nível de serviço. Demoras excessivas causadas por falhas no projeto, no dimensionamento ou na operação da praça podem influir direta e negativamente na opinião do usuário da rodovia. Complementando Obelheiro et al. [2010] comentam que o desempenho operacional de praças de pedágio depende de sua capacidade de atendimento, sendo está diretamente relacionada com os tempos de atendimento dos veículos nas cabines.

3 Simulação

Segundo O'Kane et al. [2000] a simulação é o ato de imitar um procedimento real em menor tempo e com menor custo, permitindo um estudo do que vai acontecer e de como consertar erros que gerariam grandes gastos. Para Harrel et al. [2000] e Law e Kelton [2000], a simulação é a imitação de um sistema real, modelado em computador, para avaliação e melhoria de seu desempenho. Ou seja, simulação é a importação da realidade para um ambiente controlado onde se pode estudar o comportamento do mesmo, sob diversas condições, sem riscos físicos e/ou grandes custos envolvidos.

Para os autores Chwif e Medina [2007] ao desenvolver um estudo de simulação é necessário realizar três grandes etapas: a concepção do modelo, a implementação do modelo e a análise dos resultados. Para uma melhor compreensão das atividades relacionadas a cada uma destas etapas, Montevechi et al. [2010] propõem uma metodologia que explica a lógica de um projeto de simulação. Essa lógica pode ser observada na Figura 1.

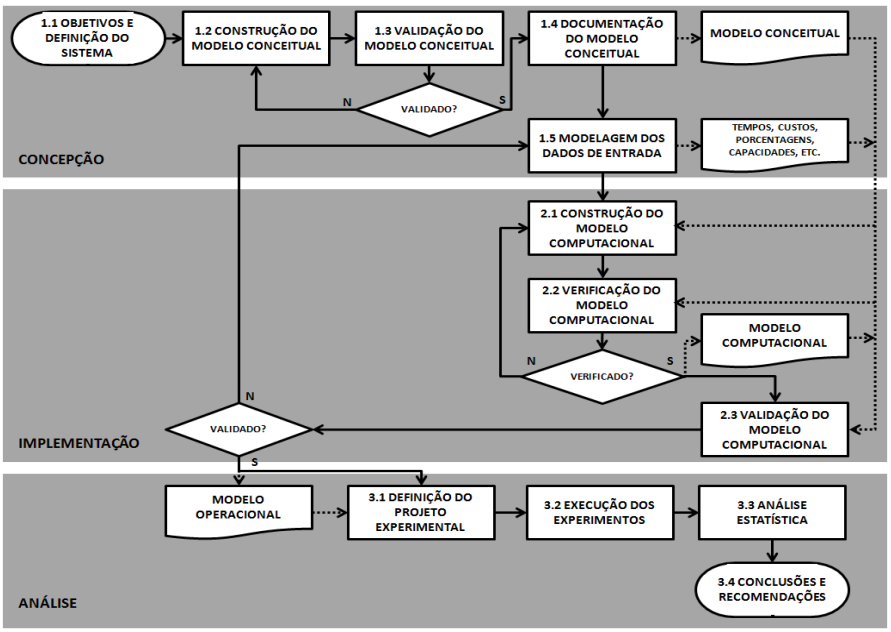

Figura 1 - Etapas de um estudo de simulação. Fonte: Montevechi et al. [2010]

A primeira etapa, denominada Concepção, visa elucidar o sistema a ser estudado. Assim, é nessa fase que devem ser definidos o problema de simulação, o seu escopo, a criação do modelo conceitual e a coleta de dados necessários. Para Robinson [2004] o modelo conceitual consiste na descrição do modelo de simulação a ser desenvolvido, caracterizando os objetivos, as entradas, as saídas, o conteúdo suposições e simplificações do modelo.

A segunda grande etapa, a Implementação, é a tradução do modelo conceitual para a linguagem computacional, realizada através de um *software* de simulação. Após a construção do modele computacional este deve ser verificado e validado. Para Sargent [2010] a verificação garante que a programação e a implementação do modelo computacional estejam corretas, enquanto a validação determina se as saídas do modelo possuem a precisão necessária para o objetivo desejado.

Por fim, são realizadas experimentações com o modelo e alternativas de soluções são analisadas tendo em vista os objetivos definidos. Essa análise consiste na última etapa chamada Análise.

4 Metodologia

O presente trabalho utiliza o método de pesquisa Modelagem e Simulação, tendo por base as etapas propostas por Montevechi et al. [2010]. O levantamento dos dados ocorreu através da análise de vídeos e documentos disponibilizados pela empresa, bem como visitas *in loco*.

Para a realização da pesquisa foi estudado apenas um sentido da via, que é composta por 14 vias de atendimento manual e 4 vias de atendimento eletrônico (AVI). O processo estudado se inicia com a chegada de um veículo ao garrafão, momento em que a pista se alarga. Após a chegada, o veículo entra num processo decisório onde ele deve optar por uma das cabines da praça. Após a decisão o veículo entra em uma fila. Caso haja algum veículo a sua frente este deve aguardar, caso contrário, o veículo será processado e deixará o sistema.

Observe na Figura 2 o layout de uma praça de pedágio localizada no estado de São Paulo.

Figura 2 - Vista aérea da praça de pedágio de Vargem (São Paulo). Fonte: Costa, Bragança-Jornal Diário [2012]

5 Projeto de simulação

5.1 Concepção

A simulação desenvolvida teve por objetivo auxiliar os gestores de uma praça de pedágio na tomada de decisão. Para o desenvolvimento e validação dessa ferramenta foi escolhida uma praça de pedágio localizada no estado de São Paulo. Uma das maiores companhias do setor de concessões de rodovias em quilômetros administrados, a empresa estudada está presente em 5 estados brasileiros, dentre eles São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro. Devido ao termo de sigilo solicitado, não será divulgado o nome da empresa nem a localização específica da praça de pedágio estudada. A praça de pedágio está localizada em um ponto estratégico, interligando importantes rodovias e dois estados brasileiros. Além disso, da concessão, ela é a praça que possui o maior fluxo de veículos.

5.1.1 Modelagem conceitual

Leal et al. [2008] propõem uma técnica de modelagem conceitual, denominada IDEF-SIM, que, ao oferecer elementos lógicos de uso específico em projetos de simulação, favorecem a representação do sistema de forma satisfatória e com leitura simplificada, bem como potencializam o processo de documentação. O IDEF-SIM foi criado a partir de duas técnicas de Modelagem de Processos de Negócio (do inglês *Business Proccess Modeling* ou BPM) já consagradas, o IDEF0 e IDEF3. Desta forma, a interpretação de seus símbolos e aplicação torna-se mais rápida e fácil (Mendonça *et al*. 2013). A simbologia utilizada no IDEF-SIM pode ser observada no Quadro 1.

Quadro 1 - Simbologia utilizada na técnica IDEF-SIM

Elementos	Simbologia		Elementos	Simbologia
Entidade			Controles	
Funções			Movimentação	
Recursos			Fluxo de entrada no sistema modelado	
Regras para fluxos paralelos e/ou alternativos	&	Regra E	Fluxo da entidade	
	X	Regra OU	Ponto final do sistema	
	O	Regra E/OU	Conexão com outra figura	

Fonte: Leal et al. [2008]

Assim, o modelo conceitual deste projeto está representado na Figura 3. Para o desenvolvimento deste, foi utilizada a técnica IDEF-SIM e o software Dia.

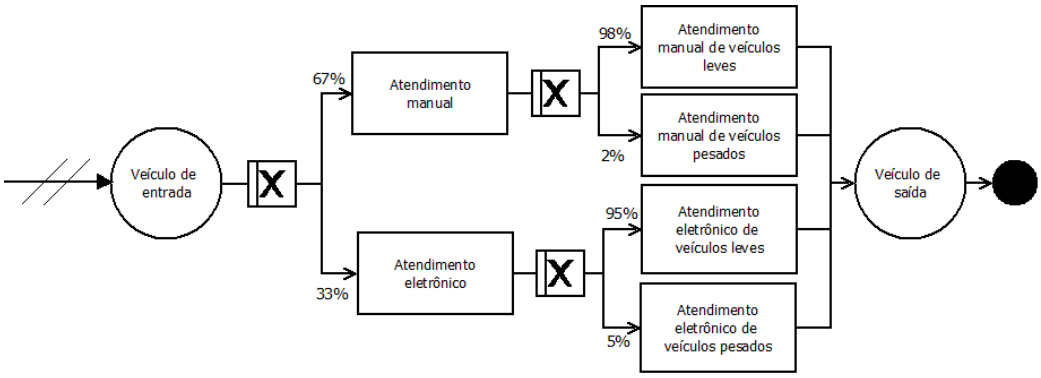

Figura 3 - Modelo conceitual do projeto de simulação

Como pode ser observada na figura, no modelo conceitual foi criado uma entidade chamada de "veículos de entrada", essa entidade pode ir para a função "atendimento manual" ou "atendimento eletrônico" dependendo da forma de pagamento, sendo a primeira para pagamento com dinheiro ou cartão e a segunda para veículos que possuem o *transponder* para pagamento eletrônico. De acordo com dados levantados no dia estudado, foi verificado que 67% do fluxo total optam pelo "atendimento manual", enquanto 33% realizam o pagamento de forma eletrônica.

Além da diferenciação em relação a forma de pagamento, também foi incluído no modelo conceitual a função tipo de veículo. O atendimento manual pode ser realizado sobre veículos leves ou veículos pesados, assim como o atendimento eletrônico. Essa divisão foi realizada devido a diferença de processamento de veículos considerados leves e pesados. Nesta pesquisa foram considerados veículos leves automóveis e motos, já caminhões, ônibus e carretas foram classificados como veículos pesados.

5.1.2 Coleta e análise dos dados

Para a realização do trabalho foi escolhido um dia atípico na praça de pedágio, ou seja, um feriado prolongado. Tal evento foi escolhido, pois nessas datas ocorrem um aumento no volume de veículos. Com este aumento, é necessário o redimensionamento afim de garantir a mesma qualidade do serviço.

Dessa maneira, a coleta de dados foi realizada na volta de um feriado prolongado, no dia 7 de setembro de 2015 das 14:00 as 18:59. Esse intervalo de tempo foi determinado através da análise dos relatórios gerados pelo software da concessionária, onde é possível verificar o número de veículos atendidos por hora. Neste período, a praça de pedágio atendeu um total de 14.384 veículos, sendo 9660 nas vias manuais e 4724 nas vias eletrônicas.

Através dos relatórios cedidos pela concessionária, também foi possível verificar que do total de veículos que pagam manualmente, 97% são classificados como leve e apenas 3% são veículos pesados. Já nas vias eletrônicas, o volume de veículos leves representa 95%, enquanto o de veículos pesados tem representatividade de 5%.

A Tabela 1 mostra um resumo dos dados coletados e sua representatividade, durante o período de análise, ou seja, das 14:00 as 18:59.

Tabela 1 – Dados coletados sobre o volume e classificação do tráfego

	Valor absoluto	**Valor percentual**
Total de carros que passaram pelas vias manuais	9660	67%
Total de carros que passaram pelas vias eletrônicas	4724	33%
TOTAL	**14384**	**100%**
Total de veículos leves que pagam manualmente	9492	98%
Total de veículos pesados que pagam manualmente	168	2%
TOTAL	**9660**	**100%**
Total de veículos leves que passam pelas vias eletrônicas	4489	95%
Total de veículos pesados que passam pelas vias eletrônicas	235	5%
TOTAL	**4724**	**100%**

Além dos relatórios, vídeos também foram fontes de dados coletados. A Figura 4 mostra o momento em que os veículos chegam às cabines de cobrança e o tempo que permanecem nela até saírem do sistema.

a) veículos na chegada das cabines

b) veículos nas cabines

Figura 4 - Imagem da chegada dos veículos na praça de pedágio

Assim, através destas gravações foi possível realizar a cronoanálise e verificar as distribuições estatísticas que representam, tais como:

a) Taxa de chegada na via manual: intervalo de tempo que os veículos dão entrada no sistema na via manual;
b) Taxa de chegada na via eletrônica: intervalo de tempo em que os veículos dão entrada no sistema na via eletrônica;
c) Taxa de atendimento manual de veículos leves: tempo que um veículo leve permanece na cabine de cobrança manual;
d) Taxa de atendimento manual de veículos pesados: tempo que um veículo pesado permanece na cabine de cobrança manual;
e) Taxa de atendimento eletrônico de veículos leves: tempo que um veículo leve demora para passar pela cabine eletrônica e deixar o sistema;
f) Taxa de atendimento eletrônico de veículos pesados: tempo que um veículo pesado demora para passar pela cabine eletrônica e deixar o sistema;

Para determinar a distribuição que representa cada taxa citada acima, foram coletados 102 dados para cada variável, que foram trabalhados na ferramenta StatFit, do *software* ProModel. As distribuições obtidas podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Distribuições estatísticas utilizadas no projeto de simulação

Taxa	Distribuição utilizada	Parâmetros necessários	Formula Promodel
Atendimento manual de veículos leves	LogLogistica	Local, escala e limite	LogLogistic(3., 2.34, 8.48)
Atendimento manual de veículos pesados	Uniforme	Ponto extremo superior e ponto extremo inferior	Uniform(9., 50.)
Chegada de veículos na	Johnson	Parâmetro de locação, parâmetro de	Johnson SB(1., 87.9,

via eletrônica		escala e definição da forma de distribuição	1.55, 0.815)
Chegada de veículos na via manual	Beta	Primeiro parâmetro de forma e segundo parâmetro de forma	Beta(1., 80.3, 1.15, 4.32)

Para as taxas de atendimento eletrônico, tanto de veículos pesados quanto de veículos leves, a distribuição adotada foi a triangular. Para a "Taxa de atendimento eletrônico de veículos leves" a função é representada por um valor mínimo de 2, uma moda de 3 e um valor máximo igual a 5, ou seja, T(2, 3, 5). Já para a "Taxa de atendimento eletrônico de veículos pesados" o valor mínimo é 1, a moda é 3 e o valor máximo foi de 8, T(1, 3, 8).

5.2 Implementação

5.2.1 Modelagem computacional

O modelo computacional foi construído utilizando o software ProModel que, de acordo com Sakurada e Miyake [2009] possui flexibilidade de programação que permite estender sua aplicação a outros tipos de sistemas de operações. Além disso, segundo Leal [2003] este software possui um ambiente amigável ao usuário e permite a elaboração de animações gráficas auxiliando na montagem do modelo, validação e apresentação.

O modelo foi desenvolvido de acordo com o paradigma de orientação a eventos, contabilizando-se as medidas de tempo médio de espera na fila e de tamanho médio da fila para análise da eficiência da praça de pedágio. Para a determinação destes valores, foi verificado os dados acordados no contrato entre o Estado e a concessionária. Assim, o número máximo de veículos permitidos na fila são 7 e o tempo médio de espera não deve ultrapassar 5 minutos.

O modelo computacional foi submetido a experimentos até que seus resultados representassem a realidade. A validação dos resultados foi obtida através de comparações dos valores encontrados na simulação com os relatórios gerados pela concessionária, demonstração do modelo a profissionais da área e tomadores de decisão e, por fim, através das observações e medições realizadas no próprio local da coleta dos dados.

Na Figura 5 é possível visualizar como ficou o modelo computacional, desenvolvido no ProModel, para o cenário atual, aqui denominado cenário A, que possui 14 vias de atendimento manual e 4 AVIs.

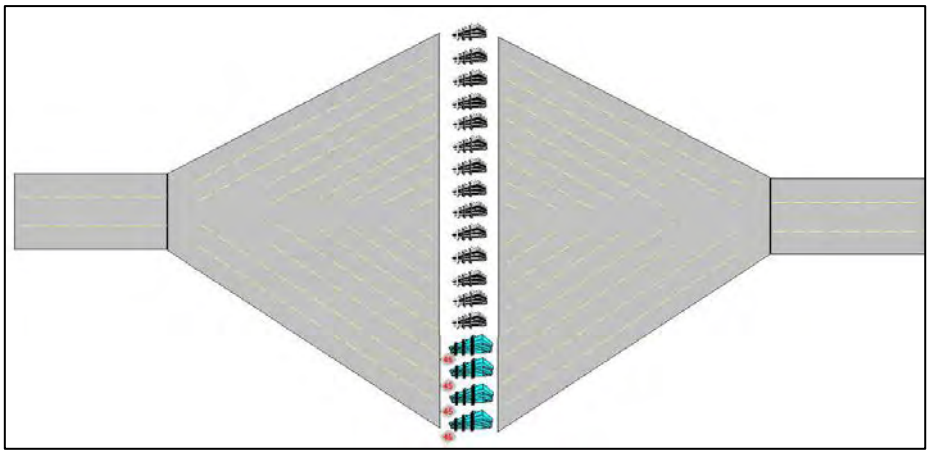

Figura 5 - Modelo Computacional construído no software ProModel

6 Análise dos resultados

6.1 Cenários gerados

Apresenta-se os resultados obtidos com a simulação que teve por finalidade demonstrar quantas cabines de pedágio são necessárias para atender a demanda de veículos no feriado, a fim de assegurar que os níveis de serviço estipulados fossem atendidos. Foram simulados quatros

cenários, representados na Tabela 2. Todos os experimentos foram elaborados com base nas distribuições estatísticas já descritas anteriormente. A simulação se baseia na alteração do número de cabines de cobrança manual e eletrônica. A fim de definir o mínimo de cabines necessárias, mas que atendam satisfatoriamente aos usuários da rodovia.

6.1.1 Cenário atual

O cenário atual da praça de pedágio, aqui denominado senário A, conta com 14 cabines de atendimento manual e 4 cabines de cobrança eletrônica (AVI). Assim, os valores gerados pelo *software* nessa configuração encontram-se exposto na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores obtidos para o cenário atual (cenário A)

	Cenário A (atual)
Cabines manuais	14
AVIs	4
Média de veículos na fila (manual) (unidades)	0,01
Média de veículos na fila (AVI) (unidades)	0,00
Tempo médio no sistema via manual (minutos)	0,36
Tempo médio no sistema na AVI (minutos)	0,06
Total de veículos atendidos (unidades)	14401

Por meio do software ProModel também foi possível verificar a taxa de utilização dos recursos, no caso das vias manuais e eletrônicas. Observe a Figura 6.

Figura 6 - Utilização dos recursos no cenário atual (cenário A)

Através da Figura 6 verifica-se que todos os recursos apresentam ociosidade. Duas cabines eletrônicas não apresentam nenhum percentual de utilização e a mais utilizada chega a 75% de utilização. Já as vias manuais apresentam mais tempo de operação, porém nenhuma delas passa de, aproximadamente, 87% de utilização.

6.1.2 Outros cenários

A fim de verificar qual o número de cabines manuais e eletrônicas necessárias para atender aos usuários da rodovia em um feriado prolongado, diferentes cenários foram criados variando o número das cabines disponíveis, conforme pode ser verificado na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores obtidos para diferentes cenários

	Cenários		
	B	C	D
Cabines manuais	8	9	9
AVIs	4	4	1
Média de veículos na fila - manual (unidades)	17,65	2,26	3,56
Média de veículos na fila - AVI (unidades)	0,00	0,00	0,34
Tempo médio no sistema via manual (minutos)	4,68	0,61	0,48
Tempo médio no sistema na AVI (minutos)	0,06	0,06	0,08
Total de veículos atendidos (unidades)	14173	14379	14459

Por meio das simulações efetuadas (Tabela 4) é possível verificar que apenas 8 cabines manuais não são suficientes para atender a demanda solicitada no feriado, gerando uma fila muito grande, superior ao número máximo permitido (7 veículos). Os resultados mostram que com 9 cabines de cobranças manuais e 1 AVI (cenário D), a empresa consegue atender aos níveis de serviços acordados em contrato, pois o tempo médio no sistema é de 0,48 minutos e a média de veículos na fila é de 3,56.

Além disso, verifica-se na Figura 7, que os recursos estão sendo utilizados em um percentual próximo a 85%, não havendo nenhuma via não utilizada ou com baixo percentual.

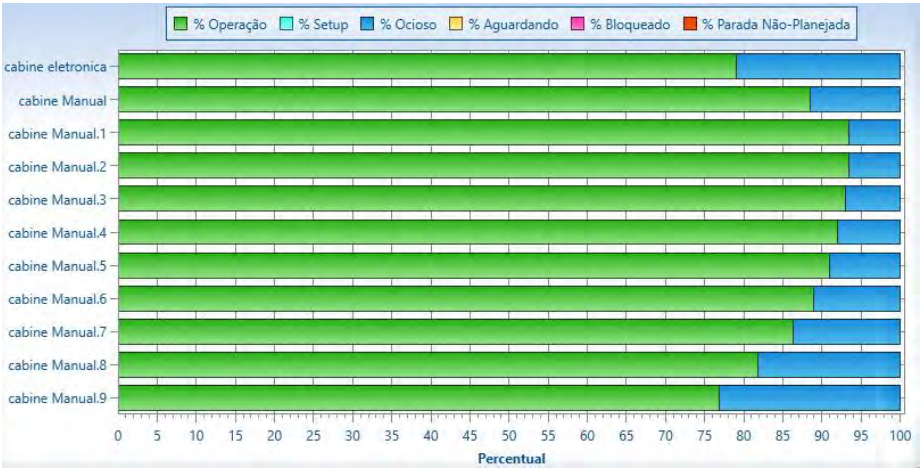

Figura 7 – Utilização dos recursos no cenário D

Dessa maneira, pode se concluir que no cenário atual (cenário A) está ocorrendo um superdimensionamento dos recursos, o que gera custos desnecessários a organização. A empresa poderia utilizar 5 cabines manuais a menos e com isso alocar os operadores para outras funções e reduzir seus custos operacionais.

7 Conclusão

O trabalho teve o intuito de fazer uso da modelagem e simulação computacional para a verificação do nível de serviço em um dia atípico de uma praça de pedágio. Para alcançar este objetivo foram coletados dados de uma praça de pedágio localizada no estado de São Paulo no dia 7 de setembro de 2015, volta de um feriado prolongado. Atualmente a praça conta com 14 cabines de cobrança manual e 4 cabines de cobrança eletrônica.

A simulação é uma técnica que permite analisar problemas de soluções complexas, seja pelo grande número de variáveis aleatórias com diferentes distribuições de probabilidade ou devido a própria complexidade do sistema. Simular a operação de uma praça de pedágio

possibilitou a construção de um modelo computacional que representasse o sistema real sem a necessidade de intervenção direta no sistema analisado.

O fato de terem sidos obtidos resultados coerentes com a realidade mostra que, apesar da utilização de um software generalista e não um específico em simulação de trânsito, foi possível atingir o objetivo proposto no início da pesquisa.

Os resultados apresentados no decorrer deste trabalho revelam que, na atual configuração da praça (cenário A), o número máximo de veículos nas filas com pagamento via manual é de 0,01 e o tempo médio que cada veículo que passa por essas vias permanece no sistema é de 0,36 minutos. Resultado este que atende aos níveis de serviço acordados, que são de 7 veículos na fila e o tempo máximo no sistema de 5 minutos. Porém, através da simulação, verificou-se que o mesmo nível de serviço pode ser atendido com 9 cabines de cobrança manual e 1 cabine eletrônica (cenário D). Mostrando assim que para o volume de tráfego observado é possível reduzir o número de cabines sem alterar o nível de serviço acordado e dessa maneira reduzir custos.

Assim, é possível concluir que fazer uso da simulação para dimensionar cabines de pedágios em períodos com aumento de demanda traz benefícios para organização, pois fornece base para tomar decisões de maneira mais precisa. Atualmente o que se verifica é que quando ocorre um feriado prolongado são ofertados todos os recursos disponíveis, sem nenhuma análise da real necessidade.

Para evitar a ociosidade de recursos, é necessário conhecer o comportamento da praça de pedágio para diferentes volumes de tráfego de veículos, portanto, recomenda-se para trabalhos futuros refazer o levantamento dos dados de entrada em diferentes datas ao longo do ano e executar o modelo, de forma a conhecer a quantidade necessária de cabines que devem permanecer em funcionamento ao longo do ano conforme a expectativa de demanda de veículos. Principalmente em feriados com maior movimento como o Natal e ano novo.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) pelo apoio financeiro concedido aos projetos que subsidiaram o desenvolvimento deste trabalho.

Referências

ABCR (2013). Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias. Relatório Anual. Disponível em: <http://www.abcr.org.br/ >.

Alvarenga, G., Viveiros, H. e Canale, A. (2006). Estudo do impacto do pedágio no aumento do tempo de viagem no consumo de combustível e na geração de poluentes. Pesquisa e Tecnologia Minerva, v. 6, n. 3, p. 263-271.

Alves, A., Ramos, T. e Caldas, M. (2011). Calculo de elasticidade para o valor do tempo de uma rodovia pedagiada. XLIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Ubatuba.

Araújo, J. (2001). Características operacionais de praças de pedágio. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Universidade de São Paulo.

Araújo, J. e Setti, J. (2006). Caracterização operacional de praças de pedágio do estado de São Paulo. Transportes, n. 1, p. 33-44.

Banks, J., Carson, J., Nelson, B. e Nicol, D. (2005). Discrete – Event System Simulation. 4 ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.

Caixeta-FIlho, J. e Martins, R. (2001). Gestão Logística do Transporte de Cargas. São Paulo: Atlas.

Faria, B. e Campos, V. (2012). Procedimento e protótipo computacional para dimensionamento de praça de pedágio. Journal of Transport Literature, v. 6, n. 4, p. 38-58.

Harrel, C., Ghosh, B. e Bowden, R. (2000). Simulation using ProModel. McGraw-Hill.
Law, A. e Kelton, W. (2000). Simulation modeling and analysis, 3rd ed. McGraw-Hill, New York.

Leal, F. (2003). Um diagnóstico do processo de atendimento a clientes em uma agência bancária através de mapeamento do processo e simulação computacional. Dissertação de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá.

Leal, F., Almeida, D. e Montevechi, J. (2008). Uma proposta de técnica de modelagem conceitual para a simulação através de elementos do IDEF. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, João Pessoa-PB: Anais XL.

Mendonça, M., Montevechi, J. e Miranda, R. (2013). Aplicação da modelagem conceitual IDEF-SIM ao software de modelagem computacional Simul8: um caso prático. XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Salvador.

Nascimento, L., Caldas, M. e Paula, M. (2007). Estudo de alternativas operacionais para melhoria do fluxo do tráfego de veículos na praça de pedágio da Ponte Rio-Niterói. Agencia Nacional de Transportes Terrestres.

O'kane, J., Spenceley, J. e Taylor, R. (2000). Simulation as an essential tool for advanced manufacturing technology problems. Journal of Materials Processing Technology, p. 412-424.

Obelheiro, M., Cybis, H., Oliveira, M. e Ribeiro, J. (2011). Método para análise de níveis de serviço em praças de pedágio. Transportes, v. 19, n. 3, p. 18-27.

Obelheiro, M., Oliveira, M. e Cybis, H. (2010). Avaliação da influência do tipo de cobrança e da composição do tráfego sobre o desempenho operacional de praças de pedágio. Transportes, v. 18, n, 3, p. 25-33.

Oliveira, M. (2004). Fatores Intervenientes na Capacidade de Atendimento de Praças de Pedágio. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - UFRGS.

Oliveira, M. e Cybis, H. (2006). Medidas de eficiência de serviços para praças de pedágio na percepção de seus operadores. Rede Íbero-Americana de Estudos em Pólos Geradores em Viagens.

Sakurada, N. e Miyake, D. (2009). Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistemas de operações de serviços. Gestão & Produção, São Carlos, v. 16, n 1, p. 25-43.

Schaufler, A. (1997). Toll Plaza Design. NCHRP Synthesis of Highway Practice 240. Transportation Research Board, National Research Council.

Tiefensee, M. (2005). Dimensionamento de cabines de cobrança em praças de pedágio. Mestrado em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

Toralles, C. e Paulitsch, N. (2010). Restrição veicular e tributação: o pedágio urbano enquanto solução urbanística e espécie tributária. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 2, n. 2, p. 179-190.