

PROCEDIMENTO METODOLÓGICO DE ANÁLISE DE DESEMPENHO DE PRAÇAS DE PEDÁGIO

Túlio Silveira Santos¹, Licínio da Silva Portugal² e Paulo Cezar Martins Ribeiro³

¹ CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1 – 1049-001, Lisboa, Portugal
email: tuliosilveira@tecnico.ulisboa.pt

² Programa de Engenharia de Transportes da COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Av. Horácio Macedo, 2030 – 21941-972, Rio de Janeiro, Brasil

³ Programa de Engenharia de Transportes da COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Av. Horácio Macedo, 2030 – 21941-972, Rio de Janeiro, Brasil

Sumário

As praças de pedágio são comumente caracterizadas como um trecho potencial de gargalo da via. Este artigo apresenta a proposição de um procedimento metodológico para avaliar o desempenho de praças de pedágio e as perspectivas para implantação (ou não) de intervenções alternativas no sistema. Esse procedimento conta, fundamentalmente, com a técnica de modelagem por simulação e a medida de desempenho de nível de serviço. Por fim, almeja-se que o procedimento proposto possa servir como um guia prático para as concessionárias de rodovias de tal modo que o sistema de pedágio seja mantido apropriado ao longo do período da concessão.

Palavras-chave: praças de pedágio; modelagem por simulação; nível de serviço; tempo de espera; comprimento da fila

1 INTRODUÇÃO

As praças de pedágio são comumente caracterizadas como um trecho potencial de gargalo, devido ao processo de cobrança em pontos específicos da via. Ao mesmo tempo, observa-se ser crescente a implantação de praças de pedágio aliadas ao aumento exagerado da frota veicular circulante.

Em um contrato de concessão rodoviária, espera-se que o gestor público requeira o cumprimento de indicadores de desempenho do concessionário e os concessionários devem se empenhar no sentido de manter condições adequadas de serviço dessas estruturas. No entanto, nem todas concessões de rodovias vigentes no país possuem aferição de indicadores de desempenho operacional relacionadas às praças de pedágio. Os indicadores de desempenho são uma forma para se analisar a verificação dos objetivos previamente projetados pelo planejamento estratégico [1]. Tais indicadores são destinados a aferir o desempenho da concessionária, permitindo ao poder concedente monitorar a qualidade do serviço prestado, mensurar o valor mensal a ser pago à concessionária (quando for o caso), e aplicar, quando cabível, as sanções pertinentes.

Além disso, verifica-se a necessidade crescente de mais estudos e informações que possibilitem operações mais eficientes aos gestores de transportes e usuários da via, tal como a implantação dos sistemas de rodovias de pedágio aberto ou *free-flow*. Estes sistemas, além de trazerem benefícios gerados pela cobrança automática da tarifa, eliminam a necessidade de paradas dos veículos nas praças de pedágio reduzindo os conflitos e congestionamentos nos pedágios, melhoram a segurança do sistema de pedágio, etc.

Neste artigo é apresentado um procedimento metodológico que permite a avaliação de desempenho de praças de pedágio e das perspectivas de implantação (ou não) de intervenções alternativas no sistema, a fim de possibilitar operações mais eficientes aos gestores de transportes e usuários da via. Esse procedimento consiste em uma série de etapas e conta, fundamentalmente, com a técnica de modelagem por simulação e a medida de desempenho de nível de serviço. Tal procedimento baseia-se na dissertação de mestrado do autor principal deste artigo [2], que foi eleita como a melhor dissertação de mestrado defendida no Brasil no ano de 2017 [3].

2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO PROPOSTO

O procedimento metodológico proposto para este artigo, que permite avaliar o desempenho operacional de praças de pedágio e identificar a necessidade de implantação (ou não) de intervenções alternativas no sistema, consiste em uma série de etapas, representado por meio de 5 (cinco) passos, sendo apresentados a seguir:

- Passo I – Caracterização da praça de pedágio e análise dos dados;
- Passo II – Modelagem da praça de pedágio por simulação;
- Passo III – Verificação e validação do modelo de simulação;
- Passo IV – Verificação quanto ao atendimento ao nível de serviço; e
- Passo V – Perspectivas para implantação de intervenções alternativas.

A Figura 1 apresenta o procedimento metodológico proposto com todas as etapas de cada um dos 5 passos pré-definidos. O procedimento metodológico proposto possui a capacidade de ser aplicável no contexto das rodovias sob concessão. Almeja-se que o procedimento metodológico proposto possa servir como um guia prático para as concessionárias de rodovias no que se refere a avaliação de desempenho operacional de praças de pedágio nas rodovias concedidas sob suas operações. Tal procedimento enfoca no objetivo da pesquisa e aplica os processos relevantes para a avaliação de desempenho operacional de praças de pedágio e as perspectivas de implantação (ou não) de intervenções alternativas ao sistema, porém, é flexível, na medida em que permite que a concessionária adote, por exemplo, diferente técnica de modelagem do que é recomendado neste artigo.

A seguir, são expostos os diversos passos e cada uma das respectivas etapas do esquema geral do procedimento metodológico proposto para o desenvolvimento dos objetivos.

2.1 Passo I – Caracterização da praça de pedágio e análise dos dados

Este passo visa a caracterização da praça de pedágio e o reconhecimento do local onde será aplicado o procedimento. Para tanto, faz-se necessária uma coleta de dados e a tabulação e análise dos dados a fim de obter os dados *input* (de entrada do modelo) e *output* (para calibrar o modelo) da modelagem por simulação, que são apresentados no próximo passo.

2.1.1 Caracterização da praça de pedágio

Esta etapa visa estabelecer a caracterização da praça de pedágio e o reconhecimento do local em que será realizado o estudo e coleta de informações com a intenção de permitir um melhor planejamento dos métodos a serem utilizados e melhor uso dos recursos. Deverão ser coletadas informações preliminares, relativas aos dados *input* do modelo de simulação, destacando-se nesta etapa os atributos de praças de pedágio (extensão da praça de pedágio, número de cabines disponíveis, modalidade de pagamento, capacidade, entre outros).

De posse dos dados citados, será possível representar a estrutura da praça de pedágio analisada, que pode ser usada para testar o modelo de simulação proposto e fazer apresentação de seus resultados através de recursos de animação. Os recursos de animação são utilizados para apresentar a relação entre as entidades e atividades envolvidas no modelo. Além do mais, esses recursos podem ser mostrados de várias formas, tais como: variáveis, ocupação de recursos ou outras expressões [4].

A Figura 2 ilustra um exemplo de estrutura de praça de pedágio comumente utilizada em concessões de rodovias. Da Figura 2, observa-se que podem haver (ou não) diferentes dados *input* para alimentar o modelo de simulação, sobretudo de atributos nos dois sentidos de tráfego (Sentidos AB e BA). Diante disto, o procedimento metodológico proposto leva em consideração a modelagem por simulação de um sentido de tráfego, por vez.

2.1.2 Levantamento de dados

A etapa de levantamento de dados deve ser composta da etapa anterior relativa a informações preliminares, coleta de campo e coleta baseada nos registros da concessionária.

Deverão ser coletados dados *input* para alimentar o modelo de simulação, sobretudo para obtenção das variáveis associadas às praças de pedágio (chegada de veículos, tempo de atendimento, percentual de escolha de cabines e tempo de deslocamento), tais como: dados das características físicas da praça de pedágio, dados de demanda de tráfego, filmagens de cabines e da praça de pedágio, etc.

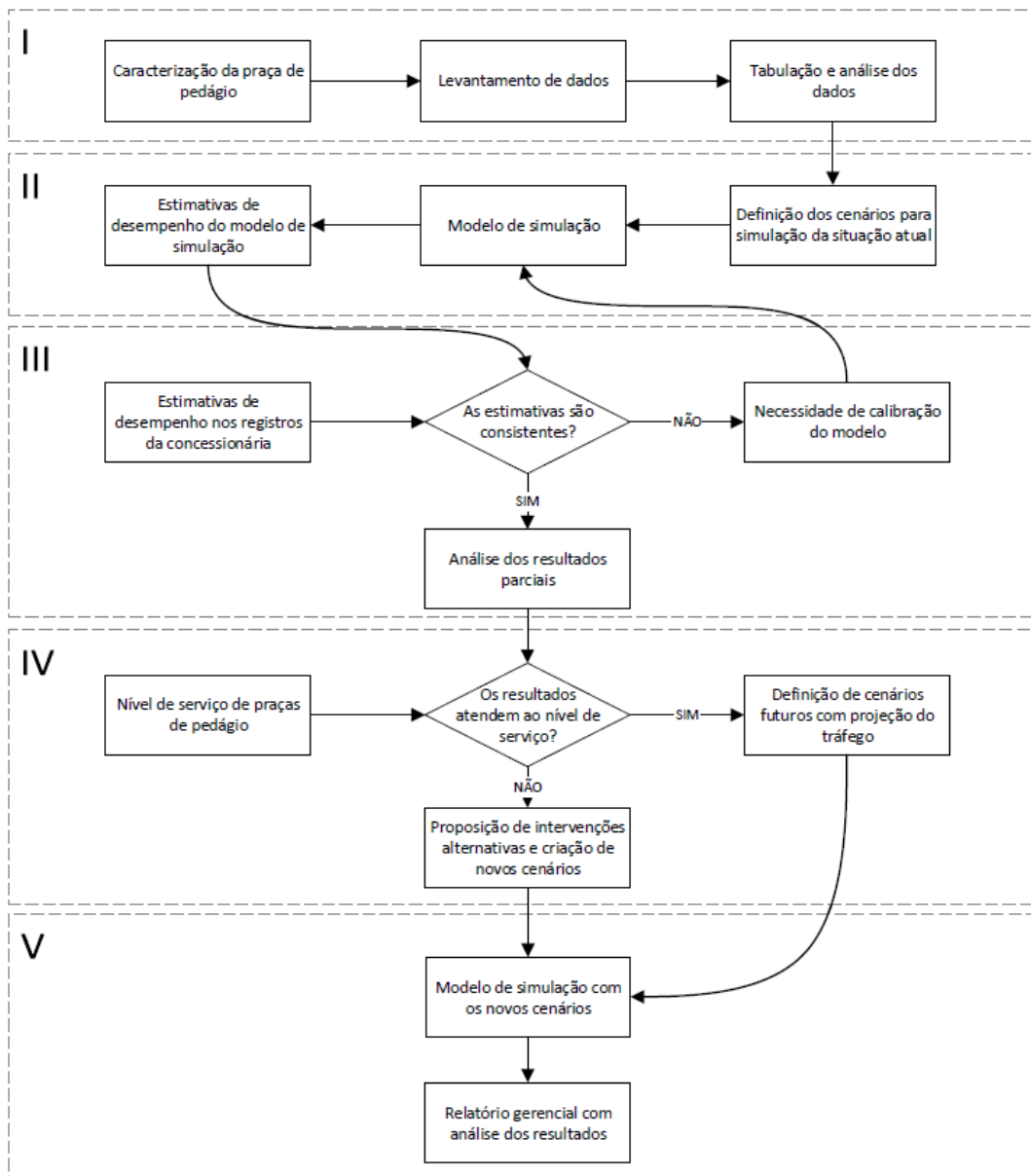


Figura 1. Esquema geral do procedimento metodológico proposto

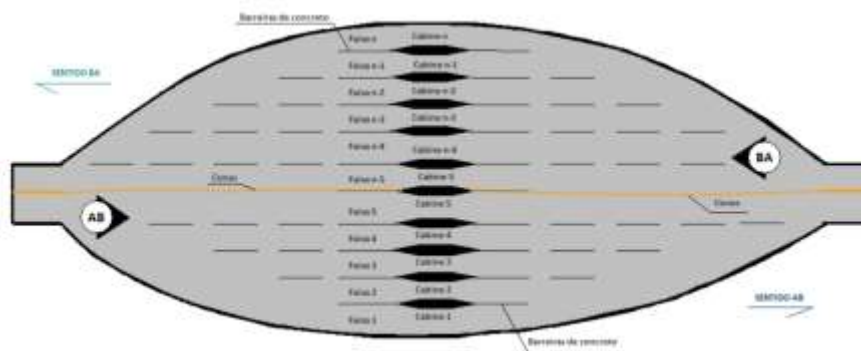


Figura 2. Exemplo de estrutura de praça de pedágio

2.1.3 Tabulação e análise dos dados

Ao padronizar e codificar as respostas obtidas com a aplicação da etapa de levantamento de dados, a tabulação facilita a leitura e análise dos dados coletados. Nesta etapa são obtidas as variáveis associadas às praças de pedágio (chegada de veículos, tempo de atendimento, percentual de escolha de cabines e tempo de deslocamento), que são dados sobre o sistema a serem anexados ao modelo de simulação. A essas variáveis, são utilizadas distribuições estatísticas geradas a partir de uma colocação de dados sobre o parâmetro a ser inserido.

2.2 Passo II – Modelagem da praça de pedágio por simulação

Este passo visa a definição dos cenários para simulação da situação atual, que serão analisados por meio de modelagem por simulação, sendo recomendado o uso do *software Arena*. Em seguida são obtidas estimativas de desempenho do modelo de simulação, que serão verificadas como consistentes (ou não) no próximo passo.

2.2.1 Definição dos cenários para simulação da situação atual

Esta etapa visa a definição dos cenários para simulação, que será desenvolvida no passo seguinte. Os estudos de simulação geralmente são feitos em um período limitado de tempo ou em um conjunto de períodos idênticos [4]. Neste estudo, os cenários são definidos para a situação atual, distinguidos de acordo com o sentido de tráfego, para o qual podem ser feitas estimativas de medidas de desempenho.

Para estes cenários, e de acordo com o sentido de tráfego, devem ser analisados os dados do sistema para o respectivo horário de pico (duração total de 60 minutos) e, como pontapé inicial, um tempo de aquecimento (*warm-up*) de 0 (zero) minutos. Os estudos de simulação geralmente são feitos em um período limitado de tempo ou em um conjunto de períodos idênticos. A questão dos dados de tráfego foi tratada com base na dissertação do autor principal deste artigo [2], que leva em consideração tanto as alterações sazonais ao longo do ano, quanto as variações ao longo dos dias da semana. O número de replicações necessárias depende do número de replicações da amostra, da precisão da amostra e da precisão desejada [5]. A fim de obter as medidas de desempenho e de acordo com o Teorema do Limite Central, foi assumido neste procedimento que os resultados da simulação devem ter pelo menos 30 replicações. Essas medidas de desempenho serão representadas pela média das amostras para representar uma observação de simulação que amenize o problema da falta de independência entre as observações de simulações sucessivas.

A determinação destes cenários deve levar em conta o fluxo médio observado nos períodos em que a solicitação pela via é máxima (no caso das praças de pedágio, quando a demanda por atendimento gera a formação de filas). Além do mais, na formulação de tais cenários, deverão ser anexados ao sistema todos os dados obtidos das etapas da subseção Passo I – Caracterização da praça de pedágio e análise dos dados, que incorpora as informações das entidades e atividades que devem ser contempladas.

2.2.2 Modelo de simulação

Em uma simulação, é construído um modelo lógico-matemático que representa a dinâmica do sistema em estudo. Este modelo normalmente incorpora valores para tempos, distâncias, recursos disponíveis, etc [4]. Segundo um trabalho dos próprios autores [2], foi utilizado o *software* de simulação *Arena*, na versão 14.0, para a construção do modelo de simulação da operação de praças de pedágio.

O *Arena* é o *software* mais utilizado na simulação de eventos discretos no mundo e os conceitos de simulação são entendidos através da abordagem de uma simples modelagem por fluxogramas [6]. O *Arena* conta com um ambiente gráfico integrado e possui recursos para análise estatística, modelagem de processos, animação, e análise de resultados. Além do mais, a versão grátis do *Arena Student* fornece as funcionalidades da versão *Professional*, com restrição apenas no tamanho do modelo que pode ser criado.

O *Arena* é uma poderosa ferramenta para análise de cenários e simulações dos seus processos. À medida que aumenta a complexidade, a aleatoriedade passa a ser um componente essencial para entender o desempenho do sistema. Através da utilização de fluxogramas, é muito mais fácil modelar os projetos, assim não é necessário escrever linhas de código (programação).

As principais vantagens desta ferramenta de simulação são listadas a seguir: melhorar a visibilidade de um sistema ou da mudança de um processo; explorar oportunidades para novos procedimentos e métodos sem precisar parar a operação atual; diagnosticar e resolver problemas; reduzir ou eliminar gargalos; reduzir custos

operacionais; melhorar a previsão financeira; reduzir tempos de entrega; administrar melhores níveis de inventário, equipamentos, maquinários, etc; e aumentar o lucro através de operações melhoradas.

Um dos diferenciais do *Arena* é a possibilidade de criação de *templates*, ou seja, uma coleção de objetos e/ou ferramentas de modelagem, que permitem ao usuário, descrever o comportamento do processo em análise, através de respostas às perguntas pré-elaboradas, sem programação, de maneira visual e interativa. Pela utilização de *templates* (personalização), o *Arena* pode transformar-se facilmente em um simulador específico, podendo ser utilizado nas seguintes áreas: engenharias, transportes, manufatura, mineração, etc.

Conforme já foi mencionado, tal procedimento aplica os processos relevantes para a avaliação de desempenho operacional de praças de pedágio e as perspectivas de implantação (ou não) de intervenções alternativas ao sistema, porém, é flexível, na medida em que permite que a concessionária adote, por exemplo, diferente técnica de modelagem do que é recomendado neste artigo. Entretanto, os autores recomendam a utilização geral do fluxograma utilizado no *software* de simulação *Arena* para representar o processo de modelagem do funcionamento do sistema de praça de pedágio, conforme ilustra a Figura 3.

Da Figura 3, observa-se que o modelo de simulação desenvolvido foi dividido em 10 (dez) partes. O Quadro 1 informa a descrição e a função de cada parte identificada no modelo de simulação desenvolvido.

Observa-se que o fluxograma do *Arena* apresentado na Figura 3 é compatível com diversas configurações de praças de pedágio, visto que o mesmo é flexível quanto ao número de categoria de veículos, número de cabines AVI ou cabines manuais, entre outros aspectos.

É importante enfatizar que, para este fluxograma, alguns dados sobre o sistema (tempo entre chegadas, tempo de atendimento e percentagem de escolha de cabines) são cadastrados em planilha eletrônica (em ambiente Excel), com o objetivo de concatenar as informações coletadas, produzir as variáveis sobre o sistema e, por fim, serem importados para o *Arena*, de forma a auxiliar na modelagem por simulação.

No fluxograma apresentado, a modelagem é feita visualmente com objetos orientados à simulação e com o auxílio da importação das variáveis especificadas sobre o sistema em ambiente Excel, não havendo a necessidade da digitação dos comandos das mesmas na lógica de programação.

2.2.3 Estimativas de desempenho do modelo de simulação

Esta etapa se dá pela obtenção do relatório de dados de estimativas de desempenho gerados pelo simulador. Ao executar a simulação, o *Arena*, por exemplo, coleta estatísticas padrão sobre os vários elementos do modelo, como tempo de espera na fila, número de entidades na fila, utilização dos recursos (ou arrecadadores), entre outros.

Os dados coletados constituem um relatório ao término da simulação e são apresentadas estatísticas dos dados de entidade (veículos), fila e recursos disponíveis (arrecadadores), que são fixadas nos parâmetros de projeto. O relatório gerado ao término da simulação apresenta as medidas de desempenho de praças de pedágio de tempo gasto no sistema ou na fila e do comprimento da fila, a exceção da medida de desempenho de nível de serviço (que será apresentada posteriormente).

2.3 Passo III – Verificação e validação do modelo de simulação

Este passo visa a verificação de consistência do modelo de simulação, por meio da comparação entre as estimativas de desempenho do modelo de simulação e das estimativas de desempenho nos registros da concessionária. Caso as estimativas do modelo de simulação não estejam consistentes com as estimativas reais, se faz necessário a calibração do modelo, no qual as estimativas de desempenho a serem comparadas deverão ser obtidas por meio de instâncias de simulação do mesmo cenário, variando-se os valores do tempo de aquecimento, com o propósito de obter o menor erro médio. Uma vez que se atinja a consistência dos dados, segue a análise dos resultados parciais oriundos do relatório do simulador, que serão verificados quanto ao atendimento ao nível de serviço no próximo passo.

2.3.1 Estimativas de desempenho nos registros da concessionária

Esta etapa deve permitir a obtenção de dados relativos ao fluxo médio de veículos da hora de pico analisada, bem como do valor médio do tempo e comprimento de fila. Para tanto, os dados devem ser obtidos a partir dos registros da concessionária ou por meio de seus funcionários.

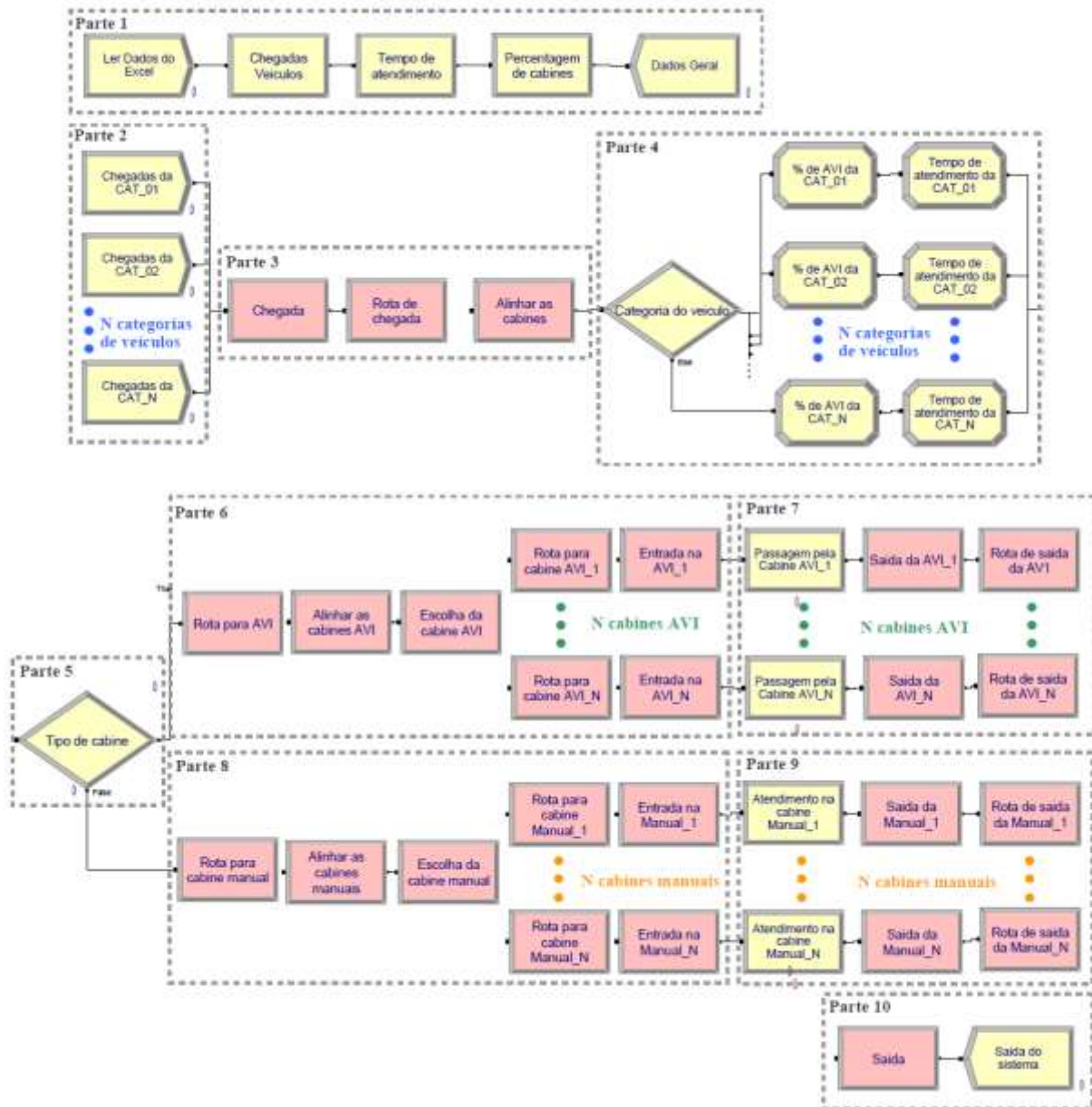


Figura 3. Sequência de 10 partes do modelo de simulação desenvolvido no Arena

Quadro 1. Descrição e função das partes identificadas no modelo de simulação desenvolvido

Partes	Descrição	Função
1	Obtenção de dados do arquivo de entrada (Excel)	Esta parte representa o ponto de partida no modelo de simulação e é usado para ler os dados de um arquivo de entrada (no caso, Excel) e atribuir os valores de dados (por exemplo: tempo entre chegadas, tempo de atendimento e percentagem de escolha de cabines) a uma lista de atributos ou outra expressão.
2	Entrada de veículos na praça de pedágio	Esta parte permite a criação de entidades (veículos) para todos os tipos de veículos e dos respectivos números de eixos usando as distribuições de probabilidade da variável de tempo entre chegadas de veículos (em minutos/veículo).
3	Deslocamento de entidade até um ponto de alinhamento com as cabines manuais e AVI	Esta parte transfere uma entidade (veículo) do ponto de partida no modelo de simulação para a estação seguinte, onde se tem o alinhamento as cabines manuais e AVI. Neste passo é ainda definido um tempo de atraso para transferir a entidade para a próxima estação.
4	Atribuição dos valores de tempo de atendimento e percentual de escolha às cabines manuais e AVI	Esta parte primeiramente permite processos de tomada de decisão no sistema com base na condição do tipo de veículo. Em seguida é atribuído para cada tipo de veículos as respectivas distribuições de probabilidade das variáveis tempo de atendimento na cabine (em segundos por veículos) e percentagem de escolha de cabines manuais e AVI (em valores percentuais).
5	Ponto de escolha das cabines manuais ou AVI	Esta parte permite processos de tomada de decisão no sistema com base em uma ou mais probabilidades (por exemplo, o percentual de escolha de cabines manuais ou AVI para cada categoria de veículo).
6	Deslocamento de entidade até um ponto de alinhamento com as cabines AVI	Esta parte transfere uma entidade (veículo) do ponto de alinhamento com as cabines manuais e AVI para a estação seguinte, onde se tem o alinhamento as cabines AVI. Em seguida a entidade é transferida para alguma das cabines AVI existentes com base na lógica de seleção definida com o módulo. O processo de seleção da cabine AVI é baseado no valor mínimo de uma variedade de variáveis: número de veículos nas filas, número de veículos nas rotas para as cabines e do número de recursos ocupados. Vale ressaltar que nessas cabines AVI, com leitores automáticos de cartão de pedágio, não há intervenção humana ou recursos ocupados.
7	Passagem de entidade pela cabine AVI	Esta parte representa a passagem da entidade por alguma cabine AVI, em que não há intervenção humana ou recursos ocupados. Portanto, não haverá tempo de atendimento e, conseqüentemente, não se espera veículos nas filas.
8	Deslocamento de entidade até um ponto de alinhamento com as cabines manuais	Esta parte transfere uma entidade (veículo) do ponto de alinhamento com as cabines manuais e AVI para a estação seguinte, onde se tem o alinhamento às cabines manuais. Em seguida a entidade é transferida para alguma das cabines manuais existentes com base na lógica de seleção definida com o módulo. O processo de seleção da cabine manual é baseado no valor mínimo de uma variedade de variáveis: número de veículos nas filas, número de veículos nas rotas para as cabines e do número de recursos ocupados.
9	Passagem de entidade pela cabine manual	Esta parte destina-se como o principal método de processamento na simulação e representa a passagem da entidade por alguma cabine manual. As opções para apreender e liberar restrições de recursos estão disponíveis e o tempo de processo é alocado à entidade, sendo considerado como o tempo de atendimento na cabine.
10	Saída de veículos da praça de pedágio	Após a saída das cabines manuais ou AVI, esta parte representa o ponto final para as entidades num modelo de simulação. As estatísticas de entidade são então registradas antes que a entidade seja descartada.

2.3.2 As estimativas são consistentes?

Esta etapa inclui uma regra de decisão, oriunda do procedimento metodológico proposto, que avalia se as estimativas de desempenho do modelo de simulação são consistentes ou não. De posse dos dados das estimativas de desempenho do modelo de simulação e das estimativas de desempenho nos registros da concessionária, é verificado se as estimativas da modelagem são consistentes (ou não) frente às estimativas reais, obtidas por meio da concessionária da rodovia. Nesta etapa as principais estimativas a serem comparadas são: o fluxo médio de veículos por hora, o comprimento médio de fila e o tempo médio gasto na fila.

2.3.3 Necessidade de calibração do modelo

Caso as estimativas do modelo de simulação não estejam consistentes com as estimativas reais, obtidas por meio da concessionária da rodovia, haverá a necessidade de calibração do modelo e serão retomadas as etapas de

Modelo de simulação, em diante. Para este procedimento, as estimativas de desempenho a serem comparadas devem ser obtidas por meio de instâncias (cenários) de simulação do horário de pico analisado, variando-se o tempo de aquecimento (*warm-up*) de 30 em 30 segundos, a fim de se obter o menor erro médio e se atinja a consistência dos dados.

2.3.4 Análise dos resultados parciais

Uma vez que as estimativas do modelo de simulação estiverem consistentes com as estimativas reais, obtidas por meio da concessionária da rodovia, segue-se para análise dos resultados obtidos com o modelo de simulação. Estes resultados, considerados parciais, são obtidos por meio de relatório final do simulador, e serão verificados quanto ao atendimento da medida de desempenho de nível de serviço no passo seguinte.

2.4 Passo IV – Verificação quanto ao atendimento ao nível de serviço

Este passo visa a verificação dos resultados do modelo de simulação quanto ao atendimento ao nível de serviço. Além do mais, as demais medidas de desempenho (tempo gasto no sistema ou na fila e comprimento da fila) podem ser utilizadas para a análise do nível de serviço de praças de pedágio [7].

Dessa forma, os dados dos resultados parciais do modelo de simulação são analisados com o objetivo de se gerar o nível de serviço do sistema, para o qual foi definido o cenário de simulação. Ainda neste passo, é verificado se o nível de serviço obtido reflete se o fluxo veicular é menor (ou não) que a capacidade do sistema (relativo ao LOS “E”), com a intenção de determinar se será necessária a proposição de intervenções alternativas no sistema ou da definição de cenários futuros com projeção do tráfego analisado. Em seguida, são gerados novos cenários de simulação, que serão utilizados no próximo passo através da etapa de Modelo de simulação com os novos cenários.

2.4.1 Nível de serviço de praças de pedágio

Esta etapa é baseada em uma revisão da literatura no que se refere à aferição do nível de serviço em praças de pedágio (Quadro 2) e serve como auxílio na etapa seguinte, na medida em que é verificado se os resultados do modelo de simulação atendem (ou não) ao nível de serviço.

Quadro 2. Escalas de níveis de serviço em praças de pedágio

Autor	Método	Nível de serviço					
		A	B	C	D	E	F
[7]	D: Densidade (veic/milha/faixa)	≤ 12	≤ 20	≤ 30	≤ 42	≤ 67	> 67
	V/C: Relação volume-capacidade	0,24	0,40	0,57	0,74	1,00	-
[8]	Lq: Comprimento médio da fila (veic)	≤ 1	≤ 2	≤ 3	≤ 6	≤ 10	> 10
	W: Tempo médio no sistema (s/veic)	≤ 15	≤ 30	≤ 45	≤ 60	≤ 80	> 80
[9]	Lq: Comprimento médio da fila (veic)	≤ 1	≤ 3	≤ 5	≤ 8	≤ 11	> 11
	Wq: Tempo médio na fila (s/veic)	≤ 5	≤ 15	≤ 25	≤ 40	≤ 60	> 60
[10]	W: Tempo médio no sistema (s/veic)	≤ 14	≤ 28	≤ 49	≤ 77	≤ 112	> 112

Dessa forma, as medidas de desempenho derivadas da modelagem por simulação são analisadas por meio do Quadro 2, com o propósito de se gerar o nível de serviço do sistema, para o qual foi definido o cenário de simulação.

2.4.2 Os resultados atendem ao nível de serviço?

Esta etapa inclui uma regra de decisão que verifica o atendimento dos resultados do modelo de simulação quanto a medida de desempenho de nível de serviço (LOS). De posse dos critérios de aferição do nível de serviço do sistema, é verificado se o mesmo reflete se o fluxo veicular é menor que a capacidade do sistema (relativo ao LOS “E”), ou seja, níveis de serviço iguais a “A”, “B”, “C” ou “D”.

2.4.3 Definição de cenários futuros com projeção do tráfego

Verifica-se que a praça de pedágio em estudo estará em boas condições de operação para o cenário em que foi analisado, uma vez que o nível de serviço obtido refletir que o fluxo veicular é menor que a capacidade do

sistema (relativo ao LOS “E”). Neste caso, não haverá a necessidade de implantação imediata de intervenções alternativas no sistema. Em contrapartida, são definidos cenários futuros com projeção do tráfego analisado (com base nos dados de tráfego existentes ou por meio de séries históricas de rodovias com características semelhantes). Para estes cenários, serão previstos na próxima etapa o nível de serviço futuro da praça de pedágio (por exemplo, no final da concessão ou em algum momento em que o nível de serviço mostre que o fluxo veicular é igual a capacidade do sistema, relativo ao LOS “E”).

A simulação não é um instrumento para prever o futuro, mas sim para prever o comportamento de um sistema [5]. Porém, entende-se que esta etapa é uma importante estratégia de planejamento na qual possibilita operações mais eficientes aos gestores de transportes e a concessionária da rodovia nos cenários futuros.

2.4.4 Proposição de intervenções alternativas e criação de novos cenários

Caso o nível de serviço obtido, no cenário em que foi realizada a simulação, refletir que o fluxo veicular é igual a capacidade do sistema (relativo ao LOS “E”) ou pior (LOS “F”), verificar-se-á que a praça de pedágio estará operando na situação em que todos os veículos enfrentam filas antes de chegar às cabines. Nesses casos, o tráfego de fluxo interrompido é um fenômeno típico e as manobras nas aproximações das cabines são quase impossíveis. Dessa forma, a praça de pedágio estará em más condições de operação e será necessária a proposição de intervenções alternativas no sistema, bem como a criação de novos cenários. As intervenções alternativas a serem testadas são apresentadas abaixo: (i) Aumento de capacidade ou adição de novas cabines de pedágio; (ii) Sistema misto de coleta manual e sistema AVI; (iii) Apenas sistema AVI com cancela; (iv) Sistema misto de coleta manual e free-flow; e (v) Rodovias de pedágio aberto ou free-flow.

2.5 Passo V – Perspectivas para implantação de intervenções alternativas

Este passo visa auxiliar os órgãos gestores ou as concessionárias de rodovias na tomada de decisão com relação as perspectivas de implantação de intervenções alternativas no sistema. Dessa forma, o modelo de simulação com novos cenários estabelecidos no passo anterior e a elaboração de um relatório gerencial com análise dos resultados finais devem ser considerados, a fim de possibilitar operações mais eficientes no sistema.

2.5.1 Modelo de simulação com os novos cenários

Esta etapa refere-se ao modelo de simulação com os novos cenários, estipulados nas etapas anteriores, cujos cenários podem ser de: (i) Proposição de intervenções alternativas no sistema; ou (ii) Projeção futura do tráfego analisado. Quando se tratar dos cenários com a proposição de intervenções alternativas no sistema, deverão ser testadas todas as medidas viáveis para o local, com a intenção de se verificar as estimativas de desempenho de cada uma delas, bem como da aferição do nível de serviço. Por outro lado, quando se tratar dos cenários futuros com projeção do tráfego analisado, deverão ser previstos os níveis de serviço futuro do sistema, variando-se o fluxo de chegada ou o intervalo entre chegadas dos veículos.

2.5.2 Relatório gerencial com análise dos resultados

Ao final, um relatório gerencial com análise de todos os resultados deve ser gerado, tendo como referência os novos cenários que foram analisados na etapa anterior. Como diferentes intervenções alternativas no sistema apresentam diferentes benefícios identificados via simulação da operação (melhora no nível de serviço), ficará a cargo do órgão gestor ou da concessionária decidir qual delas deve ser selecionada, seja em função da capacidade, dos custos associados, ou de algum outro critério estabelecido. Em contrapartida, quando se tratar dos cenários futuros com projeção do tráfego analisado, deverão ser previstos os níveis de serviço futuro do sistema, com o propósito de possibilitar operações mais eficientes aos gestores de transportes e a concessionária da rodovia. Dessa forma, o relatório gerencial com análise dos resultados realça as contribuições do procedimento proposto, em que se diferencia e agrega as abordagens disponíveis.

3 CONCLUSÕES

As praças de pedágio envolvem componentes numerosos e incluem: atendentes de pedágio, equipes de suporte, edificações de operação e administração, contagem de cédulas e moedas, etc. Além do mais, as praças de pedágio são frequentemente caracterizadas como um trecho potencial de gargalo, devido ao processo de cobrança direta aos usuários.

Dessa forma, foi proposto neste artigo a criação de um procedimento metodológico para avaliar o desempenho de uma praça de pedágio e das perspectivas para implantação (ou não) de intervenções alternativas no sistema. Tal procedimento é baseado em uma série de etapas e utiliza a técnica de modelagem por simulação e da comparação dos resultados do modelo de simulação, devidamente calibrado, com as medidas de desempenho de praças de pedágio presentes na literatura, sobretudo o nível de serviço. De modo geral, o procedimento contempla os seguintes passos: caracterização da praça de pedágio e análise dos dados; modelagem da praça de pedágio por simulação; verificação e validação do modelo de simulação; verificação quanto ao atendimento ao nível de serviço; e perspectivas para implantação de intervenções alternativas.

Tal procedimento tem suas potencialidades, na medida em que possui a capacidade de ser aplicável no contexto das rodovias sob concessão e pode ser utilizado como um guia prático para as concessionárias de rodovias no que se refere a avaliação de desempenho operacional de praças de pedágio nas rodovias concedidas sob suas operações.

Os autores, por exemplo, aplicaram o procedimento em um estudo de caso, envolvendo a praça de pedágio de Itaúna/MG, e os resultados indicam que a praça de pedágio analisada se encontra em boas condições de operação, visto que o nível de serviço obtido reflete que o fluxo veicular é ainda inferior a capacidade do sistema. Entretanto, a possibilidade do pagamento da tarifa mediante o conceito de rodovias de pedágio aberto ou *free-flow* apresentaria grandes vantagens aos usuários, na qual se pode observar uma significativa redução do tempo necessário para cruzar a praça de pedágio em estudo [2].

Dessa forma, o estudo desenvolvido contribui no sentido de auxiliar na tomada de decisão dos gestores das praças de pedágio, tendo em vista a necessidade de cumprir com as medidas de eficiência operacional acordadas em contratos de concessão.

4 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

5 REFERÊNCIAS

1. L. Ângelo, *Indicadores de Desempenho Logístico*. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Brasil, 2005.
2. T. Santos, *Procedimento metodológico para avaliação de desempenho de praças de pedágio com uso de simulação*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Programa de Engenharia de Transportes. Rio de Janeiro, Brasil, 2017.
3. Cátedra Abertis, *Resultados da Premiação da Cátedra Abertis – USP de 2017*. Disponível em <<http://www.anpet.org.br/32anpet/index.php/pt/destaques/noticias/45-resultados-da-premiacao-da-catedra-abertis-usp-de-2017>> Acesso em dezembro de 2017.
4. F. Oliveira, *Simulação de Projetos com utilização do software ARENA*. Juiz de Fora, Brasil, 2013.
5. L. Chwif e A. Medina, *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações*, 4a edição. ed. São Paulo, Brasil, 2014.
6. PARAGON, *Software de simulação Arena*. Disponível em <<http://www.paragon.com.br/software/arena/>> Acesso em dezembro de 2017.
7. T. Woo e L. Hoel, Toll Plaza Capacity and Level of Service. *Transp. Res. Rec.* 1320, 119–127, 1991.
8. F. Lin e C. Su, Level-of-service analysis of toll plazas on freeway main lines. *J. Transp. Eng.* 120, 246–263, 1994.
9. J. Danko e V. Gulewicz, *Insight through innovation: A dynamic approach to demand-based toll plaza lane staffing*. 1116–1123, 1994.
10. J. Klodzinski e H. Al-Deek, New Methodology for Defining Level of Service at Toll Plazas. *Transp. Res. Rec.* 1802, 86–96, 2002.