

# Simulação da Dinâmica Operacional de um Pequeno Restaurante Universitário: Um Estudo de Caso

## Dynamic operational simulation of a small university restaurant: a study case

**José Airton Azevedo dos Santos**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Medianeira, PR  
*airton@utfpr.edu.br*

**Roberta Alves**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Medianeira, PR  
*robertaalvess@hotmail.com*

**Edna Possan**

Universidade da Integração Latino Americana - UNILA, Foz do Iguaçu, PR  
*eposan@gmail.com*

**Carla Adriana Pizarro Schmidt**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Medianeira, PR  
*carlaschmidt@utfpr.edu.br*

**Resumo:** Este trabalho teve como objetivo desenvolver um modelo computacional para simular a dinâmica operacional de um pequeno restaurante universitário do tipo *self-service*. O sistema real modelado está localizado no Campus Medianeira da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O modelo do tipo dinâmico, discreto e estocástico foi desenvolvido utilizando o *software* Arena®. Como parâmetro de comparação entre os dados obtidos a partir do sistema e gerados pelo modelo foi selecionado a variável tempo de espera na fila da balança. Para a validação do modelo foi utilizado análise de variância com 1% de significância. Não foram detectadas diferenças estatísticas entre os valores obtidos do sistema real e os gerados pelo modelo. Considerando-se esta e outras análises, foi concluído que o modelo aplica-se à finalidade para o qual foi desenvolvido.

Recebido em 30/07/2012 - Aceito em 07/02/2013.

---

RECEN 14(2) p. 305-320 jul/dez 2012 DOI: 10.5935/RECEN.2012.02.08

**Palavras-chave:** Arena®; simulação computacional; sistemas de serviço restaurante universitário.

**Abstract:** The proposal of this work is to develop a computational model for simulating the operational dynamics of a small university restaurant which works based on self-service condition. The real system modeled is located in Medianeira, campus of the Technological Federal University of Paraná. The model presented a dynamic, discrete and stochastic style and was developed using the software Arena®. It was selected the variable wait time in the queue balance as a parameter of comparison between the data obtained from the system and generated by the model. To validate the model it was used the analysis of variance with 1% of significance. No statistical differences were found between the values obtained from the real system and those generated by the model. Considering this and other analyzes, it was concluded that the model fits the purpose for which it was designed.

**Key words:** Arena®; computational simulation; service systems; university restaurant.

## 1 Introdução

O restaurante *self-service* é um dos empreendimentos alimentícios característico do mundo moderno. Vivendo a correria diária dos grandes centros urbanos, os consumidores estão exigindo comida pronta, variada, nutritiva, bem elaborada, na quantidade escolhida, servida em ambiente confortável e com preço acessível.

De origem inglesa, a palavra *self-service* significa auto-serviço, dispensando o atendimento prestado por garçons. O sistema de pesagem utilizado nos restaurantes *self-services* por quilo tem conquistado a simpatia do consumidor, permitindo ao cliente escolher os alimentos para sua refeição, na quantidade desejada [1].

Em centros universitários, esse tipo de restaurante é predominante. Entretanto, na maioria das vezes, esses empreendimentos tendem a apresentar filas, uma vez que

a chegada dos clientes ocorre em grupos em um curto espaço de tempo. As técnicas tradicionais da teoria das filas são difíceis de aplicar nesse contexto e requer-se o uso de simulação para obter-se medidas de desempenho apropriadas.

O fenômeno de formação de filas já é rotineiro na vida atual, ocorre em diversas aplicações, como uma peça esperando para ser lixada ou polida (na indústria), um avião esperando para decolar (em um aeroporto), um programa de computador esperando para ser executado, e, é claro, uma fila de seres humanos esperando serviço [2].

As filas se formam em decorrência do aumento dos consumidores e da incapacidade do sistema em atender a essa demanda. Assim, através de técnicas de simulação, busca-se encontrar um ponto de equilíbrio que satisfaça os clientes e seja viável economicamente para o provedor do serviço [3, 4].

A simulação é uma técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento de um sistema, usando um computador digital [5]. A simulação de um modelo permite entender a dinâmica de um sistema assim como analisar e prever o efeito de mudanças que se introduzam nele. É uma representação próxima da realidade, e será tanto mais real quanto mais características significativas do sistema seja capaz de representar. Por outro lado, o modelo deve ser simples, de forma que não se torne demasiado complexo para se construir, mas ao mesmo tempo o modelo deve ser o mais fiel possível ao sistema real [6].

Diante do exposto, este trabalho teve por objetivo implementar um modelo computacional, para simular a dinâmica operacional de um pequeno restaurante universitário do tipo *self-service*.

## 2 Fundamentação teórica

A simulação tem sido cada vez mais aceita e empregada como uma técnica que permite aos analistas dos mais diversos segmentos verificarem ou encaminharem soluções com a profundidade desejada, aos problemas com os quais lidam diariamente. A simulação computacional permite que estudos sejam realizados sobre sistemas que ainda não existem, levando ao desenvolvimento de projetos eficientes antes que qualquer mudança física tenha sido iniciada [7].

Existem duas etapas para o estudo de simulação de sistemas [8]. Na primeira, o analista deve construir um modelo, fornecer alguns dados e obter outros que sejam idênticos ao sistema que está sendo estudado. A segunda consiste na mudança do modelo, para que, com base nos resultados obtidos, realizem-se análises, gerando recomendações e conclusões. O uso da simulação deve ser considerado quando uma ou mais das condições abaixo existirem [9]:

- Não há formulação matemática completa para o problema;
- não há solução analítica para o problema;
- a obtenção de resultados é mais fácil de alcançar com a simulação do que com o modelo analítico;
- não existe habilidade pessoal para a resolução do modelo matemático por técnicas analíticas ou numéricas;
- é necessário observar o processo desde o início até os resultados finais, mas não necessariamente detalhes específicos;
- a experimentação no sistema real é difícil ou até mesmo impossível;
- é interessante observar longos períodos de tempo ou alternativas que os sistemas reais ainda não possuem.

As principais vantagens da simulação advêm do fato que um modelo criado pode ser utilizado inúmeras vezes, o qual não depende da disponibilidade do sistema real para a realização de ensaios, nem incorre em custos para executar os experimentos [10]. Também pode conter simplificações com relação aos sistemas reais, para que facilitem a modelagem e torne mais fácil a compreensão dos parâmetros abordados, desde que os elementos desprezados não interajam com os parâmetros estudados com relação aos resultados a serem avaliados. A simulação é mais fácil de aplicar que os modelos analíticos, que por sua vez devem ainda ser muito simplificados, para tornarem-se viáveis matematicamente. Por fim, podem ser quase tão detalhados como os sistemas reais, permitindo realizar ensaios num cenário muito similar ao

real sem o ônus e o desgaste de ter de interferir na rotina dos sistemas reais. Permite também um estudo detalhado de todas as operações e características do sistema.

A construção de modelos exige treinamento e experiência prévia e nem sempre a variabilidade de um sistema é bem captada e modelada, podendo levar a resultados equivocados [10]. Entretanto, algumas soluções, tais como introdução de geradores de números aleatórios, podem ajustar o modelo de forma a representar bem a variabilidade. Ainda, destacam que a construção de modelos consome muito tempo. Tentativas de reduzir esse tempo por via de simplificação do modelo podem levar a resultados insatisfatórios.

Inicialmente, os sistemas de simulação foram desenvolvidos sobre linguagens de programação de propósito geral, tais como: Fortran, Basic, Pascal, etc. Porém, isso exigia um grande esforço para construção de modelos, além de profissionais com conhecimentos profundos de programação de computadores. Diante dessa dificuldade, é que começaram a surgir linguagens de programação, dedicadas à simulação, que superassem essa barreira. É o caso, por exemplo, das linguagens Gpss, Siman, Slam, Simscript, etc. Tais linguagens eram, na verdade, bibliotecas formadas por conjuntos de macro comandos das linguagens de propósito gerais. Alguns dos simuladores da geração seguinte foram desenvolvidos sobre a plataforma dessas linguagens. Como exemplo, tem-se o *software* Arena<sup>®</sup>, implementado na linguagem Siman [11, 12].

Dentre os pacotes de simuladores pesquisados, para realizar a simulação do sistema de atendimento do restaurante universitário, optou-se por utilizar, neste trabalho, o *software* Arena<sup>®</sup>, da *Rockwell Software Corporation*, por ser um dos *softwares*, de simulação discreta, mais utilizado no mundo empresarial e acadêmico.

O Arena<sup>®</sup> é um ambiente gráfico integrado de simulação, que contém inúmeros recursos para modelagem, animação, análise estatística e análise de resultados. A plataforma de simulação Arena<sup>®</sup> possui as seguintes ferramentas [10]:

- (i) Analisador de dados de entrada (*Input Analyzer*);
- (ii) Analisador de resultados (*Output Analyzer*);
- (iii) Analisador de processos (*ProcessAnalyzer*).

Na figura 1, apresenta-se o *layout* da animação do modelo do restaurante universitário, desenvolvido neste trabalho, utilizando-se os recursos do *software* Arena®.



Figura 1. Layout da animação do modelo

Este *software* é composto por um conjunto de blocos (ou módulos) utilizados para se descrever uma aplicação real e que funcionam como comandos de uma linguagem de programação. Os elementos básicos da modelagem em Arena® são as entidades que representam as pessoas, objetos, transações, etc, que se movem ao longo do sistema; as estações de trabalho que demonstram onde será realizado algum serviço ou transformação e, por fim, o fluxo que representa os caminhos que a entidade irá percorrer ao longo de estações [13].

### 3 Materiais e métodos

O restaurante universitário, objeto deste estudo, oferta refeições servidas, no sistema *self-service* por peso, compreendendo saladas, pratos quentes e sobremesas, incluindo o fornecimento de bebidas. Todas as operações correspondentes à preparação dos alimentos e sua disponibilização aos clientes, não farão parte do modelo desenvolvido, devido às dificuldades encontradas durante a coleta de dados. Deve-se destacar, também, que todas as operações de pegar bandeja, prato, guardanapos

e servir-se, foram consideradas com uma única operação, tanto na coleta de dados como na modelagem do sistema. O fluxograma do sistema em estudo é apresentado na figura 2.

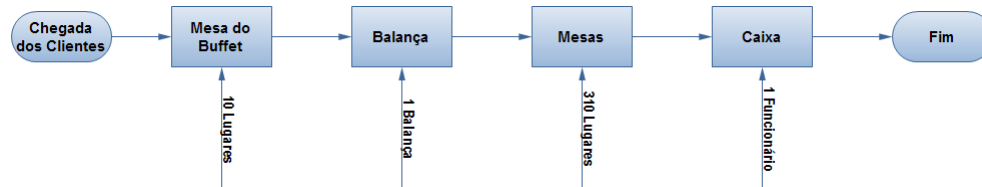


Figura 2. Fluxograma do sistema

O processo inicia-se no momento que os clientes chegam ao restaurante universitário. Na sequência, dirigem-se a mesa de *buffet*, com capacidade para 10 clientes ao mesmo tempo. A seguir, deslocam-se para estação de pesagem. Nesta, ocorre o pedido da bebida e a pesagem, através de uma balança eletrônica, dos alimentos que serão consumidos. Depois de pesar os alimentos, os clientes se deslocam para as mesas do restaurante. Após o almoço, alguns clientes se dirigem ao caixa para pagamento. Observa-se que, no momento da pesagem, os nomes dos clientes que pagam por mês, são anotados pelo funcionário que lhes atende na estação de pesagem.

Identificou-se, através de observação *in loco*, que o "gargalo" do sistema em estudo, está na capacidade de atendimento da mesa de *buffet*. Portanto, o sistema analisado se restringe ao fluxograma apresentado na figura 3.

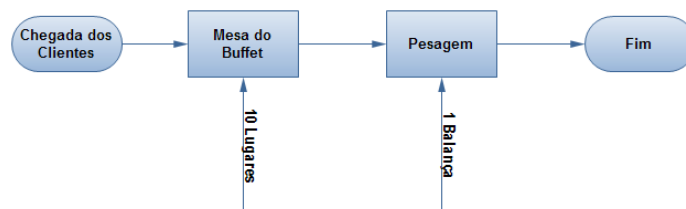


Figura 3. Fluxograma do sistema analisado

No planejamento da coleta de dados concluiu-se que seria necessário determinar as seguintes variáveis: tempo entre chegada dos clientes (Chegada); tempo que os clientes levam para servirem-se na mesa de *buffet* (*Buffet*) e tempo de atendimento na balança (*Balança*).

Chwif e Medina [14] determinaram que o tamanho da amostra deve estar entre 100 e 200 observações. Amostras com menos de 100 observações podem compro-

meter a identificação do melhor modelo probabilístico e amostras com mais de 200 observações não trazem ganhos significativos ao estudo. Neste trabalho foram coletadas, durante o horário de almoço, mais de 150 observações de cada uma das três variáveis em estudo.

Esses dados foram analisados com a ferramenta *Input analyzer* (analisador de dados de entrada) do *software* Arena<sup>®</sup>. Essa ferramenta permite analisar dados reais do funcionamento do processo e escolher a melhor distribuição estatística que se aplica a eles [8].

A simulação da dinâmica operacional do restaurante foi realizada com o *software* Arena<sup>®</sup>, e os resultados analisados nas ferramentas *Output Analyzer* e *Process Analyzer*.

### 3.1 Número de replicações

De uma maneira geral, a coleta de dados para a composição de uma amostra, a partir da simulação de um modelo, pode ser realizada de duas formas [9]:

1. Fazer uso das observações individuais dentro de cada replicação. Por exemplo, pode-se simular o modelo do restaurante e utilizar o tempo que cada cliente esperou na fila da mesa do *buffet*, para realizar uma estimativa do tempo médio de espera na fila. Nesse caso, o tamanho da amostra será igual à quantidade de clientes que passaram pela fila ao longo do período simulado.
2. A segunda maneira de gerar a amostra é realizar  $n$  simulações (replicações). Assim, cada replicação gera um elemento para a amostra. Uma vez que se está lidando com um sistema terminal no qual as condições iniciais e o período de simulação são fixos, a melhor maneira de garantir que os valores da amostra sejam estatisticamente independentes é obtê-los a partir de replicações independentes.

Neste trabalho, o número de replicações ( $n^*$ ) foi obtido através da seguinte expressão:

$$n^* = n \times \left(\frac{b}{b^*}\right)^2 \quad (3.1)$$



em que:  $n$  - número de replicações já realizadas;  $b$  - semi-intervalo de confiança já obtido; e  $b^*$  - semi-intervalo de confiança desejado.

### 3.2 Validação do modelo

A validação tem por objetivo proceder a comparação de valores de variáveis geradas pelo modelo com os obtidos do sistema real [15]. 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 [16]:

$$SE = \sqrt{\frac{(SR - MD)^2}{GLR}} \quad (3.2)$$

em que: SE - erro médio estimado; SR - valor obtido a partir do sistema real; MD - média dos valores gerados pelo modelo; e GLR - grau de liberdade considerando o número de replicações do modelo.

A análise de variância é um teste estatístico amplamente difundido entre os analistas, e visa fundamentalmente verificar se existe uma diferença significativa entre as médias de dois ou mais grupos [17].

## 4 Resultados e discussões

Na tabela 1, são apresentados os valores, da análise exploratória, dos dados coletados no restaurante.

*Tabela 1. Análise exploratória dos dados coletados no restaurante*

Parâmetro analisado	Chegada	Buffet	Balança
Média	13,01s	124,69s	9,16s
Mediana	8,02s	115,70s	8,00s
1 Quartil(Q <sup>1</sup> )	2,09s	91,00s	6,06s
3 Quartil(Q <sup>3</sup> )	18,00s	152,10s	12,00s
Desvio Padrão	13,17s	50,21s	3,88s
Coefficiente de Variação	105,86%	40,27%	42,41%

Observa-se, através dos dados apresentados na tabela 1, que a variável Tempo no *Buffet* apresentou a maior mediana e a maior média entre os dados coletados no

restaurante. Já os coeficientes de variação (105,86%, 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 análise de correlação entre os dados, ou seja, verificou se há dependência entre os valores das amostras. Na figura 4, é apresentado, como exemplo, o gráfico de dispersão do tempo entre a chegada dos clientes no restaurante. Nessa figura, pode-se comprovar que não há correlação entre as observações da amostra.

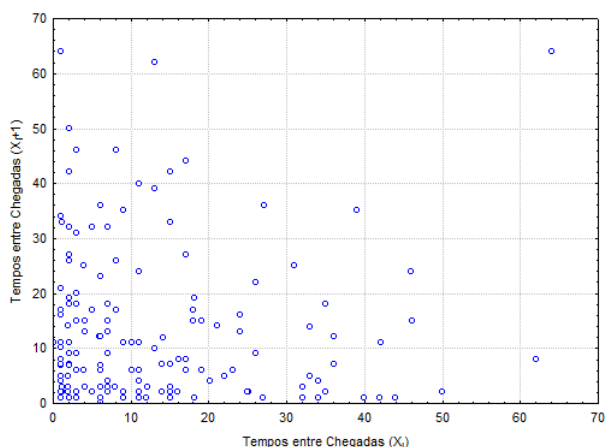


Figura 4. Gráfico de dispersão – Tempos entre chegadas de clientes

#### 4.1 Tratamento de dados

Inicialmente, os dados foram plotados em forma de *boxplots* (Figura 5) para uma análise preliminar do comportamento das observações.

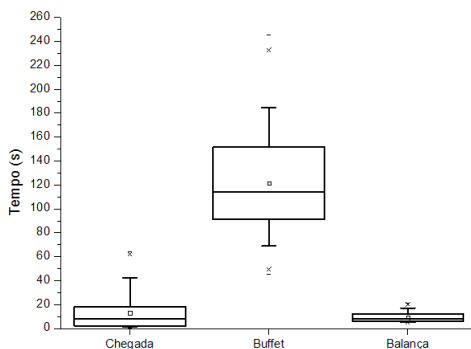


Figura 5. Boxplots dos tempos coletados no sistema

A seguir, aplicou-se a técnica de identificação de *outliers* (valores fora da normalidade) apresentada na tabela 2 [18]. As razões mais comuns para o surgimento desses valores são os erros na coleta de dados ou eventos raros e inesperados. Os *outliers* considerados como extremos só foram descartados das amostras, depois de uma análise criteriosa de suas causas. Os valores julgados como possíveis de ocorrer foram mantidos nas amostras.

Tabela 2. Identificação de outliers

Outliers
$A = Q^3 - Q^1$
Valor $< Q^1 - 1,5A$ - Outlier Moderado
Valor $> Q^3 + 1,5A$ - Outlier Moderado
Valor $< Q^1 - 3,0A$ - Outlier Extremo
Valor $> Q^3 - 3,0A$ - Outlier Extremo

Onde  $Q^1$  e  $Q^3$  são, respectivamente, os valores do primeiro e terceiro quartis. Assim, a amplitude entre inter-quartil “A” é calculada pela diferença:  $A = Q^3 - Q^1$ .

Após a utilização da técnica de identificação dos *outliers*, o passo seguinte foi determinar as curvas de distribuição teórica de probabilidades que melhor representem o comportamento estocástico do sistema em estudo, através da ferramenta *Input Analyzer* do Arena®. Como os *p-values* dos testes de aderência: teste Chi Square e do teste Kolmogorov-Smirnov são maiores que o nível de significância adotado (0,05), concluiu-se que as distribuições, apresentadas na tabela 3, são as expressões que melhor se adaptaram aos dados coletados no sistema.

Tabela 3. Distribuição de probabilidade

Itens	Distribuição	Chi Square	Kolmogorov Smirnov
Chegadas	WEIB(12.1, 0.936)	p-value = 0,582	p-value = 0,182
Buffet	45+366*BETA(2.24, 8.48)	p-value = 0,691	p-value = 0,632
Balança	6+EXPO(4.16)	p-value = 0,353	p-value = 0,734

## 4.2 Validação do modelo implementado

A comparação entre a média obtida do sistema real com a média gerada pelo modelo para a variável Tempo na Fila da Balança é apresentada na tabela 4. Nesta tabela apresenta-se, também, o erro médio estimado.

Tabela 4. Dados do sistema real e do modelo

Tempo na Fila da Balança		
Sistema Real	Modelo Computacional	Erro Médio Estimado
11,42	11,5± 0,7	0,014

Ao ser aplicado, a análise de variância, através da ferramenta de análise de dados do Microsoft Excel (Tabela 5), a 1% de significância, na comparação da média obtida a partir do sistema real e a gerada pelo modelo de simulação, para a variável Tempo na Fila da Balança, não foram constatadas diferenças estatísticas. Pode-se observar, através dos dados apresentados na tabela 5, que  $F_0$  é menor que  $F_{\text{crítico}}$  ( $F_0=0,00497$  enquanto  $F_{\text{crítico}}=7,011399$ ).

Tabela 5. Análise de variância

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	$F_0$	valor-P	$F_{\text{crítico}}$
Linhas	1075,93	70	15,37043	0,869797	0,71946	1,753665
Colunas	0,087823	1	0,087823	0,00497	0,943999	7,011399
Erro	1236,99	70	17,67129			
Total	2313,08	141				

Considerando as discussões apresentadas, pode-se afirmar que o modelo computacional presta-se para os objetivos propostos neste trabalho.

### 4.3 Simulação de cenários

Para analisar o sistema em estudo, foram construídos quatro cenários:

- Cenário 1: Mesa de *buffet* para 8 Lugares;
- Cenário 2: Mesa de *buffet* para 10 Lugares (Sistema Atual);
- Cenário 3: Mesa de *buffet* para 12 Lugares;
- Cenário 4: Mesa de *buffet* para 14 Lugares.

Nas tabelas 6 e 7, apresentam-se os resultados obtidos, da simulação do sistema em estudo, para os quatro cenários. Observa-se que os resultados foram obtidos

após 40 replicações. Esse número de replicações foi definido, com nível de confiança de 95%, utilizando a ferramenta *Output Analyzer* do Arena®.

A tabela 6 e a figura 6 apresentam os valores máximos obtidos de simulação da fila do *buffet*.

*Tabela 6. Resultados da simulação - Fila do Buffet*

Cenários	Buffet	Balança	Fila Buffet (Clientes)	Tempo Fila (s)
Cenário 1	8	1	54	631,39
Cenário 2	10	1	20	218,34
Cenário 3	12	1	9	85,8
Cenário 4	14	1	6	46,41

Através dos resultados, apresentados na tabela 6, conclui-se, inicialmente, que o cenário 4 é o melhor cenário simulado. Pode-se, também, observar que o tempo (218,34s) e o número máximo de clientes na fila do buffet (20), para o cenário 2 (Cenário atual), são considerados altos, para o tempo de intervalo de almoço (12:00h às 13:00h).

A tabela 7 apresenta os valores máximos obtidos de simulação para a Fila da Balança.

*Tabela 7. Resultados da simulação - Fila da Balança*

Cenários	Buffet	Balança	Fila Balança (Clientes)	Tempo Fila (s)
Cenário 1	8	1	3,97	41,53
Cenário 2	10	1	5,6	54,23
Cenário 3	12	1	7,45	73,02
Cenário 4	14	1	10,25	101,91

Por meio dos resultados obtidos de simulação para a Fila da Balança, constata-se que um aumento na capacidade da mesa de *buffet* para 14 lugares é impraticável, devido ao pequeno espaço destinado, no restaurante, para essa fila (máximo de 8 clientes). Observa-se, pelos resultados apresentados na figura 6, que no cenário 3 foram atendidos 25 clientes a mais que no cenário 2 (cenário atual). Portanto, considerando os resultados apresentados nas tabelas 5 e 6 e na figura 6, pode-se afirmar que o cenário 3 é o melhor cenário simulado neste trabalho.

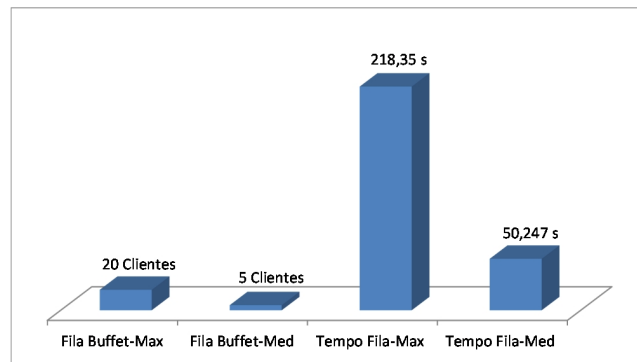


Figura 6. Resultados de simulação da fila do buffet

## 5 Conclusão

De acordo com os resultados das análises procedidas para a validação do modelo computacional desenvolvido, foi possível concluir que ele pode ser aplicado para simular a dinâmica operacional do restaurante.

Concluiu-se, também, por meio dos resultados obtidos de simulação, que a fila da mesa de *buffet* é o "gargalo" do sistema em estudo. O tempo máximo de espera e o número de clientes nessa fila são considerados altos para o tempo de intervalo de almoço. Observou-se, também, que o cenário 3, em relação ao cenário atual apresenta menos clientes na fila do buffet e um número maior de clientes atendidos. Nesse cenário, pensa-se desnecessária qualquer mudança relacionada ao atendimento da balança. Portanto, sugere-se, como a melhor alternativa estudada, a utilização de uma mesa para 12 lugares para atender os clientes do restaurante no intervalo de almoço.

A aplicação da simulação computacional gerou um conhecimento adicional à cerca do processo para todos os envolvidos e possibilitou, também, a identificação de oportunidades de melhora para o sistema de atendimento aos clientes do restaurante.

## 6 Referências

- [1] SENAI Restaurante *self-service*. Rio de Janeiro: SENAI, 2010.

- [2] BARBOSA, R. A. A modelagem e análise do sistema de filas de caixas de pagamento em uma drogaria: Uma aplicação da teoria das filas. In: XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Salvador: ENEGEP, 2009.
- [3] ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. Pesquisa Operacional. 6<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- [4] SAKURADA, N.; MIYAKE, D. I. Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistemas de operações de serviços. *Gestão da Produção*, v. 16, n. 1, p. 25-43, 2009.
- [5] BANKS, J. Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications and practice. New York: John Wiley & Sons, 1998.
- [6] FERNANDES, C. A.; SILVA, L. C.; PEREIRA, J. O.; YAMAGUCHI, M. M. Simulação da dinâmica operacional de uma linha industrial de abate de suínos. *Cienc Tecnol Aliment*, v. 26, n.1, p. 166-170, 2006.
- [7] RYAN, J.; HEAVEY, C. Process modeling for simulation. *Comput Ind.* v. 57, p. 437-450, 2006.
- [8] PRADO, D. Teoria das Filas e da Simulação. v.2, 4<sup>a</sup> ed. Nova Lima: INDG - Tecnologia e Serviços LTDA, 2009.
- [9] FREITAS FILHO, P. J. Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena. Florianópolis: Visual Books, 2008.
- [10] LAW, A. M.; KELTON, W. D. Simulation modeling and analysis. New York: McGraw- Hill, 2000.
- [11] SÁNCHEA, P. J. Fundamentals of simulation modeling. In: Winter Simulation Conference. Washington, 2007.
- [12] SILVA, L. M. F.; PINTO M. G.; SUBRAMANIAN, A. Utilizando o *software* Arena como ferramenta de apoio ao ensino em engenharia de produção. In: XXVII ENEGEP. Florianópolis, 2007.

- [13] KELTON, W. D.; SADOWSKI, R.P; SADOWSKI, D. A. Simulation with Arena. New York: McGraw-Hill, 1998.
- [14] CHWIF, L.; MEDINA, A. C. Modelagem e simulação de eventos discretos, teoria e aplicações. São Paulo: Brazilian Books, 2007.
- [15] SARGENT, R. G. Verification and validation of simulation models. In: *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, 1998.
- [16] MENNER, W. A. Introduction to modeling and simulation. New York: Johns Hopkins APL Technical Digest, 1995.
- [17] MONTGOMERY, D. C. Design and Analysis of Experiments. New York: Wiley, 2005.
- [18] MORROCO, J. Análise estatística de dados – com utilização do SPSS, Lisboa: Sílabo, 2003.
- [19] PRADO, D. Usando o ARENA em simulação. v.3, 4<sup>a</sup> ed. Nova Lima: INDG – Tecnologia e Serviços LTDA, 2010.