



HOLOS

ISSN: 1518-1634

holos@ifrn.edu.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Rio Grande do Norte
Brasil

SANTOS, J. A. A.; ALVES, R.
MODELAGEM, SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DA DINÂMICA OPERACIONAL DE UM
PEQUENO RESTAURANTE: UM ESTUDO DE CASO
HOLOS, vol. 4, 2014, pp. 375-386
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Natal, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=481547173032>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

MODELAGEM, SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DA DINÂMICA OPERACIONAL DE UM PEQUENO RESTAURANTE: UM ESTUDO DE CASO

J. A. A.SANTOS e R. ALVES

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
airton@utfpr.edu.br

Artigo submetido em setembro/2012 e aceito em julho/2014

DOI: 10.15628/holos.2014.1099

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar, através de técnicas de simulação e de otimização, a dinâmica operacional de um restaurante self-service. O sistema real modelado está localizado no Câmpus Medianeira da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O modelo do tipo dinâmico, discreto e estocástico foi implementado no software Arena®. Como parâmetro de comparação entre os dados obtidos a partir do sistema e gerados pelo modelo foi selecionada a variável tempo na

fila da balança. Na validação do modelo, por meio de análise de variância a 1% de significância, não foram detectadas diferenças estatísticas entre os valores obtidos do sistema real e os gerados pelo modelo. Os resultados obtidos de simulação-otimização demonstraram que, para melhorar o fluxo de clientes no restaurante, deve-se utilizar uma mesa de buffet com 12 lugares.

PALAVRAS-CHAVE: simulação, otimização, restaurante.

MODELING, SIMULATION AND OPTMIZATION OF THE A SMALL RESTAURANT OPERATIONAL DYNAMICS: A CASE STUDY

ABSTRACT

This work aims to analyze the operational dynamics of a self service restaurant, through simulation and optimization techniques. The modeled real system is located in Medianeira, in the campus of the Technological Federal University of Paraná. The model of the stochastic, discrete and dynamic type was implemented in the software Arena. As a contrasting parameter among the obtained data from the system and the ones generated

by the model it was selected the variable time in the balance queue. At the model validation, by means of the variance analysis to 1% of significance, there weren't detected statistics differences among the obtained values by the real system and the those generated by the model. The simulation-optimization results showed that it is recommended to use a buffet table with 12 seats to improve the customer flow in the restaurant.

KEYWORDS: simulation, optimization, restaurant.

1 INTRODUÇÃO

O restaurante *self-service* é um dos empreendimentos alimentícios característicos 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 (SENAI, 2010).

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 neste 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 (BANKS, 1998).

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 (ARENALES, 2007).

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®, implementado na linguagem Siman (KELTON; SADOWSKI; SADOWSKI, 1998).

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. Existem atualmente vários softwares que permitem a realização da otimização a partir de uma simulação, dentre eles pode-se citar: AutoStat, OptQuest, OPTIMIZ, SimRunner® e WITNESS Optimizier. Os mesmos fazem parte de pacotes comerciais onde também está incluso o módulo de simulação (HARREL, 2000).

A combinação entre simulação e otimização faz com que as respostas sejam mais eficientes, possibilitando uma melhor tomada de decisão.

A pesquisa é caracterizada como um processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico, cujo objetivo fundamental é descobrir resposta para problemas mediante o emprego de procedimentos científicos (GIL, 2002). Esta pesquisa utilizou dois métodos de pesquisa: 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.

Diante do exposto, este trabalho teve por objetivo analisar através de técnicas de simulação e otimização a dinâmica operacional de um pequeno restaurante universitário do tipo *self-service*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O restaurante universitário, objeto deste estudo, oferta refeições servidas a peso, no sistema *self-service*, 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 1.

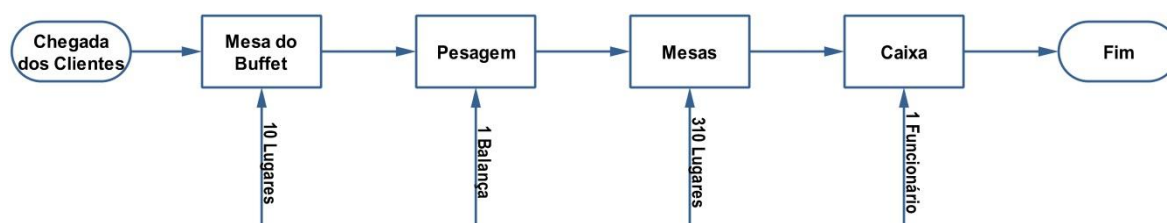


Figura 1 – Fluxograma do sistema.

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 estação acontece o pedido da bebida e a pesagem, através de uma balança eletrônica, dos alimentos que serão consumidos. Observa-se que as operações de pesagem e entrega da bebida foram consideradas com uma única operação tanto na coleta de dados como na modelagem do sistema. 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 atende na estação de pesagem.

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 2.

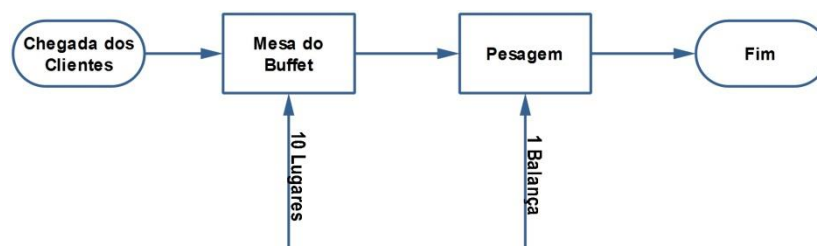


Figura 2 – Fluxograma do sistema analisado.

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).

Estes dados foram analisados com a ferramenta *Input analyzer* (analisador de dados de entrada) do software Arena®. Segundo Prado (2010) esta ferramenta permite analisar dados reais do funcionamento do processo e escolher a melhor distribuição estatística que se aplica a eles.

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

2.1 Número de Replicações

Segundo Freitas (2008), 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:

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. Neste 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 estamos 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 (PRADO, 2010):

$$n^* = n \times \left(\frac{h}{h^*} \right)^2 \quad (1)$$

onde:

n - número de replicações já realizadas;

h - semi-intervalo de confiança já obtido; e

h^* - semi-intervalo de confiança desejado.

2.2 Validação do Modelo

A validação tem por objetivo proceder à comparação de valores de variáveis geradas pelo modelo com os obtidos do sistema real (SARGENT, 1998). 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):

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

onde:

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 (MONTGOMERY, 2005).

Tamanho da amostra

O tamanho de cada uma das três amostras, cronometradas neste trabalho, foi obtida, para um nível de confiança de 95%, através da seguinte expressão (MARROCO, 2003):

$$n_A = \left(\frac{Z_{\alpha/2} \times S}{E} \right)^2 \quad (3)$$

onde:

n_A - número de indivíduos da amostra;

$Z_{\alpha/2}$ - valor crítico que corresponde ao grau de confiança desejado;

S - desvio padrão;

E - erro máximo estimado.

2.3 O Otimizador - *Optquest*

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.

O Arena traz integrada a ferramenta de otimização *OptQuest for Arena*, que é instalada como uma das ferramentas disponíveis (um *Add-in*), da mesma forma que acontece com o *Input Analyzer*.

O otimizador possui três elementos fundamentais para a definição do problema de otimização (FU, 2002):

Controles: são os parâmetros (variáveis e/ou recursos) do modelo de simulação que serão controlados a fim de verificar que efeitos estes exercem sobre o desempenho do sistema;

Restrições: são os limites, relações entre as variáveis de controle e/ou as variáveis de respostas do modelo, que restringem o espaço solução a ser investigado;

Objetivos: são as funções objetivo, definidas sobre as variáveis de resposta escolhidas pelo usuário.

Durante o processo de otimização:

1. O otimizador alimenta uma solução potencial no modelo de simulação ajustando os valores de controle.
2. O simulador roda a simulação para avaliar a solução potencial.
3. O otimizador verifica os valores das variáveis de resposta resultantes da corrida de simulação.
4. Se otimizador for ajustado para múltiplas replicações por simulação, ele:
 - Instrui o simulador para rodar cada replicação com a mesma solução (mesmo conjunto de valores para os controles).
 - Verifica os valores de resposta.
 - Repete este ciclo até que o número especificado de replicações tenha sido rodado.
 - Calcula a média dos valores de resposta obtidos para o conjunto de replicações. Este conjunto de replicações representa uma simulação.
5. O otimizador analisa os resultados da simulação e usa seus procedimentos de busca inteligente (meta-heurística) para gerar uma nova solução potencial, que é então enviada ao simulador.

Este processo se repete para múltiplas simulações. O objetivo final é encontrar a solução que otimize (maximize ou minimize) o valor da função objetivo definida para o problema.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

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	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
Coeficiente de Variação	98,17%	40,27%	42,41%

Observa-se, através dos dados apresentados na Tabela 1, que 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, ou seja, verificou se há dependência entre os valores das amostras. Na Figura 3 é apresentado, como exemplo, o gráfico de dispersão dos tempos entre chegadas dos clientes no restaurante. Nessa figura pode-se comprovar que não há correlação entre as observações da amostra.

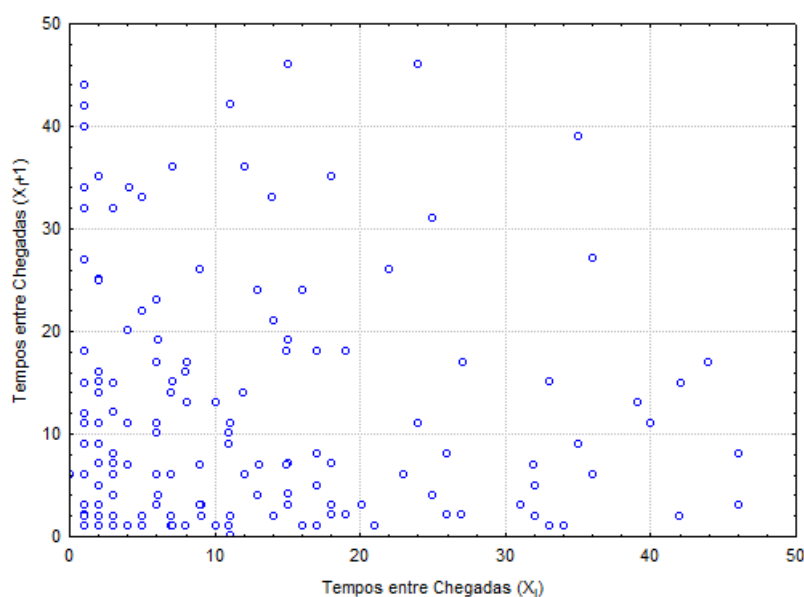


Figura 3 - Gráfico de dispersão – Tempos entre chegadas de clientes (TEC).

3.1 Tratamento de Dados

Inicialmente, os dados foram plotados em forma de *boxplots* (Figura 4) para uma análise preliminar do comportamento das observações. A seguir, aplicou-se a técnica de identificação de *outliers* (valores fora da normalidade) apresentada na Tabela 2 (MARROCO, 2003). 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.

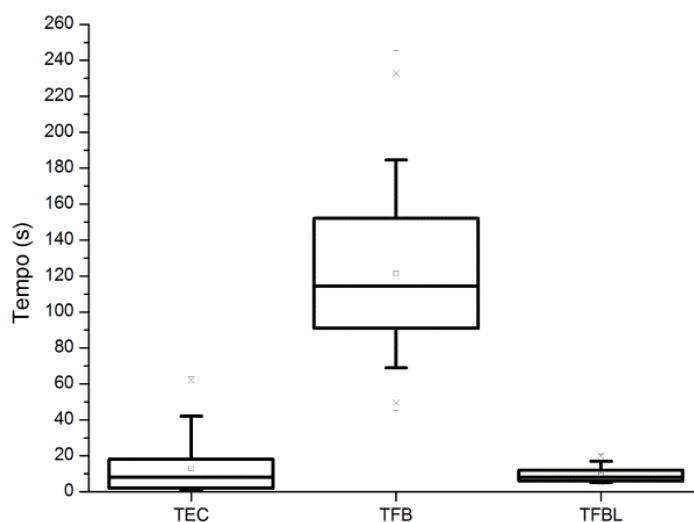


Figura 4 - Boxplots dos tempos coletados no sistema.

Tabela 2: Identificação de *outliers*

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

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) (CHWIF; MEDINA, 2007), 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
TEC	EXPO(11.9)	<i>p-value</i> =0,524	<i>p-value</i> =0,07
TFB	45+366*BETA(2.24,8.48)	<i>p-value</i> =0,691	<i>p-value</i> =0,632
TFBL	6+EXPO(4.16)	<i>p-value</i> =0,353	<i>p-value</i> =0,734

3.2 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 (TQB) são apresentados 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 - TQB		
Sistema Real	Modelo Computacional	Erro Médio Estimado
11,42	11,54±0,6	1,4%

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 das 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 $F_{\text{crítico}}$ ($F_0 = 0,027072$ 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	1078,02	70	15,4002	0,86994	0,71924	1,75367
Colunas	0,47925	1	0,47925	0,02707	0,86978	7,0114
Erro	1239,19	70	17,7028			
Total	2317,69	141				

SQ: Soma dos quadrados; gl: Graus de liberdade; MQ: Quadrado médio.

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

3.3 Simulação

A Tabela 6 apresentam os valores máximo (Max) e médio (Med) obtidos de simulação da fila do buffet para o cenário atual (Capacidade da mesa de Buffet de 10 lugares e 1 balança). Observa-se que os resultados foram obtidos após 40 replicações. Este número de replicações foi definido, com nível de confiança de 95%, utilizando a ferramenta *Output Analyzer* do Arena®.

Tabela 6: Resultados da simulação – Fila do *Buffet*

Fila do <i>Buffet</i>		
Cientes - Fila <i>Buffet</i> (Max)	Cientes - Fila <i>Buffet</i> (Med)	Tempo Fila (s) (Max)
23,0	5,17	244,1

Através dos resultados, apresentados na Tabela 6, pode-se observar que o tempo máximo de espera na fila (244,1 segundos) e o número máximo de clientes na fila do buffet (23 clientes) são considerados altos, para o intervalo de almoço.

A Tabela 7 apresenta os valores médios (Med) e máximos (Max) obtidos de simulação da Fila da Balança.

Tabela 7 – Resultados da simulação – Fila da Balança

Fila da Balança		
Cientes - Fila Balança (Max)	Cientes - Fila Balança (Med)	Tempo Fila (s) (Med)
5,0	1,0	55,8

Através dos resultados, obtidos de simulação para Fila da Balança, constata-se que o número médio de clientes na fila é considerado baixo para os cenários simulados. Observa-se, também, que o número máximo de clientes na fila é compatível com o espaço destinado, no restaurante, para a fila da balança (máximo de 8 clientes).

3.4 Otimização

Depois do sistema simulado para o cenário atual, otimizou-se a capacidade da mesa de buffet através da ferramenta *Optquest* do programa Arena.

O problema foi definido da seguinte forma:

Função Objetivo:

Minimizar o número de clientes na fila do buffet (Fila Buffet).

Restrições:

- i. Capacidade da mesa de buffet ≤ 14 lugares.
- ii. Número máximo de clientes na fila da balança ≤ 8 .

Variáveis de controle:

- i. Capacidade da mesa de buffet.

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 Tabela 8.

Tabela 8: Resultados da otimização do modelo

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

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.

4 CONCLUSÕES

Neste trabalho apresentou-se os conceitos utilizados na implementação de um modelo computacional para o restaurante universitário, do tipo *self-service*, localizado no Câmpus Medianeira da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

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

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.

Concluiu-se também, através dos resultados de simulação-otimização obtidos do modelo, que para reduzir o número de clientes, na fila do buffet no horário do almoço, deve-se utilizar uma mesa com capacidade para 12 lugares,

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 melhorar o sistema de atendimento aos clientes, do restaurante estudado.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARENALES, M. **Pesquisa Operacional**. 6. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. 524 p.

2. BANKS, J. **Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and Practice**. New York: John Wiley & Sons, 1998.
3. CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos, teoria & aplicações**. São Paulo: Brazilian Books, 2007.
4. FERNANDES, C. A.; SILVA, C. S.; PEREIRA, J. O. Yamaguchi, M. M. Simulação da Dinâmica Operacional de uma Linha Industrial de Abate de Suínos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.26, 166-170, 2006.
5. FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena**. Florianópolis: Visual Books, 2008.
6. FU, M. C. Optimization for Simulation: Theory vs. Practice. **Journal on Computing**, vol. 14, n 3, 2002.
7. GIL, A. C. **Como elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
8. HARREL, C. R **Simulation Using ProModel®**. New York: McGraw-Hill, 2000.
9. KELTON, W. D.; SADOWSKI, R.P; SADOWSKI, D. A. **Simulation with arena**. New York: McGraw-Hill, 1998.
10. MENNER, W. A. **Introduction to modeling and simulation**. New York: JohnsHopkins APL Technical Digest, 1995.
11. MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments**. New York: Wiley, 2005.
12. MARROCO, J. **Análise estatística de dados – com utilização do SPSS**. Lisboa: Sílabo, 2003.
13. PRADO, D. **Usando o ARENA em simulação**. v.3, 4ed. Nova Lima: INDG - Tecnologia e Serviços LTDA, 2010. 307 p.
14. SARGENT, R. G. Verification and validation of simulation models. In: Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, 1998.
15. SENAI **Restaurante Self-Service**. Rio de Janeiro: Senai, 2010.
16. YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2001.