

Simulação computacional dos pontos críticos no campus da UPF.

X. B. Wu¹; M. F. Neto²; M. Fauth Jr. ³; A. I. Marroquin⁴ e L. D. Tagliari⁵

Universidade de Passo Fundo, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Campus Universitário I, São José, Passo Fundo, RS, CEP: 99000-970, Fone: (54) 3316-8221.

¹ wu@upf.br; ² moacyrfauth@hotmail.com; ³ fauth@upf.br; ⁴ adans@upf.br; ⁵ leandrotagliari@upf.br

RESENHA

O Tráfego de veículos é um problema grave na Universidade de Passo Fundo (UPF), principalmente na hora de maior trânsito. Neste trabalho, utiliza-se um software de modelagem e simulação computacional para processar os dados reais, analisa-se o fluxo do tráfego, simula-se e avalia-se as alternativas, a fim de otimizar o sistema de trânsito na UPF.

PALAVRAS-CHAVES

Modelagem e simulação computacional, tráfego de veículos, sistema de trânsito.

1. INTRODUÇÃO

O trânsito de veículos automotores é um grande problema na vida moderna em todo mundo. A modelagem e simulação computacional é um método eficaz para sanar estes problemas. Esta metodologia possibilita analisar a situação real, criar cenários de congestionamento e de fluxo de tráfego no computador, sem necessidade de interromper o funcionamento diário do próprio sistema de trânsito e ao mesmo tempo, através da ferramenta computacional, identificar os gargalos existentes, simular as alternativas e otimizar o tráfego, com um mínimo custo de implementação.

Um sistema de trânsito basicamente é formado por vias, que são segmentos de ruas onde os carros compartilham propriedades como velocidade permitida, sentido, direção de fluxo e comprimento; pontos de cruzamentos, local onde três ou mais vias se encontram, compartilhando, da mesma forma que as vias, as propriedades dos automóveis; os veículos, que se movem nas vias e geram os tráfegos de trânsito (PARAVISI, MUSSE e BICHO, 2006).

Portugal (2006) apresenta os principais conceitos e aspectos associados à simulação de eventos discretos dos problemas de tráfego, particularmente o rodoviário. Maia, Maia e Loureiro (2006) utilizaram o simulador de tráfego “*Integration*” para avaliar os benefícios da implantação de um binário de vias na área mais adensada da cidade de Fortaleza (Brasil), simularam as rotas alternativas e analisaram a sensibilidade do tempo de viagem. Ferreira et al. (2010) utilizaram a “*Simulação Monte Carlo*” para analisar o tráfego de pedestres. Montalvão (2010) aplicou o software “*Arena 13.0*” em uma rotatória com preferência para via circular e analisou alguns cenários a partir da validação do modelo e de alterações nos parâmetros de entrada. Costa et al. (2013) aplicaram a simulação computacional para analisar alternativas de controle do fluxo excessivo na cidade histórica de Ouro Preto–MG (Brasil). Muniz, Guimarães e Campos (2009) aplicaram o software de simulação computacional *Arena* para realizar uma análise da situação atual do cruzamento central de Mariana–MG (Brasil), que atende a maior parte do fluxo de veículos. Pantaleão, Santana e Caldas (2012) simularam o impacto das Olimpíadas de 2016 ao sistema de transporte público de tráfego baseada em eventos discretos. Lemos e Mello (2010) utilizaram o software “*Promodel*” para modelar, simular e otimizar a operação de um sistema de transporte público de passageiros em seu horário de pico.

O software “*Tecnomatrix Plant Simulation*”, utilizado neste trabalho, é uma ferramenta poderosa para simulação computacional e é aplicada em amplas áreas nas pesquisas acadêmicas e em soluções práticas nas empresas. Bangsow (2010) apresenta em detalhes a linguagem de simulação e programação com o *Plant Simulation*. Vários trabalhos aplicam a ferramenta em diversas áreas nas indústrias (KONIG, BEIBERT e BARGSTADT, 2007; HASENSCHWANZ e SELIG, 2009; BOROJEVIC, JOVISEVIC e JOKANOVIC, 2009). Neste estudo, aplica-se o “*Tecnomatrix Plant Simulation*” para modelar e simular o problema de tráfego num Campus Universitário.

2. DIAGNÓSTICO, PROPOSIÇÕES E RESULTADOS.

A Universidade de Passo Fundo (UPF) desenvolve atividades em 61 cursos na área do conhecimento, dentre eles, graduação, mestrado e doutorado, com mais de 22 mil alunos. O Campus I, está localizado ao lado da rodovia federal BR 285 na cidade Passo Fundo, RS. A UPF possui outros 6 campi em cidades vizinhas da região. As atividades realizadas pelos alunos, professores e funcionários são principalmente concentradas no Campus I, isso acarreta e prejudica a situação do tráfego no Campus Central, particularmente na avenida principal da Universidade, a qual intercepta a BR-285.

Observar-se na Figura 1 a vista superior do Campus I da UPF. Neste Campus transitam semanalmente mais de 35 mil veículos, entre carros particulares, micro-ônibus, ônibus urbanos e interurbanos vindo das cidades vizinhas para o Campus Central, e a maioria desses veículos entram na UPF pelo acesso principal e chegam às unidades da instituição, gerando congestionamento nos horários de fluxo intenso.



Figura 1. Vista Superior do Campus I da UPF

a) Coletas e Processamentos de Dados

Para poder modelar-se o sistema de trânsito da situação real na UPF, coletam-se os dados necessários no sistema real. As principais informações coletadas são:

- 1) Intervalo de tempo dos veículos (ITV): Tempo transcorrido entre a passagem de dois veículos sucessivos por um determinado ponto.
- 2) Tipo de veículos (TV): a categoria diferente dos veículos, como ônibus urbano, ônibus rodoviário, micro-ônibus, carros de passeios, etc.
- 3) Percentagem de saída dos veículos (PSV): a percentagem de saída da rua principal nos pontos de cruzamento críticos da rua principal.
- 4) Tempo de cruzamento dos pedestres (TCP): o tempo que os pedestres consomem para cruzar a rua principal nos pontos críticos.

5) Intervalo de tempo dos pedestres (ITP): Intervalo de tempo entre dois grupos sucessivos de pedestres para cruzar a rua principal nos pontos críticos.

Para coleccionar os dados, testam-se várias maneiras: o uso de cronômetros, o uso do aplicativo de celular *Stopwatch*, o uso do ACMU (Aparelho Controlador do Módulo Ultrassom) desenvolvido pelo grupo de pesquisa deste trabalho e que utiliza WIFI, além de filmagens da movimentação veicular e de pedestres. A continuação mostram-se na Tabela 1 as formas em relação aos dados coletados:

Tabela 1. Relação das formas de coleta e os dados coletados.

Tipo	ITV	TV	PSV	TCP	ITP
Cronômetro			X		
Stopwatch	X		X	X	X
Coletor automático (ACMU)	X		X	X	X
Filmagem	X	X	X	X	X

Dois tipos de cronômetros manuais foram utilizados: O primeiro equipamento é um contador de números de veículos e não pode coletar o tempo e, o outro não coleta séries longas de tempo. O aplicativo *Stopwatch* e o coletor automático (ACMU) são adequados para coletar os tempos manual ou automaticamente, porém, estes instrumentos também possuem limitações e não permitem identificar o tipo de veículos ao mesmo tempo.

Portanto, a forma mais adequada encontrada para a coleta dos dados necessários é a realização de filmagens. Com o apoio do Laboratório de Vídeos da Faculdade de Artes e Comunicação da UPF, filma-se nos horários de maior fluxo por mais de um mês, colecciona-se e efetua-se o processamento dos dados bem como a transformação destes em distribuições estatísticas, com a finalidade de serem aplicadas e utilizadas no modelo de simulação computacional.

A seguir, utiliza-se uma coleta realizada na entrada principal, como um exemplo para demonstrar os procedimentos de processamentos de dados e sua aplicação na modelagem e simulação, possibilitando avaliar e diagnosticar como o fluxo de veículos se apresenta no Campus I. A Tabela 2 mostra os primeiros 5 dos 870 veículos da coleta.

Tabela 2. Coleta de dados na Entrada Principal.

Número de Amostras	Tempo	Intervalo (segundos)
1	18:30:29.551	-
2	18:30:30.285	0,734
3	18:30:31.051	0,766
4	18:30:32.118	1,067
5	18:30:37.134	5,016

A Tabela 3 mostra as informações mais detalhadas sobre as informações e estatísticas da coleta.

Tabela 3. Informações e Estatísticas.

Data e Horário	26/11/2014, 18:30
Dia de Semana	Quarta-feira
Local	Entrada Principal
Tempo Inicial	18:30
Tempo Final	19:30
Veículos Coletados	870
Mínimo	0,383
Máximo	25,097
Média	3,365

Aplica-se a Amplitude Interquartil para a filtragem dos dados. As informações em detalhes são mostradas a seguir na Tabela 4. As informações estatísticas dos dados filtrados são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 4. Filtragem com Amplitude Interquartil.

Item	Valor	Observação
Q1	1,449	25%
Q3	4,15	75%
A	2,701	Q3 – Q1
Q1 – 5 A	-12,056	Limite Inferior
Q3 + 5 A	17,655	Limite Superior
Outliers	4	Intervalos filtrados
Int. válidos	865	869 – 4

Tabela 5. Dados após filtragem.

Itens	Valores	Observação
Amostras	865	Intervalos Válidos
Mínimo	0,383	Em segundo
Máximo	17,565	Em segundo
Média	3,283	Em segundo

Utiliza-se a Regra de Sturges, para definir o número de classe K, sendo que:

$$K = 1 + 3,3 \log_{10}(n)$$

onde, n é número de amostras. Neste caso, obtém-se K = 11.

Baseando-se no valor de K, o valor mínimo (0,383) e o máximo (17,565) das mostras, define-se em 11 classes com intervalos iguais. Conforme o valor de cada amostra, classifica-a em uma das classes, e calculam-se os números de amostras em cada classe para obter as frequências delas. A Tabela 6 mostra as limites inferior, e superior das 11 classes e sua frequência das classes.

Tabela 6. Frequências das Classes

K	Classe		Frequência
1	0,383	1,945	364
2	1,945	3,507	235
3	3,507	5,069	94
4	5,069	6,631	66
5	6,631	8,193	38
6	8,193	9,755	25
7	9,755	11,317	15
8	11,317	12,879	14
9	12,879	14,441	8
10	14,441	16,003	3
11	16,003	17,565	3

Baseando-se nas frequências de cada classe, pode gerar-se uma figura e obter-se a distribuição estatística das mesmas. Aplica-se a ferramenta de DataFit do *Tecnomatrix Plant Simulation*, analisam-se as distribuições, testam-se uma por uma com 5% do nível de significância, e obtém-se a melhor alternativa, bem como os parâmetros da distribuição, pronto para ser aplicado no modelo de simulação. A figura 2 apresenta a distribuição obtida, e a comparação da distribuição das frequências com a distribuição desejada, o que mostra a grande semelhança das duas.

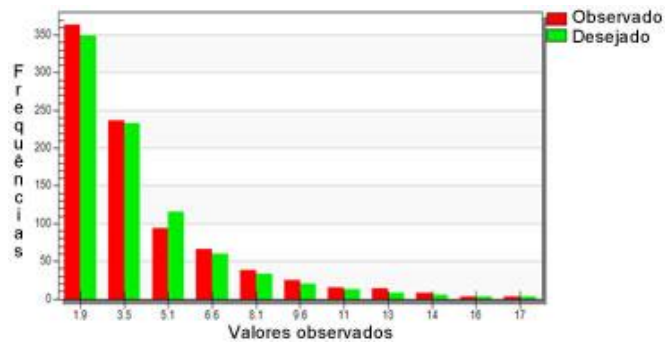


Figura 2: Distribuição Log-normal

O resultado do Teste Anderson-Darling, na Tabela 7, mostra que no nível de significância de 5%, a Distribuição log-normal é verdadeira.

Tabela 7. Teste de Anderson-Darling

Distribuição	AD Estatística	AD Valor	Resultado
Lognorm	2,35006055590327	2,492	Verdadeiro

b) Modelagem e Simulação dos Pontos Críticos

Na rua principal do Campus I, há os seguintes pontos críticos para o tráfego de veículos: cruzamentos, paradas de ônibus, e faixa de pedestres, os quais devem-se ser tratar com atenção especial, modelando corretamente, o que é fundamental para validar a simulação computacional e garantindo os resultados.

Cruzamento

No cruzamento, deve-se controlar a preferência, ou seja, os veículos na via secundária tem que esperar os veículos da via preferencial, para poder movimentar-se com segurança. A Figura 3 mostra tal situação do cruzamento. T1: Tempo de Percepção, Identificação, Decisão e Ação (PIDA), T2: Tempo de Cruzamento do Veículo 2, S0: Distância de segurança.

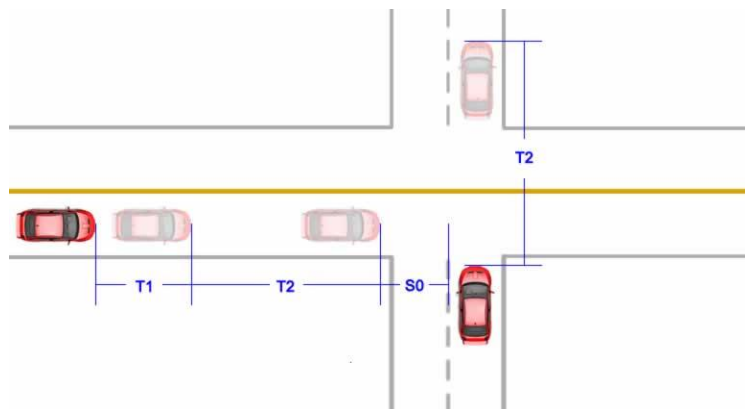


Figura 3. Preferencial nos Cruzamentos.

Paradas de Ônibus

Os ônibus urbanos e interurbanos param nos pontos definidos para desembarcar os estudantes. Quando os ônibus param, interrompem o fluxo de veículos na pista deles logo atrás, isto é, estes param o trânsito temporariamente na pista, embora, a pista ao lado continue com o trânsito fluindo.

Faixa de Pedestres

Quando têm pedestres ultrapassando na faixa da rua principal, interrompem-se todas as pistas da rua. Os veículos somente podem continuar o percurso depois que terminar o fluxo de cruzamento dos pedestres. Semelhantemente, quando tem carros passando na faixa, os pedestres tem que parar e esperar a próxima oportunidade de cruzamento da via.

Utilizara-se as pistas fragmentadas no software, para modelar as pistas inteiras, e utilizam-se, também, os bloqueios de parte das pistas relacionadas dos pontos considerados para interromper o movimento de veículos e controlar as prioridades de pedestres, das preferenciais, e da segurança do trânsito, etc. Por exemplo, quando pedestres entram na faixa, bloqueiam-se as partes de pistas relacionadas, interrompendo o fluxo de carro para garantir a segurança dos pedestres. Quando os veículos da via principal entram na distância mínima de segurança antes do ponto de cruzamento, os veículos da via secundária não têm mais a oportunidade segura para o cruzamento, por isso, os veículos na via preferencial acionam-se bloqueios das pistas secundárias, proibindo o cruzamento dos veículos da via secundária, assim garantindo a preferencial e a segurança do trânsito. Os controles são realizados através da programação em forma de métodos no software "Plant Simulation".

Com o "Tecnmatrix Plant Simulation", simulam-se duas situações do sistema:

- Situação anterior do sistema de trânsito na UPF;
- A primeira fase de mudança planejada do sistema.

A primeira fase de mudança planejada do sistema é fechar dois cruzamentos no meio da rua principal e abrir retornos no final da rua principal e nas ruas secundárias. As Figuras 4 e 5 ilustram as simulações da situação anterior e de modificação planejada. Nos dois casos, aplicando os controles de cruzamentos, parada de ônibus e faixas de pedestres.

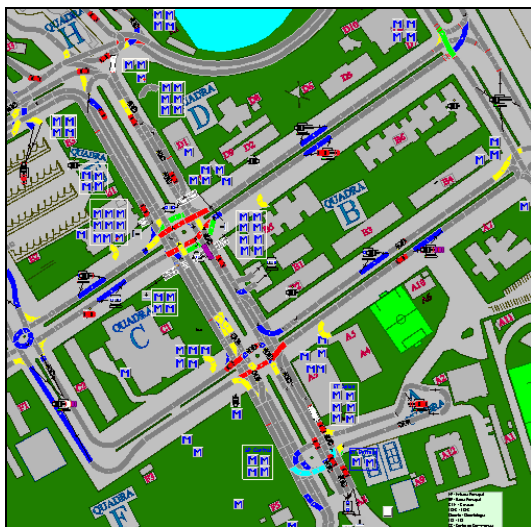


Figura 4. Simulação da situação Anterior.



Figura 5. Simulação da mudança Planejada.

c) Resultados e Análise de Simulação

A Tabela 8, apresenta os resultados das comparações obtidas através das simulações diferentes, com tempo de simulação variando de 15 a 120 minutos, medindo os tempos médios movimentando-se do início até final da rua principal. Observam-se com a mudança, atingindo até 5% de redução direta de tempo médio, os veículos fluem melhor nas pistas. Os retornos nas ruas secundárias facilitam os motoristas e evitam cruzar a avenida principal para fazer retorno, também, auxilia o fluxo dos veículos na avenida principal. Indiretamente, os fechamentos estimulam os veículos a entrarem pelos acessos secundários, aliviando o fluxo da rua principal. A política de proibir os ônibus interurbanos entrem-se pela entrada principal, ajuda também fluir mais o tráfego na rua principal.

Tabela 8. Resultados de Simulação – tempo de viagem médio.

No.	Tempo de simulação	Anterior	Novo	Redução
1	15	256,69	245,47	-4,37%
2	30	256,24	245,31	-4,27%
3	45	256,31	244,60	-4,57%
4	60	255,57	244,05	-4,51%
5	90	256,62	244,99	-4,53%
6	120	257,96	244,91	-5,06%

Das mudanças planejadas, uma já está sendo implementada, a Figura 6 mostra tal implementação neste primeiro semestre de 2015.



Figura 6. Alterações implementada

Observa-se também, que ao adotar-se as mudanças, junto com algumas sugestões de ajustes a seguir, as melhorias podem ser estendidas ainda mais, ou seja,

- Mudar a rua principal de duas pistas da atual para três pistas, aumentaria 1/3 de capacidade da rua. E mantendo a pista interna como pista rápida, ajudaria a fluir mais os veículos na rua, principalmente para aquele que vai até fim da rua principal.
- Aplicar um controle dos cruzamentos de pedestres, organizando os pedestres e fazendo que, estes, ultrapassem a faixa em grupo, não em forma individual e demoradamente, a fim de reduzir a interrupção da avenida principal.
- Melhorar a rua lateral e estimular os veículos a se deslocarem utilizando esta via secundária e reduzir o fluxo da avenida principal.

3. CONCLUSÃO

Aplica-se o “*Tecnomatrix Plant Simulation*” para modelar e simular o sistema de trânsito no Campus I da Universidade de Passo Fundo (UPF), focalizam-se os pontos críticos na avenida que liga a entrada da UPF à BR 285, colecionam-se e processam-se os dados reais através de filmagens, modelam-se, simularam-se e analisaram-se a situação anterior e a primeira fase das modificações planejadas da Comissão de Trânsito da Reitoria da Instituição. Apresentam-se os dados das simulações e algumas sugestões de ajustes para melhorar ainda mais o sistema do trânsito no Campus Central, principalmente, nos pontos críticos da avenida principal na Universidade de Passo Fundo.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANGSOW, S. Manufacturing Simulation with Plant Simulation and SimTalk : Usage and Programming with Examples and Solutions. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010.

BOROJEVIC, S.; JOVISEVIC, V.; JOKANOVIC, S. Modeling, simulation and optimization of process planning. Journal of Production Engineering, Vol. 12, No. 1, 2009.

COSTA, A. de C. et al. Simulação de tráfego em cidades históricas: um estudo de caso em Ouro Preto. In: XVI SPOLM – O SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL E LOGÍSTICA DA MARINHA, na Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 15 e 16 de agosto de 2013.

FERREIRA, M. et al. Simulação Monte Carlo para o tráfego de pedestres observados como um fluido não convencional. In MECÁNICA COMPUTACIONAL VOL XXIX, p. 3423–3429, (org.) Dvorkin, E.; Goldschmit, M.; Storti, M., Buenos Aires, Argentina, 15–18 Noviembre 2010.

HASENSCHWANZ, W.; SELIG, R. Practical and useful results - Process simulation in a brewery. BBII 1/2009.

KONIG, M.; BEIBERT, U.; BARGSTADT, H.-J. Visual simulation - an appropriate approach to support execution planning in building engineering. In: 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONSTRUCTION APPLICATIONS OF VIRTUAL REALITY: October 22-23, 2007.

LEMOS, Marcus V. W.; MELLO, J. C. C. B. S. Dimensionamento de recursos e otimização da operação do transporte público em horário de pico: aplicação da simulação no estudo do transporte hidroviário. Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção, v. 10, n. 07, 2010.

MAIA, F. V. B.; MAIA, M. N. e LOUREIRO, C. F. G. Avaliando os benefícios de intervenções viárias nas rotas de transporte coletivo com o auxílio do simulador integration. In: XX ANPET – CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES 2006, Brasília, DF, 6 a 10 de novembro de 2006.

MONTALVÃO, E. H. R. Simulação de uma rotatória: análise crítica e desempenho. In: XLII SBPO, 2010, Bento Gonçalves, RS, 2010.

MUNIZ, L. R.; GUIMARÃES, I. F. G.; CAMPOS, M. S. Aplicação da Simulação Computacional para Análise do Tráfego no Cruzamento Central com Semáforo da Cidade Histórica de Mariana. In: XXIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - A ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: INTEGRANDO TECNOLOGIA E GESTÃO. Salvador, BA, Brasil, 06 - 09 de outubro de 2009.

PANTALEÃO, A. C. M. C.; SANTANA, C. C. H. ; CALDAS, M. A. F. Análise do Transporte Público do Rio de Janeiro para as Olimpíadas de 2016 a partir de um Modelo de Simulação Discreta. In: CLAIO/SBPO2012, Rio de Janeiro, RJ, 24–28 de setembro de 2012.

PARAVISI, M.; MUSSE, S. R.; BICHO, A. L. Modelagem e simulação do tráfego de veículos e controle semaforico em um ambiente virtual. Vetor, Rio Grande, v.16, n.2, p. 16-37, 2006.

PORTUGAL, L. da S. Simulação de Tráfego: Conceitos e Técnicas de Modelagem. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2006.