

# Simulação de um Controle de Semáforos Utilizando Planilhas Eletrônicas: Uma Proposta para Fins Didáticos

*Simulation of Traffic Control with Spreadsheet: A Proposal for Didactic Purposes*



Editor Responsável

Prof. Dr. Hermes Moretti Ribeiro da Silva

Edgar Marcos Anciotto Junior<sup>1</sup> - Pontifícia Universidade Católica De Goiás  
Maria José Pereira Dantas<sup>2</sup> - Pontifícia Universidade Católica De Goiás

Recebido: 13/05/19

Aprovado: 29/05/19

## Resumo

Modelos de simulação de filas em planilhas eletrônicas têm sido utilizados com êxito para fins didáticos. Neste trabalho, simula-se um problema simplificado de trânsito, um cruzamento de duas ruas, controlado por um semáforo. Em ambas as ruas existem uma entrada, ao lado da qual há um desvio. Sempre que um veículo vai entrar na rua e ela se encontra cheia ele toma o desvio. No trecho da rua A compreendido entre a entrada e o cruzamento há lugar para 12 veículos, e na rua B para 8. O modelo de simulação foi usado para investigar o que ocorre com o fluxo de tráfego quando se fazem alterações nos tempos do semáforo. Diferentes cenários do cruzamento foram avaliados, alterando os tempos do semáforo para diversas combinações. Os resultados foram analisados e os cenários classificados de acordo com seus desempenhos, demonstrando as melhores e piores combinações de tempo. A modelagem proposta com o uso de fórmulas é simples e fácil de ser replicada. Na parte final, são sugeridas modificações para tornar o sistema mais realístico.

**Palavras-chave:** *simulação de filas, planilhas eletrônicas, ensino, controle semaforico.*

## Abstract

*Simulation models of queues in spreadsheets have been used successfully for didactic purposes. In this work, we simulate a simple traffic problem, a crossing of two streets, controlled by a traffic light. In both streets, there is an entrance, next to which there is a detour. Whenever a vehicle enters the street, and it is full it takes the detour. In the section of street A between the entrance and the intersection there is room for 12 vehicles and on street B for 8. The simulation model was used to investigate what happens with the flow of traffic when changes are made in traffic light times. Different crossing scenarios were evaluated by changing the traffic light times to various combinations. The results were analyzed, and the scenarios were classified according to their performance, demonstrating the best and worst combinations of time. The proposed modeling with the use of formulas is simple and easy to replicate. In the final part, modifications are suggested to make the system more realistic.*

**Keywords:** *queue simulation, spreadsheet, learning, traffic light control.*

Av, University 1440 - Setor Leste Universitário, Goiânia - GO, 74175-120, junior.anciotto@gmail.com; 2. mjpdantas@gmail.com  
ANCIOTTO JUNIOR, E. D.; DANTAS, M. J. P. Simulação de um Controle de Semáforos Utilizando Planilhas Eletrônicas: Uma Proposta para Fins Didáticos. GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, v. 14, n.3, p. 29 - 43, 2019.  
DOI: 10.15675/gepros.v14i3.2600

## 1. INTRODUÇÃO

As planilhas eletrônicas são eficazes no ensino, com destaque cada vez maior como recurso instrucional de simulação, pois oferecem um grande número de funções estatísticas e probabilísticas, apesar de apresentarem certa limitação. O uso de planilhas no ensino de probabilidade pode visto em (VIALI, 2001, 2002, 2005; DOANE, 2004).

Evans e Olson (1998) descrevem que no processo de simulação, cada linha da planilha representa a história de um objeto que passa pelo sistema. Segundo Grossman (1999) a planilha como ferramenta de simulação, além do desenvolver a intuição dos alunos, dando-lhes experiência com habilidades de modeladores ativos, também oferece, seis benefícios pedagógicos que são: explicitude, imediatismo, *insight*, flexibilidade, modelagem ativa e acessibilidade.

Reafirmando, Evans (2000) argumenta que as planilhas oferecem muitas vantagens para o ensino-aprendizagem da simulação, que dentre elas incluem: compreensão fácil na implementação do modelo de simulação, pois permitem rapidamente e facilmente desenvolver visualizações de dados e obter *insights* úteis, que em uma saída de simulação típica não acontece; novos resultados podem ser imediatamente obtidos quando os dados forem alterados por meio da atualização dinâmica; e a integração estatística que a partir de um conjunto de ferramentas e funções permitem aos usuários executar as análises e replicações.

Ingolfsson & Grossman (2002) apresentam o uso de planilhas eletrônicas em Excel com uso de macros para geração de gráfico de Gantt para representação gráfica capaz de mostrar detalhadamente o comportamento da fila em estudo. Strang, K. D. (2012) usa planilha eletrônica para avaliar definições de distribuições para modelos de filas numa abordagem determinística. Martins e Dantas (2017) criam um suplemento em Excel com o uso de VBA para aprendizado de simulação de Filas M/M/1.

A aplicação de técnicas de controle e implementação de modelos, para a diminuição do congestionamento do tráfego, tem sido cada vez mais valorizada, visto que o problema é recorrente nas grandes cidades (SILVA; MURILO, 2014). Um dos fatores que contribui para o problema do congestionamento é a má configuração dos semáforos, já que quando os mesmos não possuem a sincronização correta, resultam na formação de filas.

A atual tecnologia semafórica trabalha realizando a comunicação entre os semáforos e um computador centralizado, que aciona qual situação luminosa deve ocorrer, o que impossibilita que seja feita uma análise do fluxo na via em tempo real para a tomada de decisões (YUKI, 2008).

A aplicação da simulação de filas no tráfego, possibilita analisar diferentes cenários buscando as melhores alterações para as reduções: poluição tanto atmosférica quanto auditiva, congestionamentos, tempo em que os veículos gastam de um local para outro, tempo em que o semáforo fica sem funcionar, acidentes provocados por falta de cuidados pelos motoristas quando os semáforos não funcionam adequadamente e o nível de estresse diário tanto para os motoristas, quanto para os pedestres

(PEDRAZA-MARTÍNEZ; ALFONSO; AUGUSTO, 2013).

O objetivo deste artigo é propor um modelo em planilha eletrônica, que possa ser facilmente reproduzido por alunos de graduação em engenharia, para simular um cruzamento simples de duas ruas, controlado por um semáforo, e investigar o que ocorre com o fluxo de tráfego quando são realizadas alterações nos tempos do semáforo. Após a elaboração do modelo com base nas fórmulas propostas, analisar diferentes cenários possíveis e avaliar suas vantagens, aprofundando o conhecimento da natureza da simulação discreta de eventos.

## 2. SISTEMAS DE FILAS

O sistema de filas, se define por clientes chegando para um serviço de atendimento com a possibilidade de espera, saindo logo após serem atendidos. Filas acontecem naturalmente nas atividades de serviço, já que as estratégias para aumentar a capacidade de atendimento a ponto de suprir a demanda não são totalmente eficazes, desse modo, as filas são geralmente inevitáveis. No processo de formação de filas, a utilização da capacidade está ligada diretamente ao aumento do tempo de espera, assim quanto mais ocupado um sistema estiver, maior será o tempo de espera (SCHONS; RADOS, 2009). A formação de filas tem como fatores, além da capacidade de atendimento, a variabilidade do intervalo entre as chegadas de clientes e o tempo de atendimento dos mesmos.

A teoria de filas é a modelagem analítica de sistemas que resultam em espera, tem como objetivo determinar valores quantitativos, denominadas medidas de desempenho (CAMPOS, 2012). Expressam a operacionalidade de um produto, e ao final, de posse das informações resultantes, é possível buscar meios para minimizar os impactos negativos das esperas nos processos.

Como não é possível conhecer os números de chegada de clientes para um serviço, nem os momentos que acontecem, a taxa de chegada da fila é aleatória constituindo um processo estocástico. O processo estocástico é caracterizado por uma distribuição de probabilidade, por meio do parâmetro taxa de chegada, que é o número médio de clientes que chegam no sistema por unidade de tempo (CAMPOS, 2012).

Um sistema de fila é descrito como uma série de símbolos do tipo A/B/X/Y/Z, que demonstra as características dos seus cinco componentes. O primeiro, componente A, representa a distribuição probabilística de tempo entre as chegadas, componente B, representa a distribuição probabilística de tempo de atendimento, o componente X, é a quantidade de canais de serviço que existem no sistema, Y representa a capacidade do sistema e, por fim, Z designa a disciplina da fila. Na aplicação prática, na maioria das vezes são omitidos os dois últimos símbolos, utilizando apenas os três primeiros. Nesse caso as características adotadas para os dois últimos são: capacidade do sistema infinita e a disciplina segue o critério *First In First Out* (FIFO), (FIGUEIREDO; ROCHA, 2010).

Para definir como um sistema funciona muitas vezes são realizados um conjunto de suposições, essas que assumem a forma de relações matemáticas ou lógicas, e tentam obter alguma compreensão de como o sistema se comporta. Se as relações do modelo são simples o bastante, por métodos matemáticos, pode-se utilizar a solução analítica. No entanto a grande maioria são complexos para serem analisados analiticamente, e essas necessitam então de serem estudadas por meio da simulação (LAW; KELTON, 2013).

Em uma simulação, são coletados dados e com a utilização de um sistema computacional é feita uma estimativa das características de um sistema real desejadas do modelo, com o propósito de entender o comportamento do sistema. A modelagem e a simulação são consideradas apropriadas para mensurar potenciais ganhos de um sistema em relação a uma proposta de mudança, e ainda os efeitos dessas relações. É de grande valor que antes da implantação de processos ou operações se conheça as possíveis consequências, podendo assim identificar meios de otimizar os mesmos.

A integração entre a simulação e sistemas de controle permite considerar além do comportamento dinâmico e estocástico de um sistema real, mas também a tecnologia aplicada no sistema de controle. Assim, pode-se representar por meio de simulação um ambiente real e seus comportamentos (ROCK, 2011).

A utilização da simulação é útil para tipos específicos de problemas, como: projetando e analisando sistemas de fabricação e sistemas econômicos, avaliando requisitos de componentes de um sistema de computador, determinando políticas de pedidos para um sistema de inventário, criando sistemas de comunicação, operando instalações de transporte, correios ou restaurantes de *fast-food* (LAW; KELTON, 2013). Pode-se definir o status específico de um sistema real, descobrir os gargalos e os recursos ociosos, tendo assim uma descrição detalhada sobre o processo real e informações na parte de logística do sistema (ZHU *et al.*, 2014).

Ceciliano (2007) faz a relação de vantagens e desvantagens do uso da simulação da Tabela 1.

TABELA 1 – Relação de vantagens e desvantagens do uso da simulação.

Vantagens	Desvantagens
Um modelo, após finalizado, pode ser utilizado diversas vezes;	Para construir modelos é necessário ter um conhecimento específico e aperfeiçoado;
A análise utilizada em uma simulação, mesmo que seus dados de entrada sejam experimentais, permite a avaliação de um sistema;	Seus resultados tem uma complexidade para interpretação, já que são variáveis aleatórias;
A simulação, em grande parte das vezes, substitui os métodos analíticos por sua facilidade;	
As informações geradas pelo modelo de simulação, permitem a análise de, praticamente, qualquer medida concebível, ao contrário dos modelos analíticos;	
Os modelos de simulação podem ser avaliados sem que o sistema real seja afetado, já que os mesmos são tão detalhados quanto o sistema real;	A modelagem e a análise da simulação, considerando recursos financeiros e o tempo, podem ser dispendiosas;
O tempo na simulação pode ser controlado, expandido ou comprimido, permitindo analisar eventos de maneira acelerada ou lenta;	

Facilita a obtenção de “gargalos”, pelo apoio visual, tais como fluxo de materiais, de informações e de produtos;	
Possibilita o estudo de sistemas complexos que possuem elementos estocásticos;	O modelo e seus dados de entrada devem compor de modo fidedigno as características do sistema do sistema real, qualquer detalhe incoerente
Admite a replicação de experimentos de forma precisa, permitindo testar alternativas para o sistema;	pode tornar o estudo dos dados de saída inválidos.
É mais econômico e evita gastos com equipamentos, contrário de testes no sistema real.	

Fonte: Adaptado de Ceciliano (2007).

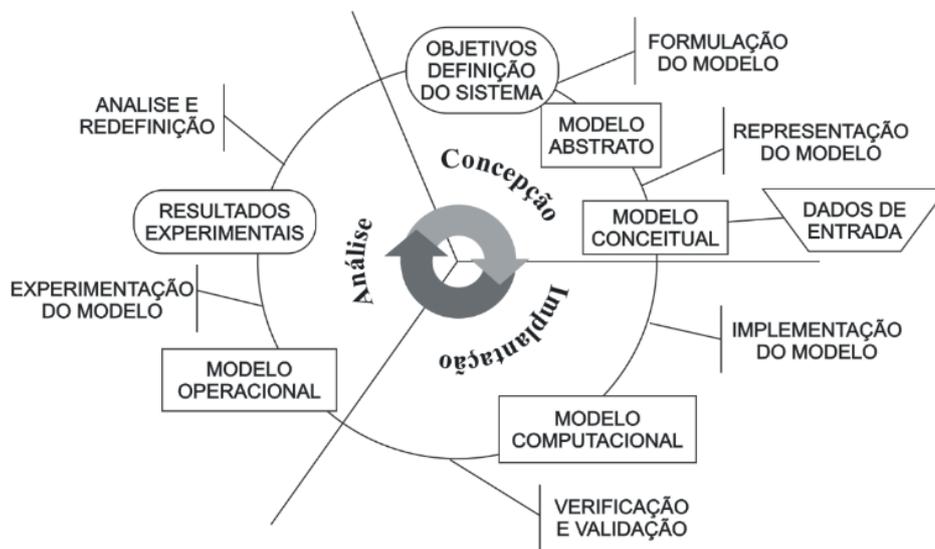
A aplicação da simulação de filas requer precisão na coleta de dados e no processo de análise do sistema real, a modelagem adequada de filas não é uma tarefa trivial devido à sua natureza estocástica, incerta e transitória. Devido às incertezas, os sistemas utilizam para determinar valores, como o tempo entre a chegada de clientes, distribuições de probabilidade, como a distribuição exponencial (AKHAVIAN; BEHZADAN, 2014).

### 3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste artigo foi a de Chwif e Medina (2010), juntamente de Bertrand e Fransoo (2002), foi estruturada nas etapas descritas a seguir e podem ser observadas na Figura 1.

- **Formulação do modelo:** a primeira etapa foi o entendimento do sistema a ser simulado, seus objetivos e características. Foram definidas fórmulas que iriam ser utilizadas, formando assim o modelo conceitual. Os dados para elaboração do sistema foram retirados do livro Estatística Computacional (DACHS, 1988), como será explicado na próxima seção.
- **Implementação do modelo:** na segunda etapa o modelo conceitual e suas fórmulas foram implementadas no Microsoft Excel®, por ser uma ferramenta de aprendizagem de fácil acesso, além da simplicidade do sistema. O modelo computacional desenvolvido, foi validado com o modelo conceitual e testado, observando se o mesmo é uma representação precisa do problema definido.
- **Análise de resultados:** na última etapa, com o modelo computacional finalizado, foram realizados experimentos, simulando o sistema diversas vezes e com alterações de cenários para obtenção de mudanças relevantes nas características do sistema. Os resultados foram analisados e documentados, e a partir deles geradas as conclusões deste. Nesta etapa foram verificados se os valores simulados se aproximam do teórico de acordo com o problema escolhido.

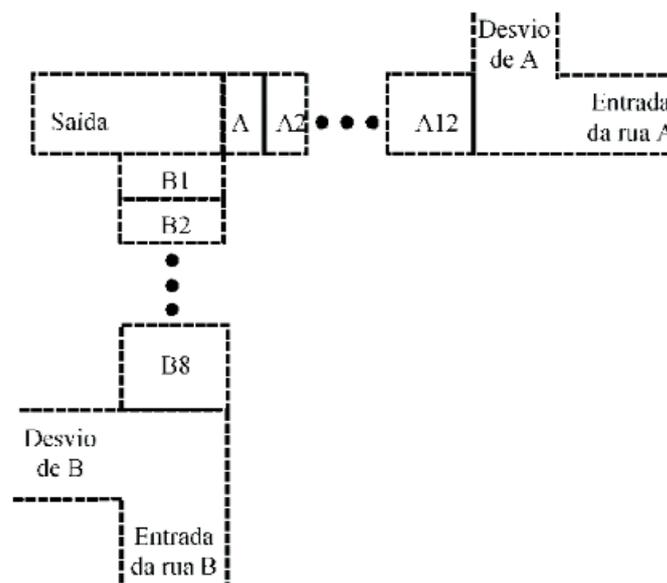
Figura 1 - Metodologia de Simulação.



Fonte: Chwif (1999) apud Chwif e Medina (2010).

O problema estudado foi retirado do livro Estatística Computacional (DACHS, 1988), ele retrata a simulação de um cruzamento simples de duas ruas, controlado por um semáforo. O objetivo da simulação vai ser o de investigar o que ocorre com o fluxo de tráfego quando se fazem alterações nos tempos do semáforo. Tal simulação trabalha com muitas simplificações sobre o andamento de veículos, suas velocidades, falta de retardo na resposta à troca de sinal do semáforo, e outras, que fazem com que o modelo sirva apenas para fins didáticos. O problema é representado pela Figura 2.

Figura 2 – Cruzamento de duas ruas: A e B.



Fonte: Dachs (1988).

Em ambas as ruas existem uma entrada, ao lado da qual há um desvio. Sempre que um veículo vai entrar na rua e ela se encontra cheia ele toma o desvio. No trecho da rua *A* compreendido entre a entrada e o cruzamento há lugar para 12 veículos, e na rua *B* para 8.

A simulação é feita inicialmente supondo que a cada três segundos a probabilidade de chegar um veículo para entrar na rua *A* é de 45%, e na rua *B*, de 30%. Os tempos de semáforo são de 75 segundos, aberto para a rua *A*, e de 45 segundos, para a rua *B*. Ao abrir o sinal, se houver veículo no primeiro trecho da rua ele vai para a saída. Nos trechos seguintes faz-se o andamento avançando um veículo que esteja no trecho  $i + 1$  para ocupar o trecho  $i$ . Um veículo leva 3 segundos para desocupar um dado trecho elementar (inclusive o primeiro). Somente então este se torna disponível para o andamento de um veículo que estiver no trecho seguinte.

Como o evento de menor tempo é de 3 segundos, e os tempos do sinal são múltiplos de 3, a simulação foi simplificada fazendo o relógio andar de três em três segundos. Dessa maneira o semáforo fica aberto 25 períodos, para a rua *A*, e 15 períodos, para a rua *B*.

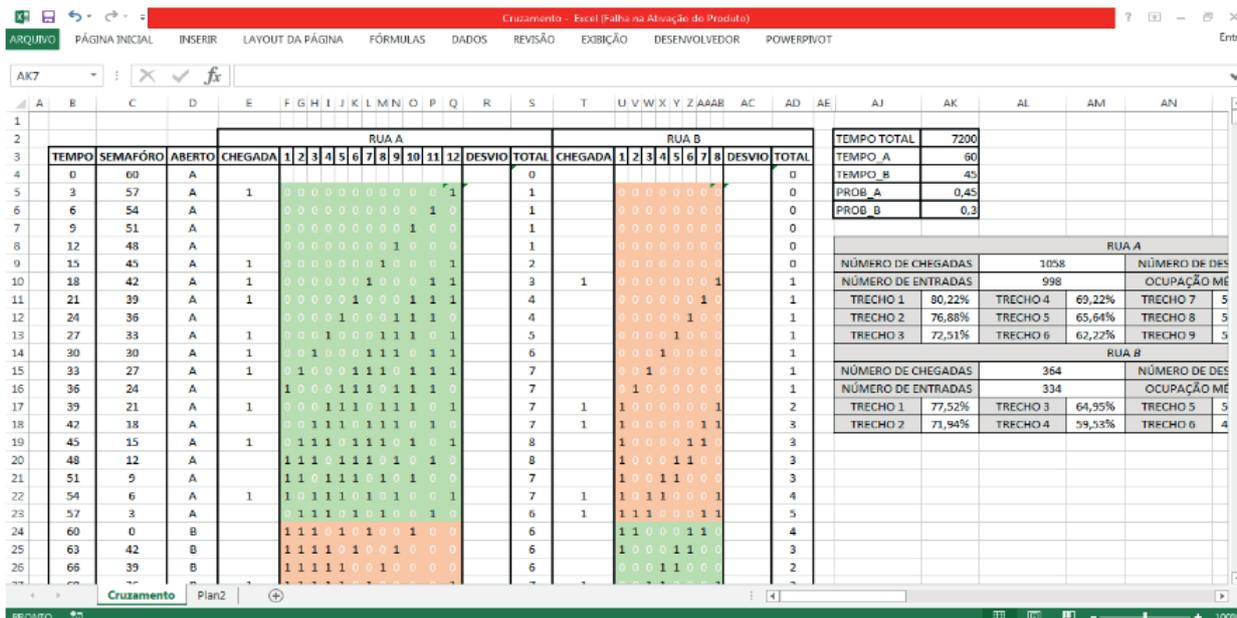
Para a simulação do cruzamento de ruas, foi proposto um modelo em planilhas eletrônicas (Microsoft Excel®), onde são utilizadas as fórmulas para contagem de tempo de funcionamento do sistema, contagem regressiva de tempo do semáforo, sinalizar para qual rua o semáforo está aberto.

O Microsoft Excel® foi escolhido como ferramenta de simulação do problema por ter natureza didática, além da facilidade para elaboração do problema, disponibilidade da ferramenta e ainda a possibilidade de reproduzir o experimento.

A planilha realiza a contagem de tempo do sistema, de 3 em 3 segundos, faz o controle de tempo do semáforo e sinaliza para qual rua está aberto. Os dados relacionados às ruas foram organizados na planilha agrupados em ruas *A* e *B*, são os valores de chegada de um veículo na rua, desvio de veículos, caso a rua esteja com todos os trechos ocupados, o total de veículos na rua e situação de cada trecho da mesma.

Após a resolução do objeto de estudo na planilha eletrônica obteve-se os resultados demonstrados nas Figuras 3 e 4, as fórmulas utilizadas na planilha podem ser observadas nas Figuras 5 e 6.

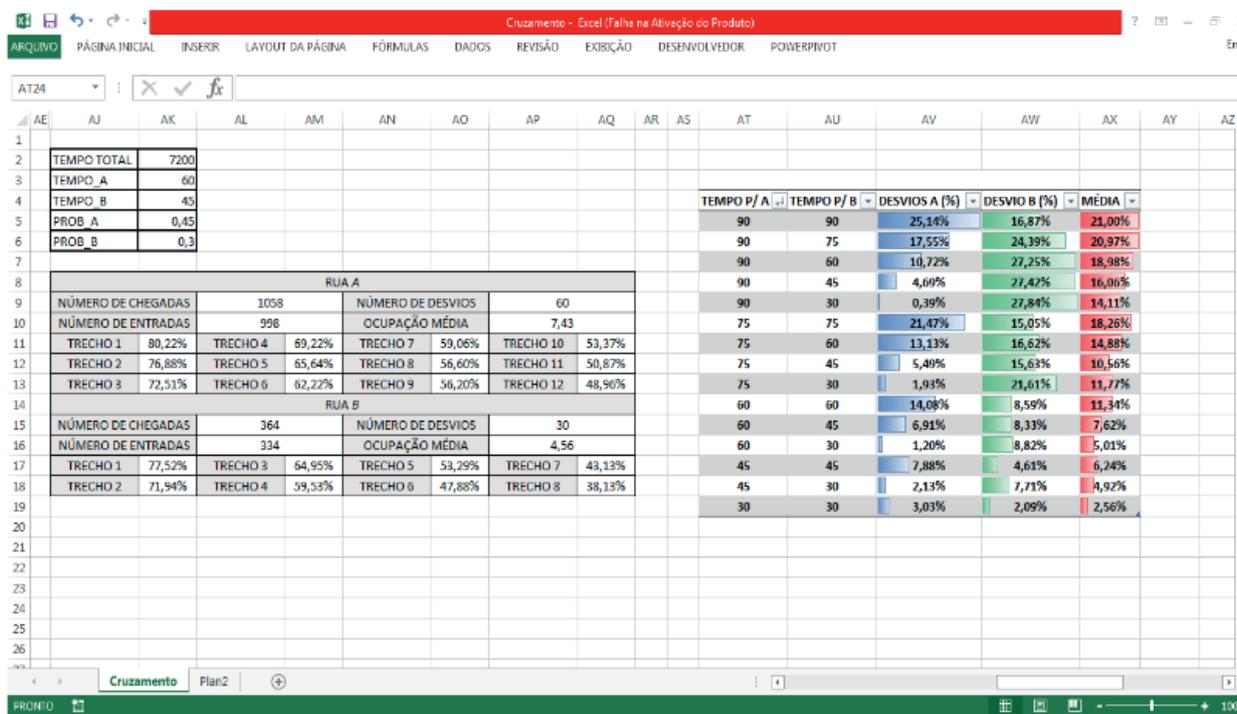
Figura 3 – Cruzamento de duas ruas no Excel®.



TEMPO	SEMAFÓRO	ABERTO	CHEGADA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	DESVIO	TOTAL	CHEGADA	1	2	3	4	5	6	7	8	DESVIO	TOTAL
0	60	A														0											0	
3	57	A	1													1											0	
6	54	A														1											0	
9	51	A														1											0	
12	48	A														1											0	
15	45	A	1													2											0	
18	42	A	1													3	1										1	
21	39	A	1													4											1	
24	36	A														4											1	
27	33	A	1													5											1	
30	30	A	1													6											1	
33	27	A	1													7											1	
36	24	A	1													7											1	
39	21	A	1													7	1										2	
42	18	A														7	1										3	
45	15	A	1													8											3	
48	12	A														8											3	
51	9	A														7											3	
54	6	A	1													7	1										4	
57	3	A														6	1										5	
60	0	B														6											4	
63	42	B														6											3	
66	39	B														6											2	

Fonte: Autoria própria.

Figura 4 – Cruzamento de duas ruas no Excel® (Dados de entrada e Resultados).



TEMPO P/ A	TEMPO P/ B	DESVIOS A (%)	DESVIO B (%)	MÉDIA
90	90	25,14%	16,87%	21,00%
90	75	17,55%	24,39%	20,97%
90	60	10,72%	27,25%	18,98%
90	45	4,69%	27,42%	16,06%
90	30	0,39%	27,84%	14,11%
75	75	21,47%	15,05%	18,26%
75	60	13,13%	16,62%	14,88%
75	45	5,49%	15,63%	10,56%
75	30	1,93%	21,61%	11,77%
60	60	14,08%	8,59%	11,34%
60	45	6,91%	8,33%	7,62%
60	30	1,20%	8,82%	5,01%
45	45	7,88%	4,61%	6,24%
45	30	2,13%	7,71%	4,92%
30	30	3,03%	2,09%	2,56%

Fonte: Autoria própria.

Figura 5 – Cruzamento de duas ruas no Excel® (Fórmulas).

TEMPO	SEMAFÓRO	ABERTO	CHEGADA	1 a 11	12	RUA A	DESVIO	TOTAL
0	=A3		0	0	0		0	=SOMA(F4:Q4)
=B4+3	=SE(C4=0;SE(D4="A";tempo_a-3;tempo_b-3);C4-3)	=SE(C5=0;SE(D4="A";"B";"A");D4)	=SE(ALEATORIO()<prob_a,1,0)	=SE(D5="A";G4;SEISOMA(SF4:F4)-FS3:F4;G4)	=SE(E5=1;1;SE(D5="A";0;SEISOMA(F4-Q4)-Q5:1,0))		=SEISOMA(F4-Q4)-12;E5=1;D5="B";1,1,0)	=SOMA(F5-Q5)
=B5+3	=SE(C5=0;SE(D5="A";tempo_a-3;tempo_b-3);C5-3)	=SE(C6=0;SE(D5="A";"B";"A");D5)	=SE(ALEATORIO()<prob_a,1,0)	=SE(D6="A";G5;SEISOMA(SF5:F5)-FS3:F5;G5)	=SE(E6=1;1;SE(D6="A";0;SEISOMA(F5-Q5)-Q5:1,0))		=SEISOMA(F5-Q5)-12;E6=1;D6="B";1,1,0)	=SOMA(F6-Q6)
=B6+3	=SE(C6=0;SE(D6="A";tempo_a-3;tempo_b-3);C6-3)	=SE(C7=0;SE(D6="A";"B";"A");D6)	=SE(ALEATORIO()<prob_a,1,0)	=SE(D7="A";G6;SEISOMA(SF6:F6)-FS3:F6;G6)	=SE(E7=1;1;SE(D7="A";0;SEISOMA(F6-Q6)-Q6:1,0))		=SEISOMA(F6-Q6)-12;E7=1;D7="B";1,1,0)	=SOMA(F7-Q7)
=B7+3	=SE(C7=0;SE(D7="A";tempo_a-3;tempo_b-3);C7-3)	=SE(C8=0;SE(D7="A";"B";"A");D7)	=SE(ALEATORIO()<prob_a,1,0)	=SE(D8="A";G7;SEISOMA(SF7:F7)-FS3:F7;G7)	=SE(E8=1;1;SE(D8="A";0;SEISOMA(F7-Q7)-Q7:1,0))		=SEISOMA(F7-Q7)-12;E8=1;D8="B";1,1,0)	=SOMA(F8-Q8)
=B8+3	=SE(C8=0;SE(D8="A";tempo_a-3;tempo_b-3);C8-3)	=SE(C9=0;SE(D8="A";"B";"A");D8)	=SE(ALEATORIO()<prob_a,1,0)	=SE(D9="A";G8;SEISOMA(SF8:F8)-FS3:F8;G8)	=SE(E9=1;1;SE(D9="A";0;SEISOMA(F8-Q8)-Q8:1,0))		=SEISOMA(F8-Q8)-12;E9=1;D9="B";1,1,0)	=SOMA(F9-Q9)

Fonte: Autoria própria.

Figura 6 – Cruzamento de duas ruas no Excel® (Resultados) (Fórmulas).

Fonte: Autoria própria.

O processo de validação é de extrema importância, pois ele observa se o modelo computacional condiz com o objeto de estudo e suas características de forma a adaptar o modelo até que tenham o mesmo comportamento. Neste caso foram realizados testes para verificação dos dados e adaptações até que o modelo computacional tivesse os resultados satisfatórios.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O tempo de análise foi fixado em 7200 segundos (duas horas), a probabilidade de chegadas de veículos fixada em 45% para a rua A e 30% para a rua B, os tempos para abertura de semáforo foram variados para coletar informações de diferentes cenários de sincronização.

Os resultados da simulação, com os tempos de 75 e 45 segundos para abertura dos sinais para as ruas A e B, respectivamente, são descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados da simulação para 75 e 45 segundos.

RUA A							
NÚMERO DE CHEGADAS		1056		NÚMERO DE DESVIOS		59	
NÚMERO DE ENTRADAS		997		OCUPAÇÃO MÉDIA		7,13	
TRECHO 1	75,55%	TRECHO 4	65,76%	TRECHO 7	56,77%	TRECHO 10	50,12%
TRECHO 2	71,43%	TRECHO 5	62,35%	TRECHO 8	54,39%	TRECHO 11	48,96%
TRECHO 3	68,22%	TRECHO 6	59,48%	TRECHO 9	52,29%	TRECHO 12	47,29%
RUA B							
NÚMERO DE CHEGADAS		349		NÚMERO DE DESVIOS		64	
NÚMERO DE ENTRADAS		285		OCUPAÇÃO MÉDIA		4,67	
TRECHO 1	80,02%	TRECHO 3	68,11%	TRECHO 5	53,54%	TRECHO 7	42,80%
TRECHO 2	73,86%	TRECHO 4	60,78%	TRECHO 6	48,13%	TRECHO 8	39,88%

Alterando-se os tempos dos sinais para 60 e 45 segundos, respectivamente, obtivemos os resultados da Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados da simulação para 60 e 45 segundos.

RUA A							
NÚMERO DE CHEGADAS		1062		NÚMERO DE DESVIOS		71	
NÚMERO DE ENTRADAS		991		OCUPAÇÃO MÉDIA		7,52	
TRECHO 1	80,42%	TRECHO 4	70,60%	TRECHO 7	60,10%	TRECHO 10	54,37%
TRECHO 2	77,09%	TRECHO 5	66,51%	TRECHO 8	56,68%	TRECHO 11	51,71%
TRECHO 3	74,09%	TRECHO 6	63,81%	TRECHO 9	56,95%	TRECHO 12	49,46%
RUA B							
NÚMERO DE CHEGADAS		365		NÚMERO DE DESVIOS		36	
NÚMERO DE ENTRADAS		329		OCUPAÇÃO MÉDIA		4,59	
TRECHO 1	78,02%	TRECHO 3	65,11%	TRECHO 5	53,29%	TRECHO 7	43,88%
TRECHO 2	70,86%	TRECHO 4	58,70%	TRECHO 6	49,63%	TRECHO 8	39,55%

Fonte: Autoria própria.

Aumentando os tempos dos dois sinais para 90 segundos, resultou nos dados da Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados da simulação para 90 segundos.

RUA A							
NÚMERO DE CHEGADAS		1091		NÚMERO DE DESVIOS		288	
NÚMERO DE ENTRADAS		803		OCUPAÇÃO MÉDIA		8,40	
TRECHO 1	80,97%	TRECHO 4	75,05%	TRECHO 7	68,18%	TRECHO 10	65,53%
TRECHO 2	78,88%	TRECHO 5	72,47%	TRECHO 8	66,93%	TRECHO 11	63,70%
TRECHO 3	77,22%	TRECHO 6	70,39%	TRECHO 9	66,86%	TRECHO 12	62,03%
RUA B							
NÚMERO DE CHEGADAS		378		NÚMERO DE DESVIOS		61	
NÚMERO DE ENTRADAS		317		OCUPAÇÃO MÉDIA		4,60	
TRECHO 1	73,52%	TRECHO 3	64,11%	TRECHO 5	54,79%	TRECHO 7	45,88%
TRECHO 2	70,19%	TRECHO 4	60,12%	TRECHO 6	48,38%	TRECHO 8	42,71%

Fonte: Autoria própria.

Reduzindo os tempos dos dois sinais para 30 segundos, iguais, resultou nos dados da Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados da simulação para 30 segundos.

RUA A							
NÚMERO DE CHEGADAS		1056		NÚMERO DE DESVIOS		27	
NÚMERO DE ENTRADAS		1029		OCUPAÇÃO MÉDIA		7,44	
TRECHO 1	87,55%	TRECHO 4	69,47%	TRECHO 7	57,02%	TRECHO 10	47,79%
TRECHO 2	82,22%	TRECHO 5	65,18%	TRECHO 8	54,31%	TRECHO 11	45,71%
TRECHO 3	76,34%	TRECHO 6	60,89%	TRECHO 9	50,21%	TRECHO 12	44,96%
RUA B							
NÚMERO DE CHEGADAS		370		NÚMERO DE DESVIOS		8	
NÚMERO DE ENTRADAS		362		OCUPAÇÃO MÉDIA		3,57	
TRECHO 1	69,03%	TRECHO 3	48,38%	TRECHO 5	38,13%	TRECHO 7	33,31%
TRECHO 2	58,45%	TRECHO 4	41,97%	TRECHO 6	35,47%	TRECHO 8	32,22%

Fonte: Autoria própria.

Diferenças são constatadas, principalmente em termos de maiores e menores lotações das ruas, isso ocorre com mais frequência na rua A, quando se aumentam e igualam os tempos dos sinais, com maior diferença no exemplo de 90 segundos para ambas as ruas. Apenas os resultados de alguns cenários implementados foram inseridos neste artigo, porém, foi realizada a relação dos cenários executados e suas taxas de desvio, tal relação pode ser conferida na Tabela 6.

Tabela 6 – Relação de cenários executados com taxas de desvio.

CENÁRIO	TEMPO P/ A	TEMPO P/ B	DESVIOS A (%)	DESVIO B (%)	MÉDIA
1	90	90	25,14%	16,87%	21,00%
2	90	75	17,55%	24,39%	20,97%
3	90	60	10,72%	27,25%	18,98%
4	90	45	4,69%	27,42%	16,06%
5	90	30	0,39%	27,84%	14,11%
6	75	75	21,47%	15,05%	18,26%
7	75	60	13,13%	16,62%	14,88%
8	75	45	5,49%	15,63%	10,56%
9	75	30	1,93%	21,61%	11,77%
10	60	60	14,08%	8,59%	11,34%
11	60	45	6,91%	8,33%	7,62%
12	60	30	1,20%	8,82%	5,01%
13	45	45	7,88%	4,61%	6,24%
14	45	30	2,13%	7,71%	4,92%
15	30	30	3,03%	2,09%	2,56%

Fonte: Autoria própria.

Nesta relação podem ser observadas as configurações de tempos do semáforo para cada rua, a taxa de desvio gerada pela combinação de tempo e a média de desvio entre ambas as ruas. Desse modo pode-se analisar com mais clareza quais as combinações de tempo que geram maior desvios para as ruas.

## 5. CONCLUSÃO

Os resultados da simulação, em comparação ao estudo realizado por Dachs (1988), demonstram que os cenários onde os tempos de semáforo aumentam e se igualam, a tendência é de gerar congestionamento na rua *A* pode ser observado com clareza nos cenários 1, 6 e 10. Quanto maior o tempo aberto para a rua *A*, maior é o congestionamento gerado na rua *B*, como nos cenários de 1 a 9.

Os melhores cenários foram encontrados com as combinações de tempos menores, do 11 ao 15, onde o tempo de espera não é suficiente para tumultuar as ruas e ter uma quantidade grande de desvios de acordo com as probabilidades utilizadas. O melhor cenário em relação à quantidade de desvios foi o 15, que trabalha com os tempos de 30 segundos para ambas as ruas, nele foi constatada uma média de desvio de 2,56% de veículos que utilizaram o desvio, sugerindo então, que houve a menor perda entre os testes.

Apesar da observação feita na descrição do objeto de estudo, sobre o fato de o modelo ser simplificado, foram constatadas algumas alterações que podem ser realizadas, transformando em um modelo

mais realista, como: introduzir atrasos, do tipo que ocorrem ao abrir o sinal; retardo na transição de um trecho para o seguinte; aumentar o número de pistas das ruas, com isso a possibilidade para um veículo mudar de pista. Outra melhora que pode ser implantada é o processo de chegada dos veículos, utilizando a distribuição exponencial e variações ao longo do tempo, para simular períodos de *rush*.

## Referências

AKHAVIAN, R.; BEHZADAN, A. H. Evaluation of queuing systems for knowledge-based simulation of construction processes. **Automation in Construction**, v. 47, n. 1, p. 37–49, 2014.

BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 241–264, 2002.

CAMPOS, G. L. **O uso da teoria das filas no acesso rodoviário aos terminais de contêiner**. 2012. Disponível em: <[https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/Busca\\_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=20757@1](https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/Busca_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=20757@1)>. Acesso em 26 mai 2018.

CECILIANO, W. R. A. **Aplicação De Um Método De Simulação-Otimização Na Cadeia Produtiva De Minérios De Ferro** - Aplicação De Um Método De Simulação-Otimização Na, p. 237, 2007.

DACHS, J. N. W. **Estatística computacional: uma introdução em turbo-pascal**. LTC. 1988.

DOANE D. P. Using Simulation to Teach Distributions. **Journal of Statistics Education**, v. 12, n. 1, 2004.

EVANS, J. R.; OLSON, D. L. **Introduction to simulation and risk analysis**. New Jersey: Prentice Hall, 1998.

EVANS, J. R. Spreadsheets as a Tool for Teaching Simulation. **INFORMS Transactions on Education**, v. 1, n.1, p. 27-37, 2000.

FIGUEIREDO, D. D.; ROCHA, S. H. **Aplicação Da Teoria Das Filas Na Otimização Do Número De Caixas** : Um Estudo De Caso, p. 175–182, 2010.

GROSSMAN, T. A., Institute for Operations Research and the Management Sciences 0092 - This

paper was refereed. **Queues Simulation Professional Or/Ms Education Interfaces**, v. 29, n.3, p. 88–103, 1999.

INGOLFSSON A.; GROSSMAN T. A., Graphical Spreadsheet Simulation of Queues. **INFORMS Transactions on Education**, v.2, n. 2, p. 27-39, 2002.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation & Analysis**, s/n., 2013.

PEDRAZA-MARTÍNEZ, L. F.; ALFONSO, L.-S. D.; AUGUSTO, H.-S. C. Sistema de comunicación TCP/IP para el control de una intersección de tráfico vehicular. **Ingeniería, Investigación y Tecnología**, v. 14, n. 4, p. 583–594, 2013.

ROCK, S. Hardware in the loop simulation of production systems dynamics. **Production Engineering**, v. 5, n. 3, p. 329–337, 2011.

SCHONS, C. H.; RADOS, G. V. **A Importância Da Gestão De Filas Na Prestação De Serviços : Um Estudo Na Bu**, p. 116–135, 2009.

SILVA, É. R. M. Da; MURILO, A. Sistema de automação inteligente para simulação e controle de tráfego de veículos. **ABCM Symposium Series in Mechatronics**, [s. l.], v. 6, n. 2006, p. 868–877, 2014.

STRANG, K. D. Importance of verifying queue model assumptions before planning with simulation software. **European Journal of Operational Research**, v. 218. p. 493-504, 2012

VIALI, L. Utilizando recursos computacionais (planilhas) no ensino do cálculo de probabilidades. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA COBENGE, 29, 2002. **Anais... Cobenge**, Porto alegre, RS: 2002.

VIALI, L. O ensino de probabilidade com recurso da planilha. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 5. 2005. **Anais... CIBEM**, Porto, Actas: 2005.

VIALI, L. Utilizando planilhas e simulação para modernizar o ensino de probabilidade e estatística para os cursos de engenharia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA COBENGE, 28, 2002. **Anais... Cobenge**, Porto alegre, RS: 2001.

YUKI, H. S. **Projeto de Controlador Inteligente para Semáforo**. 26f. 2008. Trabalho Final de Graduação (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, SP. 2008.

ZHU, X.; ZHANG, R.; CHU, F.; HE, Z.; LI, J. A flexsim-based optimization for the operation process of cold-chain logistics distribution centre. **Journal of Applied Research and Technology**, v. 12, n. 2, p. 270–278, 2014.