



ISSN 2175-6295 Rio de Janeiro- Brasil, 12 e 13 de agosto de 2010

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL APLICADA AO TRÁFEGO: UMA ANÁLISE DO FLUXO DE VEÍCULOS NA PRAÇA TIRADENTES EM OURO PRETO - MG

Túlio Lupiano Oliveira

Departamento de Produção, Campus Universitário S/N, – UFOP
Ouro Preto, Minas Gerais, 35400000, Brazil
tulio_lupiano@hotmail.com

Ms. Irce Fernandes G. Guimarães

Departamento de Produção, sala 69, – UFOP
Campus Universitário S/N, Ouro Preto, Minas Gerais, 35400000, Brazil
profirce@yahoo.com.br

Ms. Lásara Fabrícia Rodrigues

Departamento de Produção, Sala01, – UFOP
Campus Universitário S/N, Ouro Preto, Minas Gerais, 35400000, Brazil
lasara@em.ufop.br

Filipe Rocha Martins

Departamento de Produção – UFOP
Campus Universitário S/N, Ouro Preto, Minas Gerais, 35400000, Brazil
filipedarocha@gmail.com

Resumo

O intenso fluxo de veículos vem se tornando motivo de preocupação em cidades históricas. Nesses casos, é necessário considerar a degradação do patrimônio histórico causada por este fluxo e pelo grande número de turistas que transitam pela cidade. Este estudo utiliza a simulação computacional para analisar, avaliar e tomar decisões relativas ao problema do fluxo de veículos na Praça Tiradentes, principal ponto turístico de cidade histórica de Ouro Preto-MG. As simulações foram realizadas no *Software Arena 12.0* e as análises estatísticas no *Input Analyzer*. Os resultados foram satisfatórios e apresentam algumas mudanças que poderiam ser adotadas no local buscando um trânsito mais eficiente sem comprometer a segurança das pessoas que interagem com o meio.

Palavras-chave: Simulação computacional. Tráfego. Cidade histórica.

Abstract

The flux intense of the vehicles in historical cities is becoming a motive of preoccupation. In this case, it is necessary to consider the degradation of the historical patrimony caused by this vehicles flux and the number of the tourist that circulate in the city. This study uses the computer simulation to analyze, evaluate and decide about this problem in Tiradentes square,

the most important tourist point in Ouro Preto. The simulation was realized with the Arena software 12.0 and the statistic analyses with the Input Analyzer. The results was satisfactory and shows some changes that could be adopted in this place to obtain a efficient traffic without compromise the security of people who interact with the local environment.

Key_ words: Simulation, traffic, historical city.

1 - Introdução

Com o decorrer dos anos e o aumento natural do número de veículos automotores houve um crescimento da necessidade de se controlar e regular o fluxo destes veículos nas ruas. Esse controle deve ser baseado na legislação de trânsito vigente, que é responsável por garantir segurança a motoristas, pedestres e moradores da cidade.

Entretanto, muitas vezes as situações precárias das estruturas viárias dificultam esse controle. Ruas estreitas, aumento do fluxo de veículos nas ruas e trajetos irregulares planejados para uma época em que não havia grande intensidade do tráfego são os principais obstáculos para se obter um trânsito eficiente em algumas cidades.

Estes problemas são ainda maiores quando se refere às cidades históricas. Geralmente, a maioria das vias de locomoção, nestas localidades, foram projetadas há muitos séculos, sob métodos precários de construção e que, com o caminhar dos anos, tornaram-se obsoletos e ineficazes. Como não é possível alterar a estrutura existente, em função, algumas vezes, de determinações que regem o patrimônio histórico ou, outras vezes, do espaço insuficiente e inadequado para obras, o problema se agrava.

Observando estes problemas, diferentes alternativas estão sendo estudadas e algumas já estão em funcionamento como por exemplo, a proibição do trânsito nos centros históricos ou a proibição do trânsito de veículos pesados nas principais localidades das cidades históricas.

Os principais problemas gerados pelo trânsito em centros históricos são (ZANIRATO, 2008):

- Contaminação atmosférica, pois os gases lançados pelos veículos podem ter efeito corrosivo sobre os patrimônios edificados;
- Contaminação acústica, devido aos ruídos emitidos pelos veículos, que podem abalar as estruturas destes edifícios;
- Vibrações, que contribuem para o aumento de fissuras existentes nas paredes;
- Impacto Visual, pois a existência de carros nas ruas modifica a percepção da paisagem urbana, que perde grande parte de sua beleza;
- Transformação do sentido dos lugares, sendo que um local que tem características e valores históricos pode se tornar apenas mais uma via de circulação de veículos.

Por outro lado, o progresso é imprescindível para o desenvolvimento dessas cidades e pode trazer benefícios relevantes aos turistas e, principalmente, aos moradores.

Nota-se também que há uma conscientização crescente de moradores e governantes na busca pela conservação dos patrimônios históricos. Entretanto, decisões relativas a esse assunto ainda são, geralmente, baseadas em experiências. Dessa forma, é importante buscar técnicas e metodologias capazes de ajudar no controle e numa possível melhoria do trânsito nas cidades históricas.

Sendo assim, o presente estudo analisa o fluxo de veículos na Praça Tiradentes, na cidade de Ouro Preto (MG), através da Simulação. Essa análise considera aspectos da conservação do patrimônio histórico, conforto e segurança das pessoas que interagem com o espaço e a agilidade do tráfego.

Para apresentar os resultados alcançados, organizou-se este artigo da seguinte forma: nas seções 2, 3 e 4 serão apresentados os levantamentos teóricos que deram base para este estudo, apresenta-se os principais conceitos de engenharia de tráfego, do trânsito na cidade de Ouro Preto (MG) e da simulação computacional. A seção 5 apresenta a metodologia utilizada e a seção 6 mostra os cenários analisados. A seção 7 apresenta o modelo computacional e a 8 os

resultados alcançados. Para finalizar é apresentada na seção 9, as considerações finais, seguida das referências utilizadas nesse estudo.

2 - Engenharia de Tráfego

Devido ao aumento de veículos circulantes e à insuficiência natural de espaço viário, ocorridos em função do crescimento populacional, grande parte das cidades brasileiras apresenta problemas crônicos no trânsito. Os principais são altos índices de acidentes, muitas vezes fatais, grandes congestionamentos urbanos, ausência de tratamento adequado e proteção para pedestres, falta de espaço para estacionamento e problemas relativos ao transporte público. A Figura 1 ilustra, esquematicamente, o problema do crescimento do volume de veículos circulantes. Este problema, originado pelo aumento de veículos nas ruas, gera outros problemas o que agrava mais a situação.

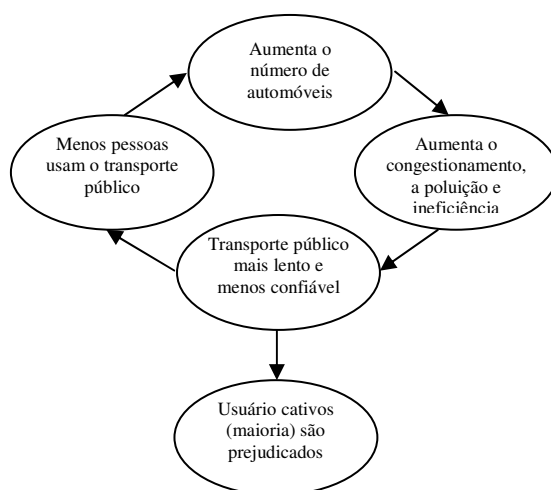


Figura 1: Esquema do problema do aumento de veículos circulantes
Fonte: CUCCI, 2001

Nesse sentido, a Engenharia de Tráfego surge para tentar minimizar os problemas gerados pelo trânsito nas cidades, buscando impedir a saturação das condições de fluxo, minimizar o tempo total das viagens, reduzir o impacto dos acidente, aumentar a segurança, etc.

Leite (1980) afirma que a “Engenharia de Tráfego trata de planejamento, projeto geométrico e operação de tráfego, visando o movimento conveniente de pessoas e mercadorias, sendo essencial em todos os seus ramos a obtenção de dados de tendências dos transportes e tráfego para toda uma região e as condições de tráfego nos locais específicos de estudo.”

Assim, é importante salientar que um estudo aprofundado neste setor pode resultar na melhoria do tráfego urbano. Para isso, muitas vezes são necessárias grandes modificações nas estruturas viárias, o que demanda altos investimentos públicos e dificulta sua realização.

Nas cidades históricas, a situação do trânsito é ainda mais complexa. Isso acontece porque é imprescindível conciliar soluções de engenharia de tráfego com a necessidade de resguardar a integridade do patrimônio histórico, artístico e cultural da cidade.

3 - Trânsito na cidade histórica de Ouro Preto (MG)

Para que as cidades absorvam o crescimento do número de veículos que circulam por suas vias, são demandadas grandes obras de infra-estrutura viária com elevado custo para sua realização. No entanto, as cidades históricas não podem passar pelo mesmo processo devendo buscar outro tipo de solução para absorver o aumento constante no fluxo de veículos que

circulam pelas suas ruas e avenidas, otimizando seu sistema viário.

Além disso, dificilmente é possível realizar grandes mudanças na infra-estrutura viária, em função da pouca disponibilidade de espaço e da preservação das características tradicionais do patrimônio. Entretanto, essas mudanças são muitas vezes necessárias devido ao aumento no fluxo de veículos.

Dessa forma, o trânsito das cidades históricas deve ser ainda melhor planejado. Também deve ser amplamente monitorado e estudado, visando à obtenção de soluções que proporcionem um tráfego menos agressivo.

No caso de Ouro Preto (MG), o Ministério Público de Minas Gerais, em conjunto com a Prefeitura Municipal e o IPHAN, divulgou no dia 04 de abril de 2008, um Termo de Ajustamento de Conduta (TAC). O TAC visa, além de regularizar e normatizar o trânsito de veículos pesados no centro histórico, apontar alternativas compatíveis com o problema gerado pelo intenso fluxo de automóveis.

Além disso, requisitou-se, por meio do TAC, o aumento da fiscalização do trânsito pelo Departamento de Trânsito de Ouro Preto (OUROTRAN).

Em relação às medidas necessárias à melhoria do tráfego de veículos pelo centro histórico da cidade, através do TAC, foi solicitado a instalação de balizadores impedindo o trânsito de veículos pesados em 12 ruas. Além disso, houve uma proposta de Humanização da Praça Tiradentes, com a eliminação total de estacionamento de veículos na área compreendida entre a fachada do Museu da Inconfidência e a estátua de Tiradentes e criação de um passeio central para circulação de pedestres na área abarcada entre a estátua de Tiradentes e a antiga Escola de Minas, devendo ser efetuada a demarcação e delimitação dos mencionados espaços através da implantação dos meio-fios de pedra e a elevação do piso da praça.

O TAC também definiu a execução do projeto de sinalização do centro histórico de Ouro Preto, prevendo: racionalização da sinalização atual com a retirada de placas desnecessárias e/ou deterioradas e implantação de sinalização de regulamentação e advertência. Outra medida requisitada pelo TAC foi a regulamentação, com determinação dos locais fixos e horários, das operações de carga e descarga no centro histórico da cidade, sendo vedadas tais operações na Praça Tiradentes e Rua São José.

O TAC estabeleceu ainda prazos para execução de cada etapa das interferências. Algumas destas interferências propostas pelo TAC, tiveram seus prazos finais de execução atrasados. Independentemente, essas medidas representam uma possibilidade real de melhoria do tráfego de veículos e pedestres no centro histórico e uma maior preservação do patrimônio artístico-cultural nessa área.

Também visando melhorias no trânsito da cidade, existem algumas ferramentas que podem ser utilizadas com o objetivo de facilitar a realização de estudos e experimentos e auxiliar na análise de resultados, como por exemplo a Simulação Computacional.

4 - Simulação Computacional

Esta é uma ferramenta utilizada para analisar a performance de sistemas e o comportamento futuro de variáveis relevantes. Segundo Monks *apud* Augusto (2005), a simulação é um método de modelar a essência de uma atividade ou sistema, de modo que possam ser feitas alterações para avaliar o seu comportamento ou o efeito da mudança ao longo do tempo.

De acordo com Pedgen et al. (1995), a simulação é o processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo com o objetivo de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação. De acordo com Pidd (2004), um modelo é a representação externa explícita da realidade vista pelas pessoas que desejam usá-lo para entender, mudar, gerenciar e controlar aquela parte da realidade.

O avanço nas metodologias tornou a simulação uma das mais largamente usadas e aceitas ferramentas na Pesquisa Operacional (Banks et al., 1999).

Law e Kelton (1991) associaram o aumento da popularidade de modelos de simulação a facilidade do uso de animação, que é uma representação visual do modelo, e ao aumento de credibilidade junto aos tomadores de decisão que a animação proporciona.

A simulação tem sido largamente utilizada em: manufatura, manuseio de materiais, sistemas militares, tráfego, treinamento de pilotos, sistemas de planejamento e projeto de minas e vários sistemas com forte estrutura de filas. Um exemplo de utilização é um estudo para analisar as medidas de desempenho operacional devido à substituição de uma interseção semaforizada por uma rotatória, feito por Bertoncini (2004). A análise das medidas de desempenho obtidas por simulação demonstrou que a decisão de substituir a interseção semaforizada pela rotatória foi acertada, e resultou em reduções no tempo médio de percurso, no número médio de paradas, no atraso global e, conseqüentemente, menor consumo de combustível.

A simulação envolve a construção de um modelo matemático que descreve a operação do sistema sob estudo. O modelo é rodado várias vezes para determinar o seu comportamento médio. Em consequência disso, a simulação pode ser usada para obter medidas de desempenho para sistemas complexos, testar alternativas e avaliar o funcionamento desses sistemas e para avaliação rápida e com baixo custo de um grande número de problemas sem a necessidade de interferência no sistema sob investigação.

Outro aspecto do contexto atual que favorece a utilização da simulação na logística de transportes é o extraordinário avanço das tecnologias de informática ocorridas nos últimos anos, e em constante crescimento. A técnica de Simulação de Eventos Discretos foi bastante favorecida, que passou a contar com ferramentas computacionais poderosas, capazes de estudar sistemas de maior complexidade, envolvendo grande quantidade de variáveis. Algumas linguagens de simulação oferecem estruturas modulares que podem representar porções complexas de um sistema, e que podem ser facilmente configuradas pelo programador durante a montagem do modelo (FIORONI, 2007).

Segundo Pidd (2004), após a elaboração do modelo de simulação, deve-se realizar a implementação computacional utilizando *softwares* como o Arena, ProModel e Witness. Esses *softwares* permitem desenvolver o modelo computacional através da seleção de ícones e a ligação entre eles para mostrar a interação lógica do modelo.

Andrade (2004) cita as etapas mostradas na Figura 2 para a realização de um estudo de simulação. Na formulação do problema, devem ser explicitamente definidos os objetivos e finalidades da simulação. A coleta de dados deve reunir informações confiáveis e em quantidade suficiente de dados relacionados ao sistema. Depois, devem ser identificadas as variáveis do problema, bem como suas relações. Além disso, as condições e restrições do sistema devem ser levadas em consideração. A construção do modelo consiste na formulação das equações que devem representar as inter-relações do sistema. Depois de construído, o modelo é testado e, posteriormente, validado. Se este representar corretamente o sistema em estudo, ele está apto a ser trabalhado e manipulado no computador. Senão, retorna-se ao início do processo. Depois da realização dos experimentos no ambiente computacional, os resultados são analisados e avaliados, e vão auxiliar o processo de tomada de decisões.

A simulação torna o processo de tomada de decisão muito mais consistente, pois nenhuma modificação é realizada efetivamente antes de ser testada no computador. Além disso, essa técnica evita gastos desnecessários com mudanças que, futuramente, seriam consideradas inadequadas ao sistema real.

Quando uma solução é obtida usando simulação é importante entender o que significa essa solução. Deve-se ressaltar que um modelo de simulação não resolve o problema, mas diz como um sistema vai operar sob um dado conjunto de parâmetros.

Devido à grande aplicabilidade dos estudos de simulação em problemas relacionados à Engenharia de Tráfego, foram desenvolvidos simuladores específicos para esse fim. Esses simuladores são chamados de simuladores de tráfego. Entretanto, para a realização desse

trabalho, não foi utilizado um simulador de tráfego específico devido à complexidade e ao alto custo de aquisição desses *softwares*.

5 - Metodologia

Neste estudo foi utilizada a versão estudante do *Software Arena12.0* na realização da simulação do modelo e cenários. O projeto de simulação utilizou um computador Pentium Dual Core 1.8Ghz e 2 GB de RAM sob plataforma Windows Vista Home Basic. Foram feitas três replicações e o critério utilizado para parada foi o tempo de 1 ano. A Figura 2 apresenta as etapas metodológicas utilizadas nesse estudo.

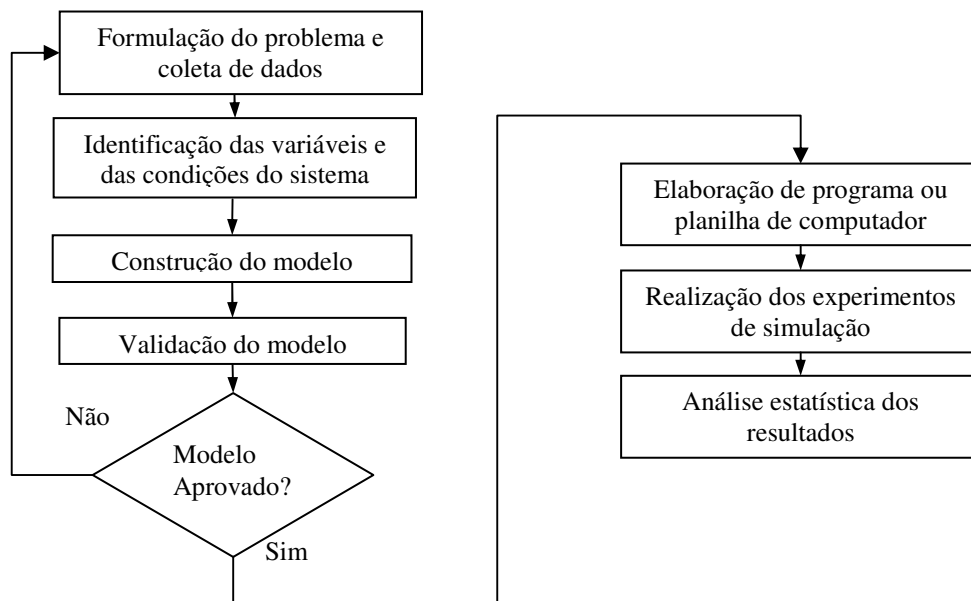


Figura 2 – Etapas de um estudo de simulação
Fonte: Andrade (2004)

A Simulação computacional foi utilizada devido a necessidade de avaliar, baseado em coletas de dados do sistema real, a situação do trânsito na Praça Tiradentes, com o objetivo de simular as condições gerais de tráfego neste local.

Os dados foram coletados de forma manual utilizando cronômetro na forma hh:mm:ss. As anotações foram feitas em planilhas numeradas e devidamente identificadas. A coleta foi realizada em diferentes dias da semana, e diferentes horários, de modo a tornar a simulação mais próxima do real. Essa coleta foi feita em 25 dias não consecutivos, distribuídos aleatoriamente no período de 20/04/2009 à 26/08/2009.

A partir das informações da legislação que rege os fluxos de veículos, adquiridas no Departamento de trânsito da cidade em estudo e dos tempos de chegada e de atravessamento coletados em cada rua criou-se o modelo a ser simulado. O conjunto de tempos coletados para atravessar cada rua foram utilizados no aplicativo *Input Analyser*, disponível no *software Arena 12.0*, para determinação de uma única distribuição para cada trajeto. O mesmo foi feito para encontrar a expressão que caracteriza a chegada de carros em cada entrada da Praça.

6 - Cenários Analisados

A Praça Tiradentes está localizada no Centro Histórico da cidade de Ouro Preto (MG), e é um dos locais de maior movimentação de veículos na cidade. Esta Praça recebe veículos de cinco vias, sendo elas: Conde de Bobadela (Rua 'A'), Antônio Pereira (Rua 'C'), Cláudio Manoel (Rua 'D'), Barão de Camargos (Rua 'E') e Padre Rolim (Rua 'F'). Quanto à saída da Praça, os veículos têm quatro opções de ruas: Cláudio Manoel (Rua 'D'), Padre Rolim (Rua 'F') e Barão de Camargos (Rua 'E') que são vias de mão dupla, além da Brigadeiro Musqueira (Rua 'B'), de sentido único.

O Cenário 1, mostrado na Figura 3, ilustra o arranjo físico da Praça Tiradentes quando foi iniciado o estudo. As setas indicam a direção do fluxo de veículos no local. Esta estrutura da Praça era alvo constante de críticas e reclamações por parte dos pedestres, principalmente turistas, que solicitavam mais espaço e mais segurança para transitarem.

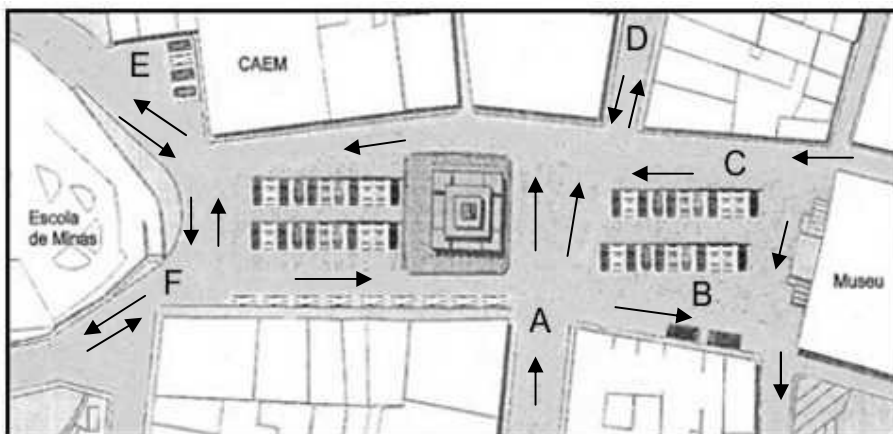


Figura 3: Representação do Cenário 1

As constantes reclamações levaram o Ministério Público de Minas Gerais a formular o TAC, que apresentava mudanças a serem feitas na Praça Tiradentes visando torná-la mais segura, atrativa e confortável para os pedestres e visitantes. Desta forma, o Cenário 2, representado na Figura 4, apresenta a situação da Praça Tiradentes após a realização de algumas mudanças pela Prefeitura Municipal de Ouro Preto (PMOP). Basicamente, estas modificações consistiam na restrição severa do trânsito de veículos pesados no centro histórico, eliminação da área de estacionamento compreendida entre o Museu da Inconfidência e a estátua de Tiradentes, criação de um passeio central para circulação de pedestres e de dois canteiros centrais, próximos à estátua de Tiradentes (Rotatória G) e à Escola de Minas (Rotatória H), para separar e organizar o trânsito de veículos.

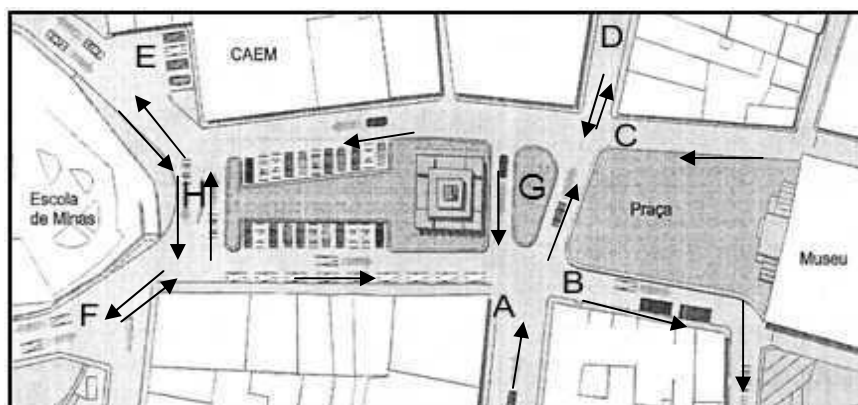


Figura 4: Representação do cenário 2

O Cenário 3 é uma adaptação do Cenário 2. Neste Cenário é sugerido uma mudança com o objetivo de aliviar o fluxo de veículos no trecho em frente à Escola de Minas. Para isso, os

carros que chegarem à Praça Tiradentes vindos da Rua 'F' e desejarem ir para a Rua 'E' devem fazer o contorno na rotatória "G" e então seguir para a Rua 'E'. A Figura 5 esquematiza essa proposta.

No Cenário 3, a rotatória "H" construída em frente à Escola de Minas seria dispensável e o trânsito neste trecho seria em sentido único. Além disso, na rotatória 'G', o fluxo de veículos mudaria de sentido.

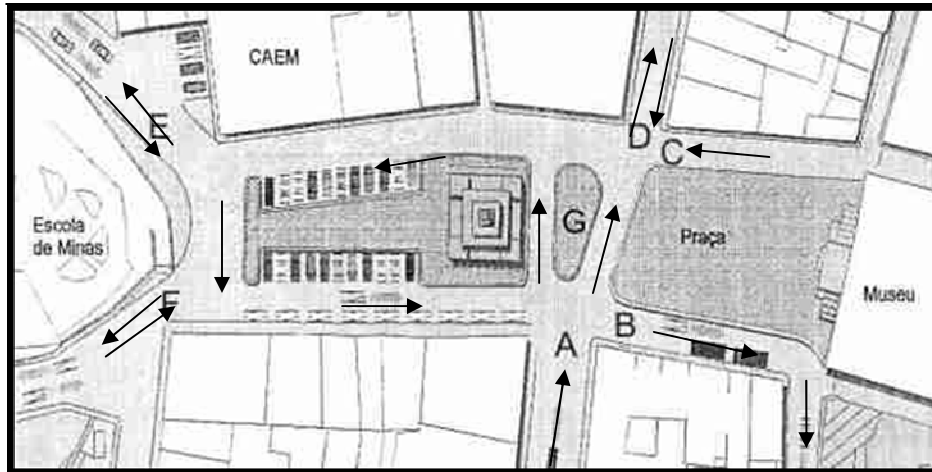


Figura 5: Representação do cenário 3

7 - Modelo Computacional

O modelo proposto nesse estudo é um modelo de simulação de fluxo de trânsito, sendo iniciado pela entrada das entidades no sistema (chegada dos veículos na Praça), seguindo para o processo de atendimento (travessia dos veículos), possível espera em fila (espera em cruzamentos) e saída das entidades do sistema (saída de veículos da Praça).

A Figura 6 apresenta o modelo formulado no *software Arena 12.0*. O modelo é baseado em cinco fluxogramas, que representam as cinco diferentes entradas da Praça. São elas: Rua 'A', Rua 'C', Rua 'D', Rua 'E' e Rua 'F'. Para cada uma destas entradas, depois do processo de entrada (*Create*), há uma verificação do trajeto do veículo (*Decide*), ou seja, o usuário precisa escolher qual trajeto ele vai seguir dentro da Praça. As opções para a escolha dependem de qual rua o usuário está chegando nesta Praça. Por exemplo, se ele vier da Rua 'F', este usuário pode seguir para a Rua 'B', Rua 'D', Rua 'E' ou estacionar seu veículo na Praça(Est). Nesse *Decide*, foram utilizadas porcentagens coletadas que indicavam o número de veículos que seguiam cada trajeto.

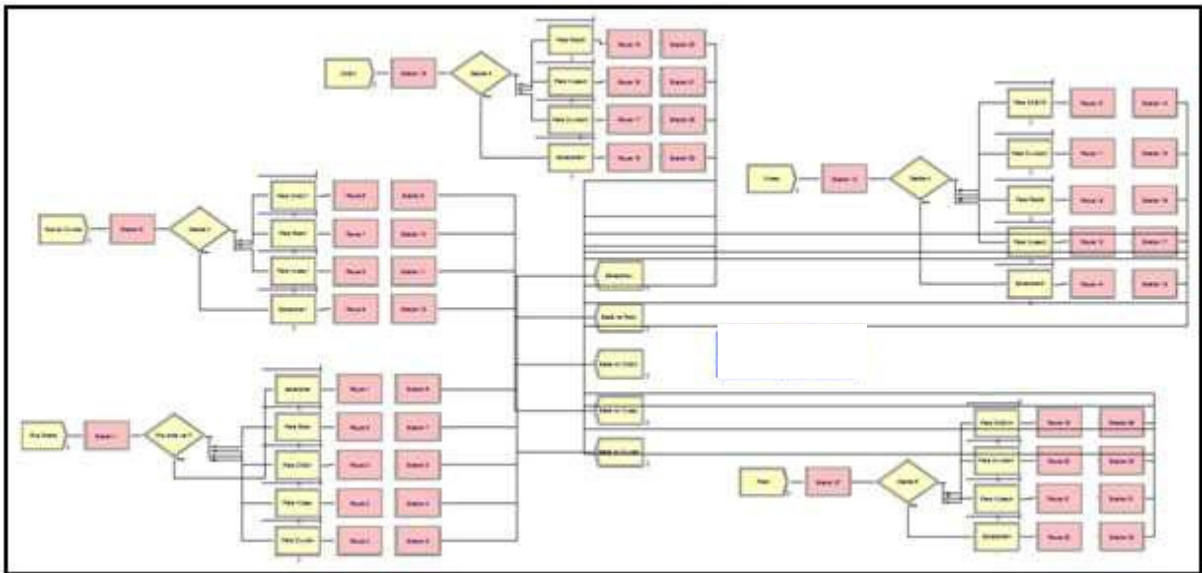


Figura 6: Modelo simulado
 Fonte: Simulação no Arena 12.0(2009)

Depois de verificado o trajeto, as entidades dentro do sistema seguem para o respectivo processo de atendimento (*Process*). É importante salientar que cada trajeto tem um processo diferente, e que é neste processo que é definido o tempo de percurso dos veículos. Por fim, todos os fluxogramas se juntam na saída do sistema (*Dispose*). São elas: Rua ‘F’, Rua ‘E’, Rua ‘D’, Rua ‘C’ ou estacionar (EST, EST1, EST2 e EST3).

A saída das entidades do processo representa o término da participação destas entidades no sistema. Independentemente de qual entrada foi utilizada pelo veículo quando este chegou à Praça Tiradentes, a saída deverá ser feita por algumas das saídas citadas. Por isso, esta parte é única no modelo e recebe todos os veículos dos diferentes fluxogramas.

Em relação à animação do modelo, são traçadas Rotas (*Routes*) e Estações (*Stations*) que definem o percurso que será feito pelo objeto animado. Neste estudo, adotou-se uma imagem de um carro disponível no próprio *Arena 12.0* para representar os veículos que transitam pela Praça Tiradentes. A Figura 7 apresenta uma visão geral do modelo com as entidades animadas.

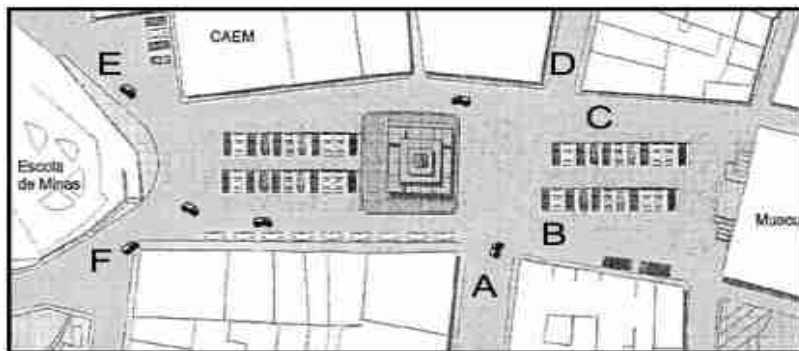


Figura 7: Visão geral do modelo animado

8 – Resultados Obtidos

Os resultados demonstram que, no Cenário 2, o número médio de veículos em fila, em relação ao Cenário 1, diminuiu consideravelmente em alguns trajetos, como por exemplo “AF” (ou seja, da rua “A” para rua “F”) e “EF” (da Rua “E” para Rua “F”). Entretanto, no trajeto “FD”, o mais crítico, os números pioraram. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para o número médio de veículos em fila em cada um dos cenários.

Tabela 1: Número médio de veículos em fila em cada um dos cenários

<i>Trajeto</i>	<i>Cenário 1</i>	<i>Cenário 2</i>	<i>Cenário 3</i>
AF	17,0377	6,4283	10,77990000
DF	0,2738	1,8877	0,27090000
CF	0,0000	0,0000	0,00000000
EF	9,2900	0,3290	0,04218151
AE	0,0090	0,1166	0,48740000
DE	0,0000	0,0161	0,01311119
CE	0,1521	0,3555	1,21110000
FE	2,9067	2,0023	26,69920000
AD	0,8334	0,5203	0,05134904
CD	0,0379	0,0579	0,03597351
ED	1,0760	1,0279	0,58450000
FD	21,5139	25,6988	25,47840000
AB	0,0000	0,0000	0,00000000
DB	0,0090	0,0000	0,00000000
CB	0,0000	0,0179	0,00000000
EB	0,0000	0,0924	0,00000000
FB	0,0000	0,5203	0,00000000
EST	0,0000	0,0000	0,00000000
EST 1	0,0000	0,0000	0,00000000
EST 2	0,0000	0,0000	0,00000000
EST 3	0,0000	0,0000	0,00000000
EST 4	0,0016	0,0000	0,00000000

No Cenário 3, nota-se que os maiores números de veículos em fila estão nos trajetos ‘FD’ e ‘FE’, que representam os veículos que vem da Rua ‘F’ e vão, respectivamente, em direção a Rua ‘D’ e ‘E’.

Em relação ao Cenário 1, nota-se, no Cenário 3, uma redução significativa no número médio de veículos em fila em todos os trajetos que tem como destino a Rua ‘F’ (‘AF’ ‘DF’ ‘CF’ e ‘EF’). Por outro lado, destaca-se um crescimento acentuado dos veículos em fila no trajeto ‘FE’, que é feito pelos veículos que vem da Rua ‘F’ e se dirigem a Rua ‘E’ e que, de acordo com as mudanças propostas, tem que fazer o contorno em frente à rotatória G.

A Tabela 2 mostra os tempos médios de espera em fila em cada um dos cenários.

Comparando-se o Cenário 2 com o Cenário 1 observa-se que houve melhoras significativas em relação ao tempo médio de espera em fila em alguns trajetos. Como exemplo, podem ser citados os trajetos ‘AF’ e ‘EF’. Entretanto, no trajeto mais crítico ‘FD’, os números pioraram.

Tabela 2: Tempo médio de espera em fila (em minutos) em cada um dos cenários

<i>Trajeto</i>	<i>Cenário 1</i>	<i>Cenário 2</i>	<i>Cenário 3</i>
AF	7,6515	5,4980	5,92370000
DF	0,5867	1,6656	0,50790000
CF	0,0000	0,0000	0,00000000
EF	6,9623	0,1828	0,02750968
AE	0,0387	0,3353	0,89120000
DE	0,0000	0,0402	0,04370397
CE	0,3258	0,5413	1,81670000
FE	0,7075	0,5889	8,51340000
AD	0,6757	0,4846	0,05705449
CD	0,0284	0,0543	0,04496689
ED	1,5070	1,4590	1,16890000
FD	7,8649	9,8229	9,88380000
AB	0,0000	0,0000	0,00000000
DB	0,0908	0,0000	0,00000000
CB	0,0000	0,1347	0,00000000
EB	0,0000	0,4762	0,00000000
FB	0,0000	0,3079	0,00000000

EST	0,0000	0,0000	0,00000000
EST 1	0,0000	0,0000	0,00000000
EST 2	0,0000	0,0000	0,00000000
EST 3	0,0000	0,0000	0,00000000
EST 4	0,0098	0,0000	0,00000000

No Cenário 3, assim como no Cenário 2, em relação ao tempo médio de espera em fila, o trajeto mais complicado continua sendo o 'FD'.

Além disso, o trajeto 'FE' apresentou um crescimento elevado no tempo médio de espera em fila. Este trajeto é feito pelos veículos que vem da Rua 'F' e se dirigem a Rua 'E' e que, de acordo com as mudanças propostas, tem que fazer o contorno na rotatória G.

Comparando-se o Cenário 3 com o Cenário 1, ressalta-se que houve melhoras significativas em alguns trajetos, destacando-se os que têm como destino a Rua 'F' ('AF', 'DF', 'CF' e 'EF'). Entretanto, no trajeto 'FE', que representa os veículos que saem da Rua 'F' e se destinam à Rua 'E', os resultados pioraram.

A Figura 8 apresenta a taxa de utilização das vias em cada um dos cenários estudados. No Cenário 1, os trechos 'AF', 'EF', 'FE', 'ED' e 'FD' apresentaram altas taxas de utilização.

No Cenário 2, os trechos com maior utilização são 'AF', 'DF', 'FE' 'FD'.

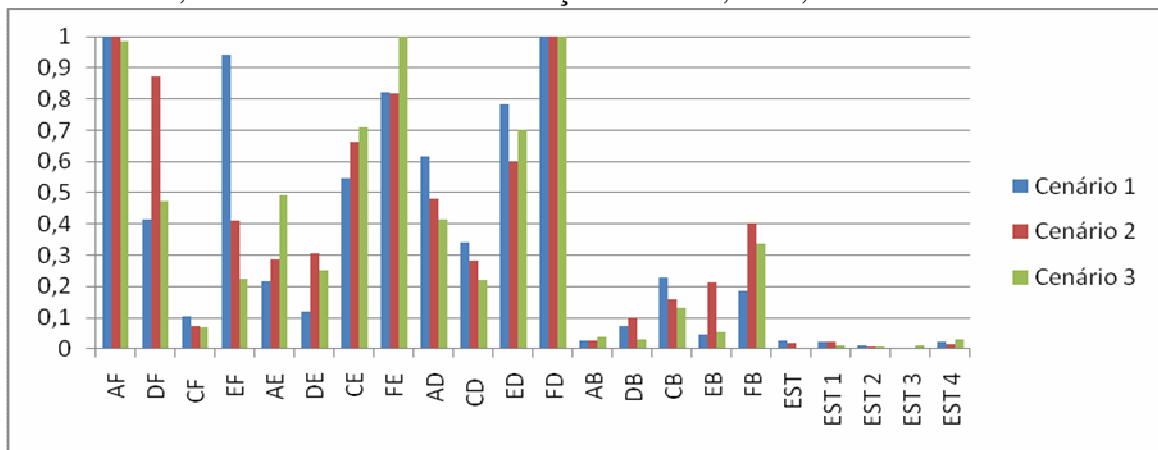


Figura 8: Taxa de utilização dos trechos em cada um dos cenários

Comparando-se os Cenários 1 e 2, nota-se que algumas vias apresentam melhorias no Cenário 2 (por exemplo, 'EF', 'AD', 'CD', 'ED', 'CB'), outras que pioraram em relação ao Cenário 1 (por exemplo, 'DF', 'AE', 'CE' e 'FB') e outras ainda que se mantiveram praticamente inalterado (por exemplo, 'AF' e 'FD').

Assim como no Cenário 2, no Cenário 3 os trechos com maior utilização são 'AF', 'FE' e 'FD'. Ao analisar os Cenários 1 e 3, é importante destacar que a maior variação ocorreu no trecho 'EF', que é justamente o pequeno trecho de via que fica em frente à Escola de Minas e que foi modificado no Cenário 3. Com a redução da taxa de utilização deste trecho (de, aproximadamente, 94% para 22%), acredita-se que as mudanças propostas tornariam o trânsito mais eficiente neste local.

Pode-se visualizar o número médio e o tempo médio(em minutos) de veículos na fila nos gráficos da Figura 9.

Tendo como base os resultados gerados e as Tabelas 1 e 2, é importante observar que, de um modo geral, o tempo de espera e o número de veículos em fila diminuiram. O trecho que apresentou resultado oposto foi justamente o que foi modificado, o que pode ser explicado pelo fato da distância a ser percorrida por quem vai da Rua Padre Rolim (Rua "F") para a Rua Barão de Camargos (Rua "E") ter aumentado. Por outro lado, o objetivo de reduzir o fluxo de veículos no pequeno trecho em frente à Escola de Minas foi atingido, o que pode ser confirmado pela redução no tempo de espera e número de veículos em fila dos trajetos que tem como destino a Rua Padre Rolim e pela diminuição da taxa de utilização deste trecho. Em relação ao número médio de veículos e tempo médio de espera em fila, o Cenário 2 e o

que mostra mais eficiente por apresentar menores tempo de espera e número menor de espera em filas (Veja Figura 9).

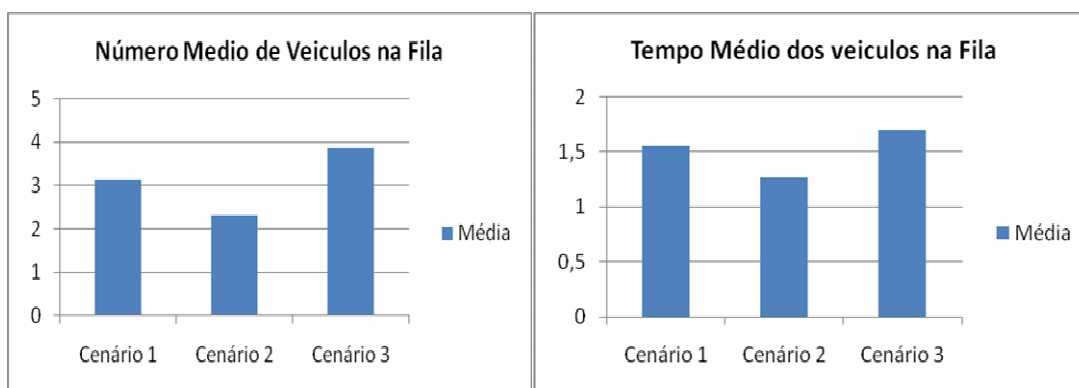


Figura 9: Número médio e Tempo médio de veículos na Fila

9 – Considerações Finais

Visto que a cidade em questão é um patrimônio histórico, é necessário que, além de garantir o bem estar dos moradores, esta cidade seja capaz de receber turistas de maneira agradável e proporcionar-lhes segurança e conforto. Um dos pontos que deve estar bem estruturado para este fim é o tráfego de veículos e pedestres, principalmente nos pontos turísticos.

A partir do cenário real (Cenário 1), elaboraram-se dois cenários propostos (Cenário 2 e 3), com o intuito de apresentar diferentes situações para o trânsito na Praça Tiradentes. O Cenário 2 apresenta as mudanças feitas pelo PMOP, baseado no TAC. O Cenário 3 é uma proposta com uma simples alteração em relação ao primeiro cenário proposto.

No Cenário 2 foi observado que as mudanças já realizadas pela PMOP apresentaram resultados positivos em alguns trechos da Praça Tiradentes, como no trecho 'AF', que teve o número médio de veículos em fila reduzido, e negativos em outros, como no trajeto 'FD', onde os números pioraram. Em relação à taxa de utilização, houve algumas variações, mas os trechos mais utilizados são 'AF' e 'FD'. Ressaltando-se que a idéia central do TAC é humanizar a Praça de modo a garantir segurança e conforto aos pedestres e turistas, ou seja, o objetivo principal não é garantir um melhor trânsito de veículos, este cenário apresentou resultados satisfatórios.

O Cenário 3 apresentou resultados relevantes no trecho em frente à Escola de Minas, garantindo um melhor fluxo de veículos neste local. Isso pode ser confirmado pela redução no tempo de espera e número de veículos em fila dos trajetos que tem como destino a Rua 'F' ('AF', 'CF', 'DF' e 'EF') e pela diminuição da taxa de utilização deste trecho. Com a proposta de modificação do trajeto a ser feito pelos veículos que vêm da Rua 'F' e se destinam a Rua 'E', nota-se que a fila (congestionamento) aumenta. Entretanto, como o percurso também será maior, esta fila tende a ser dissolvida ao longo do trajeto e, assim, pode ocorrer uma redução do problema de engarrafamentos na Praça Tiradentes de forma geral.

É importante citar que a simulação permitiu uma representação simplificada do ambiente real e ainda possibilitou a visualização de cenários propostos que apresentam mudanças realizadas no sistema em estudo sem a necessidade de se alterar a estrutura física do local. Estes cenários podem representar uma alternativa de melhoria ao fluxo de veículos na Praça Tiradentes. Com um trânsito mais eficiente em seu principal ponto histórico, a cidade se torna mais receptiva e tende a receber mais turistas, além de garantir o bem estar de seus moradores.

Referências

- ANDRADE, E. L., Introdução à Pesquisa Operacional, LTC, Rio de Janeiro, 2004.
AUGUSTO, C. R., **A aplicação da simulação computacional utilizando o software Arena para o estudo das filas nos caixas do supermercado Champion**. Fevereiro de 2005, Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Produção – curso de Engenharia de Produção). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro

Preto – MG, 2005.

BANKS, J., CARSON II, J. S. e NELSON, B. L., Discrete-Event System Simulation, Prentice Hall, New Jersey, 1999.

BERTONCINI, Bruno Vieira, *et al*; DEMARCH, Sergio Henrique. **Impacto nas medidas de desempenho operacional devido à substituição de interseção semaforizada por rotatório.** In: www.sinaldetransito.com.br – 2004, acesso em 15/04/09 as 11h30min.

CUCCI, J. N., **Desenvolvimento urbano e Políticas de transporte e trânsito**, Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Mackenzie, 2001.

FIORONI, M.M. **Simulação em ciclo fechado de malhas ferroviárias e suas aplicações no brasil: avaliação de alternativas para o direcionamento de composições.** Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

LAW, A. M. e KELTON, W. D., Simulation Modeling and Analysis, McGraw-Hill, Singapore, 1991.

LEITE, J. G. M., **Engenharia de Tráfego: Métodos de Pesquisa, características de Tráfego, Interseções e Sinais Luminosos.** São Paulo, Companhia de Engenharia de Tráfego-CET, 362p, 1980.

PIDD, M., Computer Simulation in Management Science, John Wiley and Sons, Chichester, 2004.

PEDGEN, C. D., SHANNON, R. E. e SADOWSKI, R. P., Introduction to Simulation Using SIMAN, McGraw-Hill, New York, 1995.

ZANIRATO, S. H., **A mobilidade nas cidades históricas e a proteção do patrimônio cultural**, Revista eletrônica de turismo cultural, USP, Vol. 2, 10p, 2008.