



ANÁLISE SOBRE O CARREGAMENTO DE CAMINHÕES DE UM CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO EM ANÁPOLIS/GO: UM ESTUDO SOBRE MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE SISTEMAS DE FILAS M/M/1, COMPARANDO O MODELO ANALÍTICO COM O MODELO SIMULADO

Paulo Henrique dos Santos

PUC/GO – MEPROS / Av. Universitária, nº 1.440, Setor Universitário, Goiânia/GO
paulohsantos50@gmail.com

Solange da Silva

PUC/GO – MEPROS / Av. Universitária, nº 1.440, Setor Universitário, Goiânia/GO
solansilva.ucg@gmail.com

Juliano Resende Bucchianeri

PUC/GO – MEPROS / Av. Universitária, nº 1.440, Setor Universitário, Goiânia/GO
juliano.resende@ifro.edu.br

Nilson Carvalho da Mata

PUC/GO – MEPROS / Av. Universitária, nº 1.440, Setor Universitário, Goiânia/GO
nilson.carvalhodamata@gmail.com

Thiago Moura de Moraes

PUC/GO – MEPROS / Av. Universitária, nº 1.440, Setor Universitário, Goiânia/GO
eng.thiagomoura@gmail.com

RESUMO

Problemas de fila de espera surgem porque há muita demanda sobre as instalações. Este trabalho tem como objetivo demonstrar a aplicação de um modelo de filas M/M/1 em um CD, utilizando cálculos analíticos e a plataforma do Excel para a simulação. Analisa-se o tempo de espera e a taxa de ocupação dos servidores, o comportamento da fila, argumentando sobre o contraste entre o valor analítico e o simulado. O artigo realiza uma pesquisa empírica descritiva de caráter quantitativo. Verifica-se que a simulação pode ser utilizada com confiabilidade para reprodução da realidade de uma fila, prevendo necessidades e problemas esporádicos. As aplicações das técnicas utilizadas neste estudo podem servir de modelo de aprimoramento da área de carga e descarga em outras empresas.

PALAVRAS CHAVE. Centro de distribuição (CD); Teoria de filas; Modelagem e Simulação; Expedição.

SIM - Simulação / AD&GP - PO na Administração e Gestão da Produção

ABSTRACT

Queue queuing problems over demand for installations. This work aims to demonstrate an application of the simulation of an M / M / 1 queuing model on a CD, using analytical calculations and an Excel platform for a simulation. We analyze the waiting time and a server occupancy rate, the behavior of the queue, the argument about the contrast between the analytical value and the simulated value. The article performs an empirical descriptive research of quantitative character. It is verified that the simulation can be used reliably for the reproduction of the reality of a queue, predicts needs and sporadic problems. The applications of the techniques used in this study can serve as models to improve the loading area and to unload other companies.

KEYWORDS. Distribution center (DC); Row theory; Modeling and Simulation; Expedition.

SIM - Simulation / AD & GP - PO in Production Management and Management



1. Introdução

Como o *Business to Consumer* (B2C) e o *Business to Business* (B2B) estão se desenvolvendo rapidamente nos últimos anos. A indústria de entrega expressa inaugurou oportunidades sem precedentes para o desenvolvimento. Isto também resultou em uma competição feroz dentro da indústria de entrega expressa. Reduzir custos de logística e melhor servir ao cliente se tornou o foco de muitas empresas. A importância do Centro de Distribuição (CD) têm despertado a atenção de estudiosos nacionais e estrangeiros (JI *et al.*, 2013). O CD tem um papel de armazenagem temporária e distribuição de bens para clientes. Os benefícios da adoção de um CD são significativos. Em primeiro lugar, os custos de investimento são reduzidos. Em segundo lugar, a qualidade do serviço é aumentada. O controle de qualidade pode ser reforçado e visibilidade das existências dentro do sistema pode ser assegurada em um CD moderno. Além disso, mais valores agregados a serviços podem ser prestados a um custo menor (ZHANG *et al.*, 2014).

Ao analisar a eficiência do transporte de mercadorias na área de carregamento, sendo a eficiência importante a nível econômico, cinco perdas ou desperdícios são demonstrados: quebras de motorista, excesso de tempo de carregamento, perda de velocidade, atraso e perda de qualidade (Andrejic' *et al.*, 2013). Um CD geralmente tem as funções de recolha e distribuição, ligando transporte, armazenagem, ordenação, carga e descarga, processamento e informação de logística de entrega. O processo de funcionamento interno do CD tem etapas básicas, incluindo pedidos, recebimento de mercadorias, processamento, armazenagem, triagem, carregamento e distribuição. Vários problemas podem ocorrer durante estes processos (ZHU *et al.*, 2014). O problema estudado será a formação de filas de espera para carregamento em um CD. O método utilizado neste artigo é a pesquisa empírica descritiva de caráter quantitativo.

Este trabalho tem como objetivo demonstrar a aplicação de um modelo de filas M/M/1 em um CD. Analisa-se o tempo de espera e a taxa de ocupação dos servidores, o comportamento da fila, argumentando sobre o contraste entre o valor analítico e o simulado. A fila gerada provoca conflitos entre os caminhoneiros, cobrança de diárias e uma impressão ruim para os clientes. Teoria das filas se mostra bastante eficaz para análise de tal fenômeno. Ao aplicar a teoria de filas no canal de carga, verificou-se a situação atual do CD.

O trabalho está organizado da seguinte forma: na Seção 2 apresenta os materiais e os métodos utilizados no estudo, sendo mostrado o norte da pesquisa, detalhes da coleta de dados e do processo estudado. A Seção 3 oferece os resultados, experimentação e discussões e, por fim, a Seção 4 traz as conclusões.

2. Materiais e Método

O artigo realiza uma pesquisa empírica descritiva de caráter quantitativo. A pesquisa empírica descritiva está principalmente interessada em criar um modelo que descreva de forma adequada as relações causais que podem existir na realidade, o que leva a uma compreensão dos processos reais. O caráter quantitativo mostra que a preocupação principal do pesquisador é assegurar que exista adesão entre observações e ações na realidade e o modelo elaborado daquela realidade (FLEURY, 2012).

O artigo foi desenvolvido de acordo com a metodologia de Chwif e Medina (2014), e está estruturado em três grandes etapas conforme estão descritas abaixo:

- *Concepção ou formulação do modelo*: nesta etapa do estudo foi realizado um entendimento dos sistemas de filas M/M/1 e da simulação. Também foram definidas as fórmulas conceituais que iriam ser utilizadas e os processos dos dados de entrada do sistema (processo de Poisson para o processo de chegada e a distribuição exponencial para os tempos de atendimento);
- *Implementação do modelo*: na segunda etapa todas as fórmulas conceituais para modelar o comportamento dinâmico do sistema foram adaptadas para o *software Excel*;



- *Análise dos resultados do modelo*: na última etapa após a validação do modelo considerando alguns valores para tempo de aquecimento, foram realizadas replicações e a média destes resultados foi comparada novamente ao modelo teórico e conclusões a respeito do sistema foram realizadas.

Com base no estudo de Bertrand e Fransoo (2002), o artigo seguiu modelos de investigação contidos nas seções que tratam dos problemas descritos, tais como: o modelo conceitual e científico do processo, na seção 2, a solução e a prova da solução na seção 4 e as percepções relativas à solução para o modelo na seção 4.

2.1. Teoria de filas

O campo da teoria de filas originou-se no início de 1900 e está bem estabelecido com aplicações em diversas áreas, incluindo manufatura, transportes, computação, telecomunicações e saúde (KOMASHIE *et al.*, 2015).

Para Manuel e Offiong (2014) a teoria de filas é o estudo matemático de linhas ou filas de espera. A teoria permite a análise matemática de vários processos relacionados, incluindo chegar na fila, esperar na fila e ser atendido. A teoria permite a derivação e o cálculo de várias medidas de desempenho, incluindo o tempo médio de espera na fila ou no sistema, o número esperado do tempo de espera ou cumprimento do serviço e a probabilidade de ter um servidor disponível ou ter que esperar um certo tempo para ser servido. Teoria de filas se mostra importante na melhora do nível de serviço prestado pelos CDs nas áreas de carga e descarga, devido conseguir criar modelos e conseqüente percepções úteis para prever o comportamento de sistemas. Além disso, considera distribuições estatísticas para as operações de produção de serviços que permitem a descrição de ambientes complexos.

A principal vantagem da teoria das filas é representado por sua eficácia e eficiência em oferecer uma técnica que facilmente descreve e caracteriza os sistemas por indicadores de desempenho ajustados, tais como: tempo médio no sistema, tempo médio de serviço, número médio de clientes no sistema, probabilidade de ter um certo número de clientes no sistema e assim por diante. De acordo com esta perspectiva, teoria das filas permite a rápida modelagem de um sistema de carga, mesmo quando o ambiente é sujeito a um certo grau de incerteza (Zavanella *et al.*, 2015).

Existe limitação quando aplicada ao congestionamento no servidor, devido as distribuições de Poisson e Exponencial não serem apropriadas para descrever este comportamento. A teoria de filas também pode ter problemas para “encontrar o *trade-off* entre o nível de serviço a ser ofertado e o custo que a empresa está disposta a incorrer na prestação deste serviço. Por este motivo, em determinadas situações, podem aparecer filas mesmo onde existem servidores mais que suficientes para atendê-las” (COSTA *et al.*, 2015).

2.2. Simulação

Simulação é o tratamento de problemas reais por meio de reproduções em ambientes controlados pelos pesquisadores. A simulação estocástica gera amostras das distribuições de probabilidade de cada parâmetro de interesse e, a partir desta, são obtidas inferências sobre as quantidades de interesse (MATTOS; SILVA, 2002).

Os modelos de enfileiramento estocásticos mais comuns que assumem os tempos entre serviços obedecem à distribuição exponencial, ou equivalentemente. A taxa de chegada e serviços seguem uma distribuição de Poisson. Em outras palavras, se a taxa de chegada é λ , a probabilidade de ter n chegadas num intervalo t são dadas como a distribuição Markoviana ou sem memória. A probabilidade de que um cliente atualmente em serviço tem unidades t de serviço remanescentes independe do tempo que já está em serviço (SAVO, 2006).

As chegadas e as taxas de serviço são independentes do número de clientes na fila de espera. Tratados da seguinte forma, primeiro que entra, primeiro que sai ou *First In First Out* (FIFO). Além disso, a taxa de chegada λ é menor do que a taxa de serviço μ (Singh, 2014). O



processo de nascimento e morte em fila é caracterizado por Markov e o processo de chegadas obedecem a distribuição de Poisson (Boucher; Couture-Piché, 2015), ilustrado na Figura 1, pode ser usado no estudo deste artigo. O número de clientes potenciais é suficientemente grande para que a população possa ser considerada infinita (Florencio; Dantas, 2014)

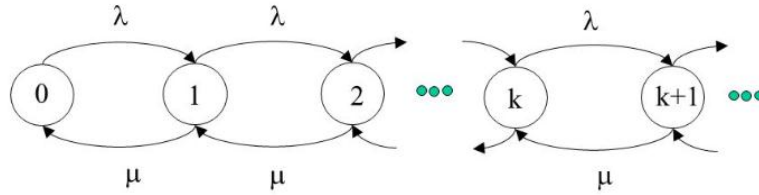


FIGURA 1: Nascimento e morte das filas.
Fonte: [Boucher; Couture-Piché, 2015].

2.3. Coleta de dados

A coleta dos dados foi realizada em um CD na cidade de Anápolis/GO, cuja divulgação das informações, tais como, nome, endereço, segmento, dentre outras, não foram autorizadas, mas houve a abertura para coleta real dos dados em tempo integral de funcionamento da empresa. Os pesquisadores assumiram o compromisso de discrição que vinculam os dados estudados a particularidades da empresa, sendo autorizados apenas os dados relevantes ao processo estudado. A coleta estendeu-se pelos meses de Agosto e Setembro de 2016. Realizou-se a consulta de mídias armazenadas no banco de dados de segurança da empresa, para coleta exata de tempos de chegadas, carregamento e saídas dos caminhões no setor de carga, também houve coleta em tempo real, onde foram realizadas observações específicas do processo.

A Tabela 1 traz os tempos de chegada dos caminhões na fila. A Tabela 2 traz os intervalos de tempos de carregamento de cada caminhão.

43,06	26,51	39,59	236,51	47,35	118,04	3,14	7,49	72,28	50,24
15,47	38,01	81,56	21,58	0,01	45,42	90,31	93,41	18,2	139,35
66,43	4,12	0	8,31	0,24	399,1	79,27	28,52	1,56	44,19
42,41	10,04	0,08	29,48	4,11	20,26	10,13	40,01	138,54	124,58
25,3	61,12	134,37	6	88,4	70,45	6,32	11,16	8,03	14,05
138,38	7,46	201,08	41,45	63,57	2,27	44,21	19,51	47,57	3,18
130,29	57,53	3,47	3,23	248,28	38,53	125,48	1,27	20,57	15,45
61,45	21,43	13,02	0,12	5,56	0,03	31,43	147,23	29,17	27,43
42,39	26,47	11,05	113,42	17,52	0,5	0,29	96,51	34,29	108,04
302,02	68,46	5,32	37	41,44	6,25	56,34	21,56	44,41	29,58
41,32	59,38	19,56	4,05	46,54	57,35	393,16	75,53	79,12	0,05
11,42	72,33	19,01	46,17	1,19	44,35	5,41	54,03	1,24	116,32
17,55	34,1	0,03	6,03	18,49	39,12	57,57	16,29	23,05	25,52
29,24	18,06	41,56	29,56	0,29	165,43	15,19	142,33	328,33	191,32
7,09	93,54	1,38	37,37	49,16	57,55	115,47	222,41	6,46	38,49
50,2	0,14	10,59	47,24	20,39	32,3	69,49	1,28	13,14	1,25
48,36	2,14	70,25	35,32	35,23	0,49	91,5	15,1	58,27	96,26
15,56	203,5	443,55	21,07	32,27	50,5	43,52	22,43	15,43	
107,51	111,37	7,26	37,5	18,25	23,58	18,24	16,36	49,38	
44,28	3,12	0,18	17,1	59,39	8,19	18,49	14,19	312,46	
22,01	58,11	105,04	22,48	88,3	50,08	5,31	64,31	115,42	

Intervalo médio de chegada dos caminhões na fila em minutos: 54,3534466

TABELA 1: Chegada dos caminhões na fila em minutos.

Fonte: [Dados da pesquisa].

Todos os dados coletados foram tabulados em uma planilha de *Excel*, inseridos na forma de *hh:mm:ss* e transformados posteriormente em decimal, contados em minutos, por exemplo, 00:43:16 transformado para 43,16 minutos. A empresa tem o início de suas atividades



de carregamento às 08:00:00 e o encerramento às 17:48:00, com uma folga de 1 hora, das 12:00:00 às 13:00:00, para o almoço. São 08:48:00 de tempo disponível para a atividade de carga por dia, 44:00:00 horas semanas de segunda-feira a sexta-feira. É utilizado apenas um canal de carga para cada caminhão.

O processo de carregamento da empresa segue o sistema, primeiro que entra, primeiro que sai ou *First In First Out* (FIFO), são carregados veículos que variam de *Pick-up* (capacidade de 0,6 toneladas) até Rodo-trem (capacidade de 52 toneladas), as cargas não são estipuladas com um peso padrão ou peso mínimo, podendo existir cargas de diversas quantidades de peso. É separada e conferida à carga, posteriormente o carregamento é realizado por uma empilhadeira e seu operador, onde é elevado um *pallet* com os produtos até a altura da carroceria do caminhão, posteriormente dois auxiliares de carga e descarga pegam os sacos (variam de 10,1 kg até 40 kg) e iniciam o empilhamento na carroceria do caminhão.

15,00	24,59	4,49	40,30	5,50	5,19	8,49	10,17	46,59	5,52
15,23	115,00	10,53	18,31	21,05	9,31	14,18	56,34	26,28	54,31
98,30	18,47	36,08	110,00	43,41	36,57	24,51	17,43	4,34	2,12
11,51	8,43	183,58	6,16	51,30	16,32	14,37	38,07	23,37	49,14
47,01	14,58	49,21	8,09	2,50	27,47	6,06	26,51	13,36	9,10
21,41	7,12	34,19	32,27	4,54	37,20	73,44	7,00	17,40	121,52
17,14	41,15	30,33	27,06	70,25	2,26	21,56	5,33	24,42	4,07
93,30	19,32	17,31	99,54	64,29	22,05	52,13	28,13	5,24	16,26
11,31	52,47	8,26	16,14	30,39	59,15	1,43	127,17	56,56	18,20
37,36	108,00	4,48	3,13	4,53	52,49	29,04	5,23	12,15	52,24
17,53	24,20	0,54	1,07	12,01	19,13	27,52	25,30	12,53	114,20
0,11	7,52	47,53	6,50	10,43	50,51	22,11	19,24	31,30	17,28
46,17	25,38	41,52	26,46	11,53	19,28	102,09	9,49	76,25	33,37
16,53	7,32	5,54	14,51	57,40	57,52	6,51	19,06	17,52	16,06
7,46	31,39	28,16	69,18	8,25	53,49	32,19	30,23	21,05	53,16
11,23	169,54	53,17	41,50	61,47	21,19	48,36	75,06	7,51	17,51
16,47	11,39	18,58	8,19	6,18	43,19	62,43	59,46	3,25	5,25
106,12	1,47	26,14	5,12	21,54	8,33	18,52	53,06	1,23	
0,20	26,11	40,41	53,24	5,28	70,30	0,27	20,37	4,47	
35,53	22,58	1,23	26,14	19,48	6,12	23,36	71,57	3,59	
37,55	20,50	31,18	15,23	31,19	12,03	18,05	43,16	54,16	

Intervalo médio do tempo de carregamento do caminhão em minutos: 30,57

TABELA 2: Tempo de carregamento dos caminhões em minutos.

Fonte: [Dados da pesquisa].

Para as tomadas de decisões, serão observadas no artigo as capacidades relacionadas à unidade em tonelagem.

3. Experimentação

3.1. Determinação do erro da amostra

Para determinar o tamanho da amostra segundo Levine *et al.*, (2005), devem-se conhecer três fatores: o nível de confiança desejado, que determina o valor de (Z), o qual representa o valor crítico a partir da distribuição normal padronizada, o erro de amostragem aceitável (e) e o desvio padrão (σ). A fórmula é representada por:

$$n = \frac{Z^2 * \sigma^2}{e^2} \quad (1)$$

Para as 206 amostras coletadas, se obteve um erro de 6,15 minutos no tempo de atendimento dos caminhões e 12,33 minutos para o tempo de chegada dos caminhões.

3.2. Verificação de distribuição exponencial



A distribuição Exponencial está ligada à de Poisson, analisando inversamente o experimento em um intervalo ou espaço para a ocorrência de um evento. A distribuição Exponencial depende da suposição de que o evento ocorra seguindo o processo de Poisson (MONTGOMERY; RUNGER, 2012).

Foram realizados dois testes, o teste de aderência qui-quadrado e teste de aderência Kolgomorov-Smirnof, ambos os testes tiveram como apoio teórico para sua realização, os autores Chwif e Medina (2014). Os resultados são expressos na Tabela 3.

Teste Qui-quadrado				
-	Valor teórico	Erro	Grau de liberdade	p-value
Tempo de chegada	12,59	4,61	6	0,59
Tempo de atendimento	14,07	5,24	7	0,63
Teste Kolgomorov-Smirnof				
-	Maior distância	D-crítico	-	-
Tempo de chegada	0,086	0,095	-	-
Tempo de atendimento	0,055	0,095	-	-

TABELA 3: Testes de aderência.

Fonte: [Dados da pesquisa].

No teste Qui-quadrado, quando valor teórico é maior que o erro, não rejeitamos a amostra. Seguindo a instruções de Chwif e Medina (2014), inicia-se o teste Kolgomorov-Smirnof, conhecido como teste de aderência KS. Observa-se a máxima diferença absoluta entre a função de distribuição acumulada assumida para os dados e a função de distribuição empírica. Como a maior distância foi menor que o d-crítico, não rejeitamos a hipótese de que os dados aderem ao modelo exponencial.

3.3. Modelo analítico

Seguindo os parâmetros de Moreira (2007), na Tabela 4 serão mostradas as fórmulas utilizadas no modelo analítico de teoria de filas. Nesta subseção serão demonstrados os resultados na Tabela 4, aplicando o modelo analítico.

Parâmetro	Fórmula de fila M/M/1	Resultado	
Utilização do sistema (taxa de ocupação)	$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$	56,09%	(2)
Probabilidade que o sistema esteja ocioso {P(0)}	$P(0) = 1 - \rho = 1 - \frac{\lambda}{\mu}$	43,91%	(3)
Probabilidade de que haja n clientes esperando ou sendo atendidos no sistema {P(n)}	$P(n) = \rho^n P(0)$	8,05	(4)
Probabilidade que a fila não tenha mais que 10 clientes {P (n - K)}	$P (n - K) = 1 - \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{10+1}$	99,83%	(5)
Número médio de clientes na fila (Lf)	$Lf = \frac{\lambda^2}{(\mu(\mu - \lambda))}$	0,7163	(6)
Número médio de clientes no sistema (L)	$L = Lf + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)$	1,277	(7)
Tempo médio que o cliente espera na fila (Wf)	$Wf = \frac{Lf}{\lambda}$	39,06	(8)
Tempo médio que o cliente espera no sistema (W)	$W = \frac{L}{\lambda}$	69,63	(9)

TABELA 4: Fórmulas para cálculo de fila M/M/1 em teoria de filas.

Fonte: Adaptado de Moreira (2007).



Para construção dos parâmetros e da fórmula M/M/1, serão tratados os seguintes dados: Taxa de chegada (λ); Taxa de atendimento (μ); Probabilidade que o sistema esteja ocioso $\{P(0)\}$; Probabilidade que haja n clientes no sistema $\{P(n)\}$; Probabilidade que a fila não tenha mais que K clientes $\{P(n - K)\}$; Número médio de clientes na fila (L_f); Número médio de clientes no sistema (L); Tempo médio que o cliente espera na fila (W_f); Tempo médio que o cliente espera no sistema (W).

No sistema pesquisado existe apenas um canal carregando os caminhões. A taxa de chegada é dada pela média aritmética da população de números de chegada por unidade. A taxa de atendimento é dada pela média aritmética da população de números de atendimento por unidade.

3.4. Modelo simulado

Segundo Perin (1995), a modelagem de uma simulação como modelo matemático, onde $i=1 \dots n$, tem os cálculos para fila M/M/1 expressados na Tabela 5.

Parâmetro	Fórmula de fila M/M/1	
Intervalo entre as chegadas (R_i)	R_i	(10)
Tempo de atendimento (S_i)	S_i	(11)
Momento da chegada (A_i)	$A_{i-1} + R_i$	(12)
Início do atendimento (B_i)	$Max(C_{i-1}; A_i)$	(13)
Término do atendimento (C_i)	$B_i + S_i$	(14)
Tempo de fila (W_i)	$B_i - A_i$	(15)
Tempo de sistema (U_i)	$C_i - A_i$	(16)
Tempo ocioso do servidor (O_i)	$B_i - C_{i-1}$	(17)
Média de tempo de fila (\bar{W})	$\frac{\sum w_i}{n}$	(18)
Taxa de ocupação do sistema (Rô)	$1 - \left(\frac{\sum O_i}{C_{10000}} \right)$	(19)

TABELA 5: Fórmulas para cálculo de fila M/M/1 em modelagem.

Fonte: Adaptado de Perin (1995).

Utilizou-se o *software Excel* para dar prosseguimento à simulação. Foi adotado o método da transformada inversa para os intervalos de chegada e o tempo de atendimento, em seguida gerou-se um número aleatório e posteriormente o transformou no valor da variável com distribuição exponencial de interesse, utilizando as seguintes fórmulas, no *Excel*:

– Gerador aleatório para as chegadas: $(-LN(1-(ALEATÓRIO())))/\lambda$ (20);

– Gerador aleatório para os atendimentos: $(-LN(1-(ALEATÓRIO())))/\mu$ (21).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L
	i	Ri	Si	Ai	Bi	Ci	Wi	Ui	Oi	W̄	Rô
	Ocorrência	Intervalo entre as chegada	Tempos de Atendimento	Momento da chegada	Início do atendimento	Término do atendimento	Tempo de fila	Tempo de sistema	Tempo ocioso do servidor	Média de tempo de fila	Taxa de ocupação do sistema
2											
3	0			0		0					
4	1	=LN(1-ALEATÓRIO())/SQS23	=LN(1-ALEATÓRIO())/SQS24	=D3+B4	=MÁXIMO(F3;D4)	=E4+C4	=E4-D4	=F4-D4	=E4-F3	=SOMA(SG\$4:G4)/A4	=1-(SOMA(I4:I10003)/F10003)
5	2	=LN(1-ALEATÓRIO())/SQS23	=LN(1-ALEATÓRIO())/SQS24	=D4+B5	=MÁXIMO(F4;D5)	=E5+C5	=E5-D5	=F5-D5	=E5-F4	=SOMA(SG\$4:G5)/A5	
6	3	=LN(1-ALEATÓRIO())/SQS23	=LN(1-ALEATÓRIO())/SQS24	=D5+B6	=MÁXIMO(F5;D6)	=E6+C6	=E6-D6	=F6-D6	=E6-F5	=SOMA(SG\$4:G6)/A6	
7	4	=LN(1-ALEATÓRIO())/SQS23	=LN(1-ALEATÓRIO())/SQS24	=D6+B7	=MÁXIMO(F6;D7)	=E7+C7	=E7-D7	=F7-D7	=E7-F6	=SOMA(SG\$4:G7)/A7	
8	5	=LN(1-ALEATÓRIO())/SQS23	=LN(1-ALEATÓRIO())/SQS24	=D7+B8	=MÁXIMO(F7;D8)	=E8+C8	=E8-D8	=F8-D8	=E8-F7	=SOMA(SG\$4:G8)/A8	

TABELA 6: Fórmulas utilizadas no *Excel* – Fila M/M/1.

Fonte: [Dados da pesquisa].

Na Tabela 6 apresentam-se as fórmulas utilizadas na simulação. Foi apresentado na Tabela 6 somente até a quinta ocorrência, mas a simulação completa aconteceu com 10000



ocorrências. Logo a seguir, na Tabela 7, são apresentados alguns resultados obtidos com a simulação.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L
1	i	Ri	Si	Ai	Bi	Ci	Wi	Ui	Oi	W̄	Rô
	Ocorrência	Intervalo entre as chegadas	Tempos de Atendimento	Momento da chegada	Início do atendimento	Término do atendimento	Tempo de fila	Tempo de sistema	Tempo ocioso do servidor	Média de tempo de fila	Taxa de ocupação do sistema
2											
3	0			0		0					
4	1	21,733	59,316	21,733	21,733	81,049	0,000	59,316	21,733	0,000	56,47%
5	2	170,198	61,854	191,931	191,931	253,785	0,000	61,854	110,882	0,000	
6	3	17,893	87,935	209,824	253,785	341,720	43,962	131,897	0,000	14,654	
7	4	76,286	12,081	286,110	341,720	353,802	55,611	67,692	0,000	24,893	
8	5	137,912	27,471	424,022	424,022	451,493	0,000	27,471	70,221	19,914	

TABELA 7: Exemplo dos resultados obtidos em *Excel* com a simulação de uma fila M/M/1.
Fonte: [Dados da pesquisa].

Já com os resultados do modelo analítico e o os resultados do modelo de simulação, na Tabela 8 é realizada uma comparação entre eles.

	Intervalo entre as chegadas	Tempos de Atendimento	Média de tempo de fila	Utilização do sistema
Analítico	54,353447	30,57	39,06	56,09%
Simulação	53,421	30,532	39,679	56,47%

TABELA 8: Comparação resultados analítico x resultados simulados.
Fonte: [Dados da pesquisa].

Na coluna de “Média de tempo de fila” da Tabela 8 mostra que se chega próximo ao resultado do modelo analítico. Como dito na subseção 2.3, a simulação é de grande valia para auxílio de gestores em suas tomadas de decisões. A Tabela 8 é um exemplo claro desta afirmação, os resultados simulados chegam em uma das análises à 99,8% de semelhança ao valor analítico. Mostra que a simulação é uma ferramenta, na qual, problemas muito complexos que não são resolvidos analiticamente, ou que se demanda muito trabalho para ser resolvido de forma analítica, pode ser a única ferramenta útil e eficiente para ser usada.

Replicações	Total de simulações	Média de tempo de sistema (simulação)	Média de tempo de sistema (analítico)	Média de tempo de fila (simulação)	Média de tempo de fila (analítico)	Média de utilização do servidor (simulação)	Média de utilização do servidor (analítico)
1	10000	91,23	69,63	46,94	39,06	56,78%	56,09%
2	10000	62,77	69,63	33,71	39,06	56,56%	56,09%
3	10000	83,75	69,63	51,22	39,06	55,79%	56,09%
4	10000	48,14	69,63	37,44	39,06	55,10%	56,09%
5	10000	59,86	69,63	30,33	39,06	55,60%	56,09%
6	10000	56,4	69,63	26,48	39,06	56,05%	56,09%
7	10000	59,83	69,63	29,66	39,06	54,72%	56,09%
8	10000	71,1	69,63	41,72	39,06	56,43%	56,09%
9	10000	81,68	69,63	51,92	39,06	56,71%	56,09%
10	10000	76,98	69,63	44,24	39,06	55,85%	56,09%
Médias >>>		69,17	69,63	39,37	39,06	55,96%	56,09%

TABELA 9: Média de replicações da simulação.
Fonte: [Dados da pesquisa].



Pode-se verificar na Tabela 9 uma grande aproximação dos valores de médias de tempo de sistema, tempo de fila e utilização do servidor, comprovando mais uma vez a eficiência da simulação para análise de sistemas de filas.

3.4.1. Alternância de cenários no modelo simulado

Define-se o cenário para descrever um sistema em um determinado momento, em relação aos objetivos de um estudo. Em algum momento, na dos sistemas, há uma necessidade de estudá-los para tentar ganhar alguma introspecção nas relações entre os vários componentes, ou para prever o desempenho em algumas novas condições que estão sendo consideradas (LAW, 2007).

Foram simulados alguns cenários, tais como, a aceleração e desaceleração do sistema apenas alterando o λ e o μ . Na Figura 2, é mostrado alguns exemplos que podem acontecer com os dados acelerados e desacelerados, são demonstrados quatro cenários e descritos a seguir:

Cenário I: há uma desaceleração do tempo de carregamento (média de tempo de carregamento elevada para 38 minutos) elevando a utilização do sistema. Neste cenário pode ocorrer as seguintes variáveis, tais como, ausência de algum funcionário da operação de carregamento, problemas com o maquinário da operação de carregamento, indisposição da equipe de carregamento e a prevalência dos pedidos com uma grande variedade de produtos.

Cenário II: é simulada a aceleração do intervalo de chegada (média do intervalo de chegada reduzida para 40 minutos), eleva-se a utilização do sistema. Pode ocorrer neste cenário um aumento no número de caminhões para serem carregados, ou seja, são mais pedidos com menores quantidades, gerando a necessidade de maior número de caminhões para carregamento.

Cenário III: o episódio agora é a desaceleração do intervalo de chegada e aceleração do tempo de carregamento (média de tempo de carregamento elevada para 70 minutos e média do intervalo de chegada reduzida para 20 minutos). A desaceleração do intervalo de chegada pode representar uma diminuição nas vendas e a aceleração do tempo de carregamento pode representar uma boa gestão da movimentação de materiais na expedição.

Cenário IV: aceleração do sistema (média de tempo de carregamento reduzida para 50 minutos e média do intervalo de chegada elevada para 35 minutos), há a condição de ascensão na utilização do sistema. Ocorre-se o contraditório do Cenário III.

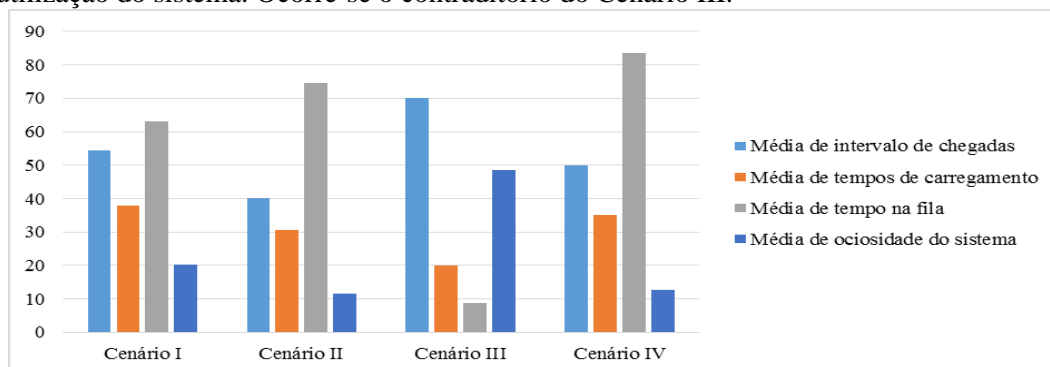


FIGURA 2: Teste de cenários utilizando a simulação de fila M/M/1.

Fonte: [Dados da pesquisa].

3.5. Discussão

Neste artigo foi realizada a aproximação do resultado analítico com o resultado simulado, ambos mostrados na Tabela 8, na qual verifica-se que o valor simulado chegou a semelhança de 98,28% do valor analítico na medição do intervalo entre as chegadas, 99,88% de semelhança no valor de tempos de atendimento, 98,44% no valor de média de tempo de fila e de 98,15% de semelhança na porcentagem de utilização do sistema.



Demonstra-se que a simulação é uma boa ferramenta para a tomada de decisões em desenvolvimento de sistemas, de fato eficientes. A resposta para uma pergunta do tipo “o que irá acontecer se eu fizer isso?”, pode ser dada pela simulação em uma técnica preditiva e preventiva (OLIVEIRA, 2007).

Na simulação a variabilidade pode gerar incoerências nas análises. Para fins de alcance de uma maior acurácia do processo, é sugerida uma grande repetição do sistema para uma representação confiável da simulação.

Observando somente os resultados obtidos na forma analítica, podem-se analisar alguns valores, sendo eles, a utilização do sistema, que é de 56,09%, sobrando um tempo ocioso de sistema de 43,91%, no qual pode ser empregados esforços para outras atividades com intuito melhorar o nível de serviço do CD, ou até diminuir gastos com equipamentos e funcionários. Há uma probabilidade de que haja 8,05 caminhões em fila ou sendo atendidos, mostrando que mesmo com o tempo ocioso de 43,91% existem caminhões sendo preparados para carregar e outros preparados para seguirem viagem após o carregamento. Existe uma probabilidade de 99,83% que não haja mais que 10 caminhões em fila para serem atendidos, proporcionando uma dimensão de espaço de espera e preparação de caminhões. O número médio de caminhões em fila é de 0,7163 sendo inferior a 1, mostrando um número baixo de formação de fila, chegando próximo do número médio de caminhões no sistema que é de 1,277. O tempo médio que o caminhão espera na fila é de 39,06 minutos e o tempo médio de espera no sistema é de 69,63 minutos, sendo possível este número ser disponibilizado aos próprios caminhoneiros que carregam seus caminhões no CD. Este tempo também serve para tomada de decisões a respeito da área de carregamento da empresa.

4. Conclusão

Neste artigo, objetivou-se demonstrar a aplicação de um modelo de filas M/M/1 em um CD, utilizando cálculos analíticos e a plataforma do *Excel* para a simulação. Demonstra-se a eficiência da simulação, por estas razões, Law (2007) explana sobre a necessidade de construir um modelo como uma representação do sistema e estudá-lo como um substituto para o sistema real. Ao utilizar um modelo, há sempre à questão de saber se reflete com precisão o sistema para efeitos das decisões a serem tomadas, pois em algumas situações não é possível a obtenção de todos os dados necessários para aplicação do modelo analítico.

Nos resultados obtidos da forma analítica e através da simulação, baseando-se no referencial teórico, verificou-se a importância da simulação ao se trabalhar com teoria de filas. Comprova-se ser uma ferramenta eficaz para análise de processos de filas em áreas de carga. Se permite a obtenção de resultados aproximados aos ocorridos na prática, analisando cenários e propondo melhores decisões sobre o fluxo de processos.

Os resultados analíticos e simulados são semelhantes para os dois métodos utilizados. Nos dois métodos devem ser encontradas as distribuições de frequência das chegadas e atendimento dos caminhões. Quando as distribuições de frequência não são comuns, a teoria de filas através do equacionamento do modelo pode ser uma forma difícil de ser solucionada da forma analítica. A simulação, por sua vez, resolve materialmente o problema, mesmo se deparando com as mesmas distribuições de frequência.

Para uma análise e discussão eficaz dos resultados obtidos neste estudo, foram encontrados o erro e a forma de distribuição dos dados, a fim de não correr o risco de gerar dados incorretos. Sendo possível a compreensão passo a passo da elaboração de um modelo de simulação, a partir da obtenção da variabilidade e aleatoriedade dos dados.

Fica nítido que a abertura para novos empregos dos resultados de saída deste artigo, devem ter seus ajustes estatisticamente feitos com o apoio integrado de *softwares* de simulação e ferramentas estatísticas. Assim requerem-se conhecimentos avançados em estatística, que ultrapassam o que foi utilizado no artigo, podendo utilizar modelos de análise de dados encontrados em livros, como por exemplo, o de Law (2007).



Este artigo mostra detalhadamente o método utilizado e o alcance dos resultados, podendo o mesmo ser aplicado para outros estudos, mesmo que em empresas diferentes de um CD, sendo utilizado para diversas análises de uma fila M/M/1. No que tange esta pesquisa, pode-se contribuir para a melhoria da planta, em termos de tempo de trabalho e melhor gestão da área de carregamento do CD, servindo para remediar gargalos encontrados na área, na qual, foi aplicado o estudo.

Referências

ANDREJIĆ, M.; BOJOVIĆ, N.; KILIBARDA, M. Benchmarking distribution centres using principal component analysis and data envelopment analysis: a case study of Serbia. *Expert Systems with applications*, v. 40, n. 10, p. 3926-3933, 2013.

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

BOUCHER, J. P.; COUTURE-PICHÉ, G. Modeling the number of insureds' cars using queuing theory. *Insurance: Mathematics and Economics*, v. 64, p. 67-76, 2015.

CHWIF, L.; MEDINA, A. *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos, 4ª Edição: Teoria e Aplicações*. Elsevier, Brasil, 2014.

COSTA, P. H. S.; VIEIRA, M. C.; Gois T. C.; Ortolani G. A. A pesquisa operacional e o problema das médias. *XXXV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ENEGEP*, Fortaleza, 2015.

FLEURY, A. C. C. *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações*. 2012.

FLORENCIO, P. H. B.; DANTAS, M. J. P. Estudos sobre modelagem e simulação de sistemas de filas M/M/1 e M/M/2. *IX SAEPRO*, 2014.

JI, Y.; YANG, H.; ZHANG, Y.; ZHONG, W. Location optimization model of regional express distribution center. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, v. 96, p. 1008-1013, 2013.

KOMASHIE, A.; MOUSAVI, A.; CLARKSON, P. J.; YOUNG, T. An Integrated Model of Patient and Staff Satisfaction Using Queuing Theory. *IEEE journal of translational engineering in health and medicine*, v. 3, p. 1-10, 2015.

LAW, A. M. *Simulation Modeling & Analysis*. 4. ed. Boston: Ed. McGraw-Hill, 2007.

LEVINE, D. M.; BERENSON, M. L.; STEPHAN, D. *Estatística: teoria e aplicações-usando Microsoft Excel português*. Ltc, Rio de Janeiro, 2005.

MANUEL, U. R.; OFFIONG, A. Application of queuing theory to automated teller machine (ATM) facilities using monte carlo simulation. *International Journal of Engineering Science and Technology*, v. 6, n. 4, p. 162, 2014.

MATTOS, N. M. C. SILVA, R. R. INFERÊNCIA BAYESIANA VIA SIMULAÇÃO ESTOCÁSTICA COM IMPLEMENTAÇÃO NO PROGRAMA WINBUGS. Rio de Janeiro: *XXXIV SBPO*, 2002.



MONTGOMERY, D. C. RUNGER, G. C. *Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros*. 5ª Ed., LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, Rio de Janeiro, 2012.

MOREIRA, D. A. *Pesquisa Operacional – Curso Introductório*. 2. ed. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

OLIVEIRA, J. B. *Simulação computacional: análise de um sistema de manufatura em fase de desenvolvimento*. (Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Engenharia de Itajubá), UNIFEI, Itajubá, 154p, 2007.

PERIN, C. F. *Introdução à simulação de sistemas*. Campinas, Ed. da Unicamp, 1995.

SAVO, G. *Advanced Wireless Networks 4G Technologies*. University of Oulu, 2006.

SINGH, V. To Minimize the Waiting Time and Waiting Time Cost of Dumpers, Waiting in a Queue for Loader at Stone Crusher Plant Mine by Using the Single and Multi-Channel Queuing Theory. *International Journal of engineering Research and Applications*, v. 1, n. 4, p. 150-156, 2014.

ZAVANELLA, L.; ZANONI, S.; FERRETTI, I.; MAZZOLDI, L. Energy demand in production systems: A Queuing Theory perspective. *International Journal of Production Economics*, v. 170, p. 393-400, 2015.

ZHANG, T.; HUANG, G. Q.; LUO, H.; ZHONG, R. Storage pricing and allocation in a headquarter-managed centralized distribution center. *Procedia CIRP*, v. 25, p. 33-38, 2014.

ZHU, F.; YAO, Y.; TANG, W.; CHEN, D. A high performance framework for modeling and simulation of large-scale complex systems. *Future Generation Computer Systems*, v. 51, p. 132-141, 2015.