

Pesquisa Operacional: Simulação

Gabriel Anselmo Ramos, Victor Eduardo Requia, Yuji Yamada Correa

¹Departamento de Ciência da Computação
Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC-CCT)
Joinville – SC – Brasil

Resumo. *A aplicação de simulação permite melhorias de desempenho, propõe solução para problemas de tomadas decisão, precede análises e avaliações de sistemas. O objetivo desse trabalho é trazer exemplos práticos do uso de simulação no qual foi usado a ferramenta Arena para auxiliar nos teste feitos onde foram definidas as distribuições estatística. Este presente trabalho justificou-se em demonstrar como a Simulação pode ser aplicada em diferentes tipos de sistemas e oferecer resultados precisos, o que seria inviável testar em uma situação real. Podemos concluir que a aplicação de simulação pode ser eficiente à diversos tipos de sistemas contanto que seja desenvolvida adequadamente por profissionais capacitados, não apenas no desenvolvimento propriamente dito, mas também na interpretação dos resultados.*

Abstract. *The application of simulation allows performance improvements, proposes solutions for decision-making problems, precedes analysis and evaluation of systems. The objective of this work is to bring practical examples of the use of simulation in which the Arena tool was used to assist in the tests carried out where the statistical distributions were defined. This present work was justified in demonstrating how the Simulation can be applied in different types of systems and offer accurate results, which would be unfeasible to test in a real situation. We can conclude that the application of simulation can be efficient to different types of systems as long as it is properly developed by trained professionals, not only in the development itself, but also in the interpretation of the results.*

1. Introdução

Através da simulação podemos mostrar que existem diferentes formas de orientar no processo de decisão, prever análises e avaliar sistemas no qual podemos propor solução de melhoria de desempenho. Uma das principais áreas da Pesquisa Operacional a simulação teve origem em 1940, quando Von Neumann, utilizou a expressão análise de Monte Carlo para nomear uma técnica matemática empregada na solução de problemas da física nuclear para os quais uma solução experimental seria muito mais dispendiosa ou um tratamento analítico seria muito complicado, ou seja, inviável (LOESH HEIN, 2009).

Entendida como uma ferramenta através da qual é possível prever por softwares computacionais, ou mesmo fazendo à mão, determinadas situações que se deseja estudar, com a simulação, muitas vezes não é necessário que se gastem recursos financeiros antecipadamente com o risco de aquisição de um bem para a aplicação em um projeto. Nesse trabalho é colocado algumas exemplos de simulação feito em outros trabalho afim de entender na pratica qual a melhor decisão a se tomar diante do planejamento de execução de um processo de forma a estabelecer cenários a partir dos quais permita que o gestor preveja o que pode acontecer se determinada ação seja realizada em um projeto.

2. Fundamentação

O autor Prado (2008) diz que simulação é a técnica que através do estudo de um sistema real, permite imitar o funcionamento desse sistema em ambiente virtual antes de se proceder com qualquer mudança no cenário real.

No livro “Introdução à Pesquisa Operacional”, de Hillier (2006), capítulo 20, o autor cita que a simulação tem sido há muito tempo uma importante ferramenta do projetista. A simulação é cada vez mais vista como parte das ferramentas de apoio à decisão, utilizadas por gestores de grandes empresas. Os resultados obtidos do sistema real e os gerados pelo modelo, permitem análises para a avaliação do sistema em questão no qual podemos orientar qual é a melhor decisão a ser tomada e evitar prejuízos e problemas que podem vir a surgir futuramente.

Conforme Freitas (2008) através de um estudo sobre o comportamento de um sistema, a simulação permite obter um modelo que imita o funcionamento real desse sistema. Sendo assim, o computador recebe como entrada propriedades e características do sistema real, criando um modelo sintético que possibilita testar técnicas antes de aplicá-las ao sistema real.

A otimização é o processo de tentar diferentes combinações de valores para variáveis que podem ser controladas buscando uma combinação de valores que provê a saída mais desejada de um modelo de simulação (Harrel, 2000). A simulação diferente da otimização não produz soluções ótimas, apenas indica ao usuário análise de diferentes cenários do sistema.

Para Fu (2002), na interação entre simulação e otimização, a última deve ser vista como uma ferramenta complementar à simulação. Neste processo, a otimização fornece as variáveis de uma possível solução (inputs) à simulação; esta, após todo o processo de simulação, fornece respostas (outputs) para a situação proposta, que retornam à otimização. A otimização gera novas variáveis, utilizando técnicas de otimização específicas, que serão novamente testadas pela simulação. Este ciclo é repetido até sua parada, definida de acordo com o método de otimização utilizado.

Em uma simulação, é necessário a construção de um modelo lógico que representa o sistema em estudo. Então, dados sobre o sistema são inseridos neste modelo. Juntando os dados ao modelo temos o nosso ambiente “virtual” que representa o determinado sistema. Ainda de acordo com Freitas (2008), uma simulação geralmente possui 5 passos listados abaixo:

1. É feito um estudo acerca do sistema a ser simulado, coletando os dados necessários como o tempo.
2. O modelo é construído no Arena, anexado com os dados coletados no passo anterior.
3. O Arena é executado para a geração de resultados sobre o comportamento do modelo previamente criado.
4. Os resultados são analisados, então mudanças são feitas a fim de aperfeiçoar o modelo.
5. Então retorna ao passo 3, gerando novos resultados. Esse ciclo se repete até o usuário se sentir satisfeito com o modelo.

Em dados como os que envolvem tempo, tem a possibilidade de inserção desses dados através de distribuições estatísticas. A ferramenta *Input Analyzer* do Arena recebe a coleta de dados do evento de interesse como entrada e retorna ao modelo uma distribuição estatística adequada ao histograma dos dados.

O processo de construção de um modelo no Arena, em suma é explicar ao software como o sistema funciona, essa explicação é feita através de uma linguagem similar a um fluxograma. Segundo Freitas (2008) um modelo de simulação no Arena é construído através dos seguintes elementos:

- Variáveis de estado: mostram informações que estão acontecendo no momento do estudo, como, o número de clientes esperando numa fila.
- Eventos: são acontecimentos que acarretam mudanças no estado do sistema, por exemplo, chegada de clientes no processo.
- Entidades: são a parte circulante do modelo, que percorre a lógica estabelecida pelo fluxograma, interagindo com os recursos.
- Recursos: representam a estrutura do sistema, como máquinas, pessoas que participam do processo, etc.
- Atividades e período de espera: é o intervalo de tempo determinado para a execução da tarefa, pode ser controlado pelo recurso.
- Tempo real simulado: é o tempo do sistema a analisar.
- Tempo de simulação: é o tempo que será executado no computador.

A representação gráfica é de suma importância para tornar o processo da simulação mais dinâmico. O Arena possui elementos que permite que o processo seja representado através de imagens, apresentando uma ideia muito mais intuitiva do resultado da simulação.

3. Trabalhos relacionados

Este capítulo apresenta os trabalhos relacionados, selecionados com ênfase em exemplos práticos em que a simulação pôde ser aplicada a diferentes tipos de sistemas através do software Arena. A seção 3.1 e seção 3.2 apresentam o resumo da revisão da literatura que foi realizada.

3.1. Aeroporto

O autor Formigoni et al. (2015) realizou um estudo sob a área de check-in de uma companhia aérea, a fim de coletar dados referente ao tempos de chegada e de atendimento do check-in em um período de 2 horas, com um fluxo de cerca de 100 passageiros. Após a realização da pesquisa, o autor parte para o teste de aderência com auxílio da ferramenta *Input Analyzer* do Arena, foram definidas as distribuições estatística: (i) distribuição exponencial usada para representar o intervalo entre a chegada dos clientes, com média de 44 segundos; (ii) distribuição triangular para representar o tempo de atendimento dos atendentes, composto pelo menor valor, moda e o maior valor.

A Figura 1 apresenta o fluxograma que descreve o procedimento do processo de check-in dos passageiros.

Na Figura 2, temos o modelo animado produzido pelo próprio Arena, baseado no processo de atendimento. O sistema possui 4 funcionários que atendem os passageiros organizados em uma fila única.



Figure 1. Fluxograma do modelo



Figure 2. Animação do modelo

Após a simulação, no período de 2 horas teve um circulamento de 140 pessoas no processo de check-in, com apenas 75 pessoas atendidas, enquanto as outras 65 permaneceram no sistema. Através do relatório *queue*, temos que o tempo médio de espera na fila para o atendimento é de aproximadamente 23 minutos, e que em média a fila possuía 28 pessoas.

A Figura 3 nos mostra a taxa de ocupação dos recursos do sistema. Percebe-se que a taxa dos atendentes foram altas com: 93%, 91%, 93%, 91%, respectivamente. Enquanto a taxa de ocupação do patio foi 99%, atingindo praticamente a capacidade máximo, portanto compreende-se que se trata do gargalo do processo.

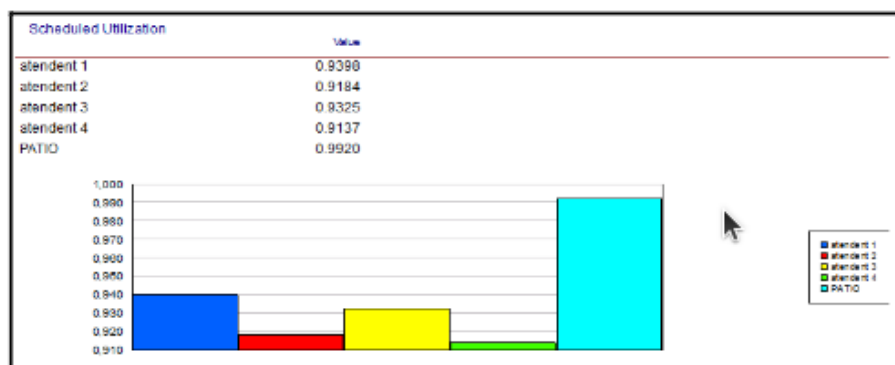


Figure 3. Ocupação dos recursos

Analisando os relatórios gerados pelo simulador Arena, percebe-se que o problema do sistema é a alta demanda de pessoas para a atual quantidade de atendentes, portanto é necessário adicionar recursos ao sistema. Uma solução é incluir dois novos atendentes a fim de auxiliar os quatro balcões nos horários de pico.

Partimos para uma nova simulação aplicando essa mudança de acréscimo dos dois funcionários. A Figura 4 mostra o novo modelo de atendimento.



Figure 4. Animação do modelo após a melhoria

Após a melhoria no processo de check-in, do total de 140 pessoas, 110 pessoas foram atendidas, enquanto apenas 30 permaneceram no sistema. Portanto, tivemos um aumento de 35 pessoas atendidas. Já o tempo de na fila de atendimento foi reduzido de 23 minutos para 10 minutos. Além disso, anteriormente a fila possuía em média 28 pessoas em espera, agora apenas 11 pessoas.

3.2. Restaurante

Santos e Alves (2014), o trabalho desenvolvido, tem como objetivo, analisar a dinâmica operacional de um restaurante self-service através de simulação e de otimização. Foi escolhida esta combinação pois faz com que as respostas sejam mais eficientes, possibilitando uma melhor tomada de decisão (Santos e Alves, 2014)

O modelo proposto foi implementado no software Arena e tem seu tipo dinâmico, discreto e estocástico. O tempo na fila da balança foi a variável de comparação entre os dados obtidos a partir do sistema e os gerados pelo modelo.

Como o modelo se trata de um restaurante universitário, é comum e característico para este tipo de espaço, apresentar filas em curto espaço de tempo e em grupos maiores de pessoas. Por esse motivo, aplicar as técnicas tradicionais da teoria das filas é uma dificuldade e por isso, requer um uso de simulação para obter-se medidas de desempenho apropriadas, além de encontrar um ponto de equilíbrio que satisfaça os clientes e seja viável economicamente para o provedor do serviço (ARENALES, 2007).

Para a pesquisa, foram utilizados dois métodos, um deles é o estudo de caso, para conhecer o fenômeno no contexto real de forma ampla e detalhada (YIN, 2001), e a modelagem/simulação, que aborda quantitativamente o problema e busca controlar as variáveis gerenciais em estudo (Santos e Alves, 2014).

O fluxograma do restaurante universitário, utilizado para elaboração do trabalho, é apresentado na Figura 5.

Identificou-se, através de dados obtidos de registros históricos da empresa, que o “gargalo” do sistema em estudo, está na capacidade de atendimento da mesa de buffet. Portanto, o sistema analisado, neste trabalho, se restringe ao fluxograma do sistema apresentado na Figura 6.

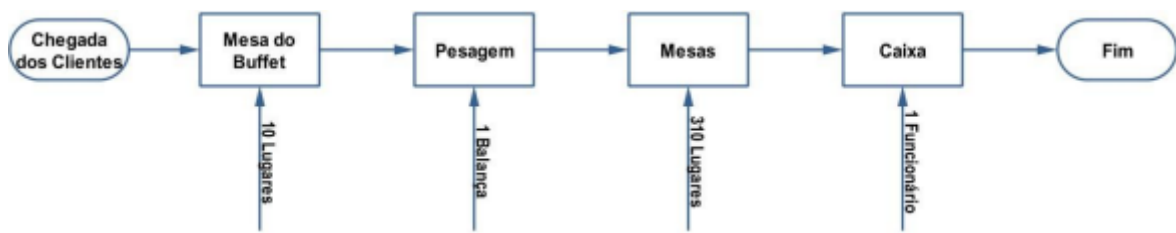


Figure 5. Fluxograma do sistema

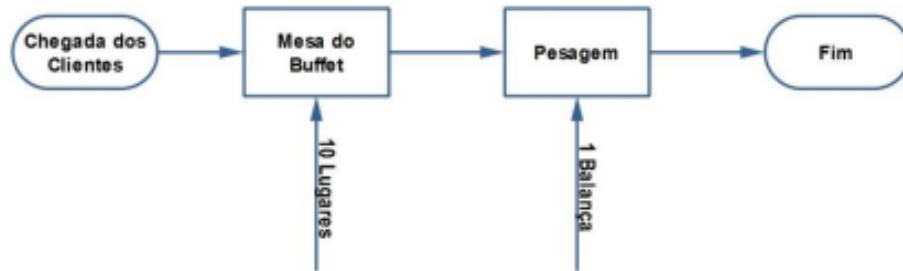


Figure 6. Fluxograma do sistema analisado.

No planejamento, da coleta de dados, concluiu-se que seria necessário determinar as seguintes variáveis: tempos entre chegadas dos clientes (TEC); tempos que os clientes levam, para servirem-se, na mesa de buffet (TFB) e tempos de atendimento na balança (TFBL).

Para o número de replicações (n^*), foi utilizada a seguinte expressão (PRADO, 2010)

$$n^* = n \times \left(\frac{h}{h^*}\right)^2$$

Onde:

n = número de replicações já realizadas

h = semi-intervalo de confiança já obtidos

h^* = semi-intervalo de confiança desejado

Na execução do procedimento de validação, para o sistema em estudo, foi: (i) realizada uma comparação de médias por meio de análise de variância (ANOVA); (ii) calculado o erro médio estimado (MANNER, 1995):

$$SE = \sqrt{\frac{(SR - MD)^2}{GLR}}$$

onde:

SE = erro médio estimado

SR = valor obtido a partir do sistema real

MD = média dos valores gerados pelo modelo

GLR = grau de liberdade considerando o número de replicações do modelo

Parâmetro analisado	TEC	TFB	TFBL
Média	11,90 s	124,69 s	9,16 s
Mediana	7,09 s	115,7 s	8,00 s
1 Quartil (Q ¹)	2,09 s	91,00 s	6,06 s
3 Quartil (Q ³)	17,04 s	152,1 s	12,00 s
Desvio Padrão	11,66 s	50,21 s	3,88 s
Coefficiente de Variação	98,17%	40,27%	42,41%

Figure 7. Análise exploratória dos dados coletados no restaurante

Para o trabalho, foram cronometradas três amostras, obtendo um nível de confiança de 95%. através da seguinte expressão (MARROCO, 2003):

$$n_a = \left(\frac{Z_{\frac{\alpha}{2}} S}{E} \right)^2$$

onde:

n_a = número de indivíduos da amostra

$z_{\frac{\alpha}{2}}$ = valor crítico que corresponde ao grau de confiança desejado

S = desvio padrão

E = erro máximo estimado

Na figura 7 são apresentados os valores dos dados coletados no restaurante.

Observou-se que na análise exploratória, a variável Tempo no Buffet (TFB) apresentou a maior mediana e a maior média entre os dados coletados no restaurante. Já os coeficientes de variação (98,17%, 40,27% e 42,41%) para as três variáveis coletadas apresentam uma dispersão alta, possuindo uma elevada variabilidade em relação à média.

Após a análise exploratória, realizou-se à análise de correlação entre os dados (Figura 7) e comprovou-se que não há correlação entre as observações da amostra.

Depois do sistema simulado para o atual, otimizou-se a capacidade da mesa de buffet através da ferramenta Optquest do programa Arena. O Optquest realizou 14 simulações para encontrar a melhor solução segundo as opções e os parâmetros definidos. Os valores obtidos para função objetivo de cada simulação são apresentados na Figura 9.

Através dos resultados obtidos da Tabela 8 concluiu-se que o melhor resultado da função objetivo foi encontrado na décima simulação. Isto é, em média 1 cliente na fila para uma mesa de buffet com 12 lugares.

Como conclusão, observou-se que as variáveis, tempo máximo de espera na fila do buffet (244,1 segundos) e número máximo de clientes na fila do buffet (23 clientes) para o cenário atual, foi considerada alta para o intervalo de tempo simulado.

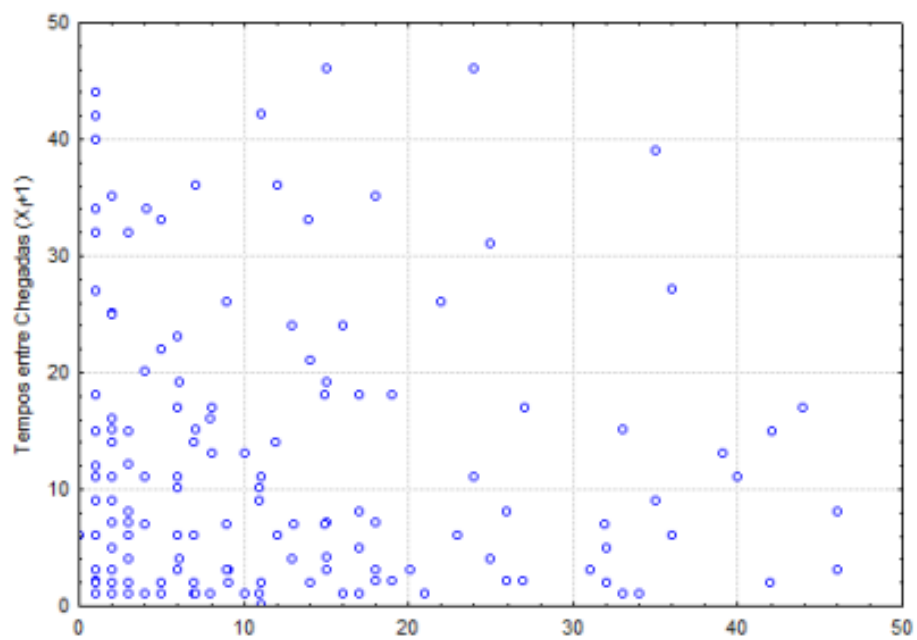


Figure 8. Gráfico de dispersão - Tempos entre chegadas de clientes (TEC)

Simulações	Clientes - Fila Buffet (Med)	Estado	Capacidade Buffet
Simulação 10	1,0265	Possível	12
Simulação 6	1,9261	Possível	11
Simulação 12	5,1725	Possível	10
Simulação 8	11,3580	Possível	9
Simulação 1	18,5724	Possível	8
Simulação 2	26,8916	Possível	7
Simulação 7	34,3596	Possível	6
Simulação 11	42,1208	Possível	5
Simulação 5	52,2998	Possível	4
Simulação 9	66,1042	Possível	3
Simulação 3	83,3500	Possível	1
Simulação 13	84,2453	Possível	2
Simulação 14	0,4160	Inviável	13
Simulação 4	0,2076	Inviável	14

Figure 9. Resultados da otimização do modelo

4. Considerações finais

O trabalho elabora traz dois exemplos reais da aplicação de simulação, um na área de check-in de uma companhia aérea e o outro em um restaurante self-service mostrando a eficiência do uso da simulação em diferentes áreas e trazendo os melhores resultados e os pontos de gargalo no sistema, para serem analisados e revisados, podendo assim fazer uma nova simulação com resultados melhores do que o anterior. As mudanças feitas no ponto exato de gargalo traz melhorias e otimização para o sistema no todo.

[Pereira et al. 2015] [Formigoni et al. 2017] [SANTOS and Alves 2014]

References

- Formigoni, A., Maiellaro, J. R., Borrero, C. L., de Jesus Garcia, M., and dos Santos, M. N. (2017). Aplicação da simulação computacional no processo de check-in do aeroporto internacional de guarulhos. *South American Development Society Journal*, 1(2):20–32.
- Pereira, C. D., CUNHA, G. d., and SILVA, M. d. (2015). A simulação na pesquisa operacional: uma revisão literária. *IX EEPA-Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial, Campo Mourão*.
- SANTOS, J. and Alves, R. (2014). Modelagem, simulação e otimização da dinâmica operacional de um pequeno restaurante: Um estudo de caso. *HOLOS*, 4:375–386.