

**Universidade Estadual de Maringá**  
**Centro de Tecnologia**  
**Departamento de Informática**  
**Curso de Engenharia de Produção**

**Análise do Fluxo de Atendimento dos Usuários do  
Restaurante Universitário UEM - Simulação Dinâmica**

*Pedro Siqueira de Almeida Junior*

**TCC-EP-48-2009**

Universidade Estadual de Maringá  
Centro de Tecnologia  
Departamento de Informática  
Curso de Engenharia de Produção

**Análise do Fluxo de Atendimento dos Usuários do  
Restaurante Universitário UEM – Simulação Dinâmica**

*Pedro Siqueira de Almeida Junior*

**TCC-EP-48-2009**

Monografia apresentada como requisito de avaliação no curso de graduação em Engenharia de Produção na Universidade Estadual de Maringá – UEM.

Orientador: *Prof.: Dr. Manoel Francisco Carreira*

**Maringá - Paraná  
2009**

“No que diz respeito ao desempenho, ao compromisso, ao esforço, à dedicação, não existe meio termo. Ou você faz uma coisa bem-feita ou não faz.”

Ayrton Senna

## AGRADECIMENTOS

A Deus que em todos os momentos sempre esteve a me conduzir em caminhos de paz, mesmo nos momentos mais difíceis, nunca me abandonou cuidando dos menores detalhes em minha existência.

Aos meus pais Pedro (*in memoriam*) e Terezinha por me educar e me ensinar o caminho da verdade.

Aos meus tios Iliano e Claudia, que me acolheram muito bem durante o curso, me incentivaram, ajudaram em todos os aspectos e contribuíram que este sonho se tornasse uma realidade.

A minha irmã Fabiana por ser uma pessoa com as quais aprendi muitas coisas nos mais importantes instantes de minha vida.

A toda minha família em geral, destacando o meu primo João Paulo Sant' Anna Junior, uma pessoa que tenho como exemplo a seguir pela luta, determinação, dedicação e pela colaboração na época que estudava para o vestibular.

Ao professor Dr. Manoel por sua ajuda, orientação e, sobretudo sua paciência.

A todo o corpo docente do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Estadual de Maringá.

Finalmente a todos os colegas pela paciência, atenção e grande ajuda.

Muito obrigado a todos.

## RESUMO

Este trabalho aborda os princípios de simulação dinâmica utilizando o software Rockwell Arena 12 para auxiliar o processo de tomada de decisão e identificação de problemas que apresentam dificuldades em se chegar a uma solução sem auxílio de ferramentas complementares. O estudo de caso proposto envolve a utilização do software Arena para avaliar diversos cenários com o uso da técnica de simulação, buscando resolver o problema do tamanho da fila no Restaurante Universitário de Maringá. Após o entendimento do sistema e identificação de todas as variáveis envolvidas nos processos criam-se vários modelos, estes modelos re representam virtualmente o comportamento de todos os processos envolvidos no atendimento aos usuários do Restaurante Universitário. Os processos obedecem a distribuições estatísticas, definindo assim o comportamento de cada funcionário.

Com a criação dos modelos, eles passam por um processo de validação e verificação para identificar erros e inconsistências durante o processo de modelagem, então se inicia a simulação, com esta é possível estabelecer comparações entre os resultados obtidos em cada modelo e por fim chegar a uma conclusão sobre o problema identificado nas filas. Ao final são apresentados os resultados e conclusões sobre este trabalho.

**Palavras-chaves:** *Modelagem, Simulação Dinâmica, Softwares Arena.*

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE QUADROS.....</b>	<b>x</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>xi</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....</b>	<b>xii</b>
<b>LISTA DE SIMBOLOS.....</b>	<b>xii.</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	2
1.2 DELIMITAÇÃO E LIMITAÇÃO DO PROBLEMA.....	2
1.3 OBJETIVOS.....	2
1.3.1 <i>Objetivo geral</i> .....	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	2
1.4 SEQUÊNCIA LÓGICA DO TRABALHO .....	3
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
2.1 MODELO .....	6
2.1.1 <i>Classificação dos modelos</i> .....	7
2.2 ETAPAS DE CRIAÇÃO DE UM MODELO PARA SIMULAÇÃO.....	9
2.2.1 <i>Formulações e Análise do Problema</i> .....	9
2.2.2 <i>Planejamento do Projeto</i> .....	9
2.2.3 <i>Formulações do Modelo Conceitual</i> .....	9
2.2.4 <i>Coletas de Macro-Informações e Dados</i> .....	10
2.2.5 <i>Traduções do modelo</i> .....	10
2.2.6 <i>Verificação e Validação</i> .....	11
2.2.7 <i>Projeto Experimental</i> .....	11
2.2.8 <i>Interpretações e Análises Estatísticas dos Resultados</i> .....	11
2.2.9 <i>Comparações de Sistemas e Identificação das melhores soluções</i> .....	12
2.2.10 <i>Documentação</i> .....	12
2.2.11 <i>Apresentação dos Resultados Implementação</i> .....	12
2.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA SIMULAÇÃO .....	13
2.4 TEORIA DAS FILAS .....	14
2.4.1 <i>Características dos modelos de filas</i> .....	15
2.5 MODELOS DE FILAS .....	16
2.5.1 <i>Sistemas M/M/1</i> .....	16
2.5.2 <i>Sistema M/M/c</i> .....	17
2.6 SOFTWARE ARENA .....	18
2.6.1 <i>Características Arena</i> .....	18
2.6.2 <i>Módulos do Arena</i> .....	20
2.6.3 <i>Input Analyzer</i> .....	21
2.7 COLETA DE DADOS PARA SIMULAÇÃO .....	24
2.7.1 <i>Coleta dos Dados</i> .....	24
2.7.2 <i>Verificação e validação dos dados</i> .....	25
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>27</b>
<b>4 CARACTERÍSTICAS DO ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>29</b>
4.1 RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO.....	29
4.2 COLETA DE DADOS .....	30
4.2.1 <i>Operacionalização do Restaurante</i> .....	31
<b>5 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS.....</b>	<b>35</b>
5.1 DADOS COLETADOS .....	35
5.2 TRATAMENTO DOS DADOS .....	38
5.2.1 <i>Informações importantes para interpretação dos resultados do Input Analyzer</i> .....	38

5.2.2 Resultados do Input Analyzer para venda de tickets .....	39
5.2.3 Resultados do Input Analyzer para fila do RU .....	40
<b>6 SIMULAÇÃO .....</b>	<b>42</b>
6.1 ATIVIDADES ENVOLVIDAS NA SIMULAÇÃO .....	42
6.2 CENÁRIO I .....	42
6.2.1 Resultados Cenário I .....	47
6.3 CENÁRIO II .....	50
6.3.1 Resultados Cenário II .....	51
6.4 CENÁRIO III .....	54
6.4.1 Resultados Cenário III .....	56
<b>7. CONCLUSÃO .....</b>	<b>60</b>
<b>8 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>62</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: REPRESENTAÇÃO ESQUEMA DE UM MODELO DE SISTEMA.....	5
FIGURA 2: EXEMPLO DE FILA M/M/1 .....	16
FIGURA 3: EXEMPLO DE FILA M/M/C.....	17
FIGURA 4: IMAGEM DA INTERFACE DO ARENA .....	19
FIGURA 5: MÓDULOS DO ARENA.....	20
FIGURA 6: MÓDULOS PARA CONTROLE ESTATÍSTICOS.....	20
FIGURA 7: MÓDULOS DO ARENA PARA CONTROLE DO MODELO .....	21
FIGURA 8: MÓDULOS DO ARENA PARA CONTROLE DE VARIÁVEIS.....	21
FIGURA 9: ANÁLISE DE ERRO PELO INPUT ANALYZER.....	22
FIGURA 10: VALIDAÇÃO E VERIFICAÇÃO DO MODELO.....	26
FIGURA 11: CALIBRAGEM DOS DADOS .....	26
FIGURA 12: PLANTA BAIXA DO RU .....	29
FIGURA 13: DEMONSTRATIVO FÍSICO DE 2008. ....	30
FIGURA 14: FLUXO DE ATIVIDADES NO ATENDIMENTO AOS USUÁRIOS.....	31
FIGURA 15: CLASSIFICAÇÃO PELA DEMANDA DAS PRINCIPAIS REFEIÇÕES SERVIDAS NO RU.....	32
FIGURA 16: FILA NO RU.....	32
FIGURA 17: ENTREGA DOS TICKETS E PASSAGEM PELA CATRACA .....	33
FIGURA 18: FUNCIONÁRIOS SERVINDO OS ACADÊMICOS .....	33
FIGURA 19: ACADÊMICOS NO REFEITÓRIO.....	34
FIGURA 20: VARIAÇÃO DO NÚMERO DE USUÁRIOS CHEGANDO PARA COMPRA DOS TICKETS POR MINUTO. ....	36
FIGURA 21: VALOR ACUMULADO DOS TICKETS VENDIDOS.....	36
FIGURA 22: VARIAÇÃO DO NUMERO DE USUÁRIOS ENTRANDO NA FILA POR MINUTO. ....	37
FIGURA 23: VALOR ACUMULADO DAS CHEDAS CHEGADAS DOS USUÁRIOS. ....	38
FIGURA 24: HISTOGRAMA DA VENDA DOS TICKETS E CURVA DE AJUSTE AOS DADOS ANALISADOS. ....	39
FIGURA 25: HISTOGRAMA DOS USUÁRIOS NA FILA DO RU E CURVA DE AJUSTE AOS DADOS ANALISADOS. ....	40
FIGURA 26: INTERVALO ENTRE CHEGADA NA COMPRA DOS TICKETS.....	43
FIGURA 27: VALORES DO PROCESSO DE VENDA DE TICKETS.....	43
FIGURA 28: INTERVALO ENTRE CHEGADA NA FILA DO RU .....	44
FIGURA 29: VALORES DO PROCESSO NA CATRACA .....	44
FIGURA 30: PROCESSO DE RETIRADA DA BANDEJA .....	45
FIGURA 31: PROCESSO FRUTA .....	45
FIGURA 32: PROCESSO SERVIR SALADA.....	46
FIGURA 33: PROCESSO SERVIR ARROZ E FEIJÃO.....	46
FIGURA 34: PROCESSO SERVIR MISTURA .....	47
FIGURA 35: NÚMERO DE USUÁRIOS NO SISTEMA .....	47
FIGURA 36: ANÁLISE DO TEMPO OCUPADO PELOS USUÁRIOS. ....	48
FIGURA 37: TEMPO MÉDIO DE ESPERA NAS FILAS .....	49
FIGURA 38: TAMANHO MÉDIO DAS FILAS .....	49

FIGURA 39: ÍNDICE DE OCUPAÇÃO DOS FUNCIONÁRIOS .....	50
FIGURA 40: INTERVALO ENTRE CHEGADA NA COMPRA DOS TICKETS.....	51
FIGURA 41: INTERVALO ENTRE CHEGADA NA FILA DO RU .....	51
FIGURA 42: NÚMERO DE USUÁRIOS NO SISTEMA .....	52
FIGURA 43: ANÁLISE DO TEMPO OCUPADO PELOS USUÁRIOS. ....	52
FIGURA 44: TEMPO MÉDIO DE ESPERA NAS FILAS .....	53
FIGURA 45: TAMANHO MÉDIO DAS FILAS .....	53
FIGURA 46: ÍNDICE DE OCUPAÇÃO DOS FUNCIONÁRIOS .....	54
FIGURA 47: ESTAÇÃO DE DECISÃO .....	55
FIGURA 48: ESTAÇÕES RETIRADA DAS BANDEJAS E FRUTAS.....	55
FIGURA 49: ESTAÇÕES SERVIR SALADA E FEIJÃO E ARROZ .....	56
FIGURA 50: ESTAÇÃO SERVIR MISTURA E SAÍDA .....	56
FIGURA 51: NÚMERO DE USUÁRIOS NO SISTEMA .....	56
FIGURA 52: ANÁLISE DO TEMPO OCUPADO PELOS USUÁRIOS. ....	57
FIGURA 53: TEMPO MÉDIO DE ESPERA NAS FILAS .....	58
FIGURA 54: TAMANHO MÉDIO DAS FILAS .....	58
FIGURA 55: ÍNDICE DE OCUPAÇÃO DOS FUNCIONÁRIOS .....	59

## LISTA DE QUADROS

<b>QUADRO 1: CLASSIFICAÇÃO DAS FILAS.....</b>	<b>16</b>
---	-----------

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1: USUÁRIOS QUE CHEGARAM POR MINUTO PARA COMPRA DOS TICKETS.....</b>	<b>35</b>
<b>TABELA 2: USUÁRIOS QUE CHEGARAM POR MINUTO NA FILA DO RU .....</b>	<b>37</b>

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

IC	Intervalo médio entre chegadas
NF	Número Médio de Clientes na Fila ( <i>Number Time</i> )
NS	Número Médio de Clientes no Sistema
RU	Restaurante Universitário
TA	Tempo Médio de Atendimento ou serviço ( <i>Process Time ou Delay Time</i> )
TF	Tempo Médio de Permanência na Fila ( <i>Waiting Time</i> )
TS	Tempo Médio de Permanência no Sistema
UEM	Universidade Estadual de Maringá

**LISTA DE SÍMBOLOS**

$c$  capacidade de atendimento ou quantidade de atendentes.

$\mu$  Ritmo médio de Atendimento de cada atendente.

$\lambda$  Ritmo Médio de Chegada.

$\rho$  Taxa de utilização do sistema corresponde

# 1 INTRODUÇÃO

Devido às novas condições de mercado em que todas as empresas estão inseridas e as dificuldades da conquista de novos espaços fizeram com que as empresas investissem em ferramentas de análise para identificar problemas em suas estruturas e em seus processos produtivos. As informações geradas são muito importantes, pois permitem que as empresas elaborem suas estratégias e possibilita que os principais problemas sejam facilmente resolvidos.

Esta não é uma tarefa tão simples, pois envolve muitas informações que devem ser identificadas, analisadas e quantificadas para auxiliar o processo de tomada de decisão. O avanço computacional permitiu o desenvolvimento de diversos softwares específicos para simulação, na qual cada um apresenta vantagens, desvantagens e custos diferentes.

Para Shannon (1992), a simulação é uma ferramenta que permite projetar o modelo de um sistema real e realizar experimentos com o mesmo, a fim de entender seu comportamento e avaliar estratégias para sua operação. Já Banks (1984), define a simulação como a imitação da operação de um processo ou sistema do mundo real. Para Freitas Filho (2001), a simulação consiste

na utilização de determinadas técnicas matemáticas, empregadas em computadores digitais, que permitem imitar o funcionamento de praticamente qualquer tipo de operação ou sistema do mundo real.

Segundo Silva (2006), a apresentação de um problema, para gerentes e clientes, utilizando um modelo de simulação, também tem maior credibilidade que outras ferramentas, como os métodos analíticos, por permitir a captura de detalhes da operação sem a necessidade de muitas simplificações e possibilitar, ainda, a comparação de seu comportamento frente ao sistema real.

Este trabalho apresenta os problemas do fluxo de atendimento aos usuários do Restaurante Universitário da Universidade Estadual de Maringá, na qual muitos usuários esperam longo tempo na fila até o atendimento. A técnica utilizada para solucionar este problema é a simulação de sistemas. A identificação das variáveis envolvidas no problema possibilita

elaborar um modelo, que descreve o comportamento do mundo real, podendo assim encontrar os fatores que minimizam o tempo de atendimento, entretanto considera-se que a principal função da UEM é o desenvolvimento de pesquisa e formação de alunos, logo o serviço oferecido pelo RU não é um serviço prioritário.

### **1.1 Justificativa**

O presente trabalho busca propor uma solução de gerenciamento das filas, tanto nos caixas de compra de tickets, como no atendimento da montagem das bandejas de refeição, melhorando a satisfação dos usuários do Restaurante Universitário.

Aplicando técnicas que resolvam os problemas referentes ao tempo de espera na fila de atendimento através da simulação, aumentando a eficiência do ritmo de atendimento dos funcionários, desta forma, o tempo de permanência na fila será reduzido.

### **1.2 Delimitação e limitação do problema**

O problema a ser resolvido é melhorar o ritmo de atendimento dos funcionários, reduzindo assim o tempo de espera. O foco de estudo é o Restaurante Universitário da Universidade Estadual de Maringá na qual atende aproximadamente 3000 usuários, distribuídos entre as três refeições servidas diariamente, sendo elas: café da manhã, almoço e jantar.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo geral**

Identificar e apresentar propostas para o problema do fluxo das atividades de venda de tickets e montagem das bandejas de refeições pelos funcionários do RU.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

Ações necessárias para atingir o objetivo geral:

- a) Levantar dados históricos do número de refeições oferecidas diariamente;
- b) Estabelecer uma relação entre os cardápios e a demanda de cada um em relação aos usuários;

- c) Descobrir o tempo das principais operações realizadas por todos os funcionários nas atividades de venda de tickets e montagem das bandejas;
- d) Encontrar o tempo total do processo de atendimento de todos os usuários.
- e) Identificar todas as variáveis envolvidas no processo;
- f) Criar um modelo que descreva o fluxo dos processos de atendimento aos usuários;
- g) Desenvolver a programação do modelo usando o software Arena de simulação;
- h) Simular vários cenários para encontrar diversas soluções para o problema;
- i) Analisar todas as alternativas encontradas, buscando assim a solução ótima para o problema.

#### **1.4 Seqüência lógica do trabalho**

O trabalho estará dividido em nove capítulos:

- Capítulo 1 – Introdução e objetivos: apresenta alguns aspectos do assunto a ser tratado neste estudo de caso e descreve os objetivos que ele busca atingir;
- Capítulo 2 – Revisão da literatura: aborda a teoria da simulação, teoria das filas, análise de resultados e o uso do Software Arena.
- Capítulo 3 – Metodologia: descreve como serão atingidos os objetivos;
- Capítulo 4 – Características do estudo de caso: caracteriza a situação do RU, juntamente com os seus problemas;
- Capítulo 5 – Coleta e análise de dados: Apresenta os dados coletados sobre o serviço de vendas de tickets, ritmo de chegada dos usuários na fila do RU e por fim uma análise desses dados utilizando o Input Analyzer;
- Capítulo 6 – Simulação: desenvolvimento dos modelos no Arena que descrevem os processos do RU e análise dos resultados obtidos pela simulação dos cenários;
- Capítulo 7 – Conclusão: Conclusão os diversos modelos analisados pelo Arena para resolver o problema do RU;
- Capítulo 8 – Referência: mostra quais artigos, livros e monografias foram utilizados como base para a fundamentação teórica.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

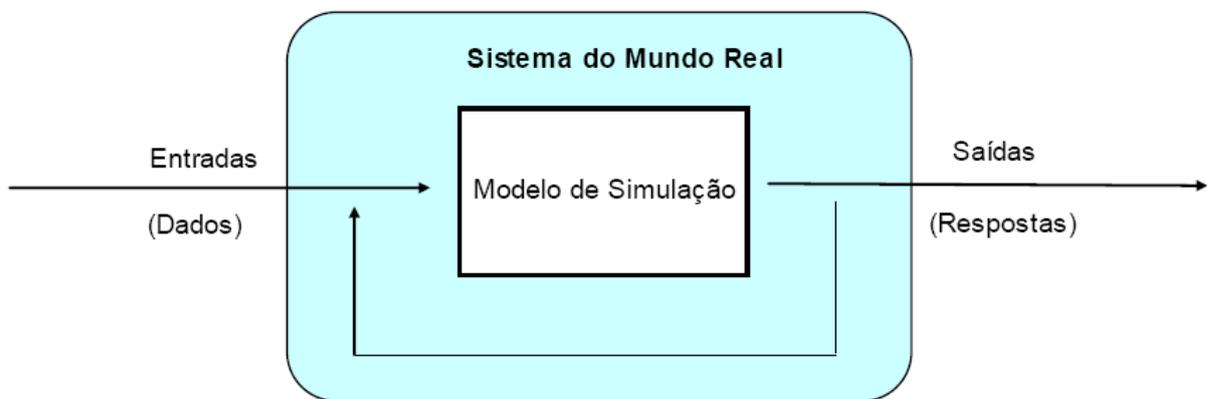
A simulação possui muitos significados na literatura. Para Prado (2004, p.21) “o surgimento do computador na década de 50, a modelagem de filas pode ser analisada pelo ângulo da simulação, em que não mais se usam fórmulas matemáticas, mas apenas tenta-se imitar o funcionamento do sistema real”. As linguagens de simulação apareceram na década de 60 e hoje, graças aos microcomputadores, pode ser facilmente usadas. A técnica de simulação visual, cujo uso se iniciou na década de 80, em virtude de sua maior capacidade de comunicação teve uma aceitação surpreendente. Além disso, por ter um menor nível de complexidade, seu uso também cresceu enormemente. Algumas linguagens são mundialmente conhecidas, como GPSS, GASP, SIMSCRIPT, SIMAN, ARENA, PROMODEL, AUTOMOD, TAYTOR, etc.

Inúmeros fatores técnicos possibilitaram o surgimento dessa gama de softwares e contribuíram para sua rápida evolução. Entre eles, destacam-se (BANKS, 1992):

- O aumento da capacidade dos micro-computadores, que permitiu a adição de novos recursos aos softwares sem grandes incrementos no tempo de processamento;
- A evolução do hardware e dos processadores de imagens gráficas;
- Os novos sistemas operacionais, que possibilitaram a modelagem de sistemas maiores por meio do acesso aleatório à memória;
- A redução dos custos dos discos rígidos (*hard disks*), que permitiu o armazenamento de sistemas operacionais maiores e diversos softwares;

Segundo Shannon (1992), a simulação é uma ferramenta que permite projetar o modelo de um sistema real e realizar experimentos com o mesmo, a fim de entender seu comportamento e avaliar estratégias para sua operação. Já Banks (1984), define a simulação como a imitação da operação de um processo ou sistema do mundo real. Para Freitas Filho (2001), a simulação consiste na utilização de determinadas técnicas matemáticas, empregadas em computadores digitais, que permitem imitar o funcionamento de, praticamente, qualquer tipo de operação ou sistema do mundo real.

Para Kelton (2001), simulação refere-se a uma ampla coleção de métodos e aplicações para descrever o comportamento de sistemas reais, geralmente em um computador com apropriado software. A simulação se aplica em muitos setores. Atualmente a simulação é amplamente utilizada devido ao avanço da capacidade de processamento, facilidade de manutenção dos modelos e baixo custo envolvido. A Figura 1 representa o que esquema de modelagem, na qual o modelo criado apresenta exatamente as mesmas características do sistema real, ou seja, os mesmos dados de entrada para o modelo real servem tanto para o sistema modelado e os resultados obtidos com a simulação tem que ser semelhantes.



**Figura 1: Representação esquema de um modelo de sistema**

Fonte: Freitas (adaptado) (2001)

Segunda Freitas Filho (2001), as técnicas de simulação e seus princípios são de fácil aprendizado para gerentes e usuários que fazem uso do mesmo em seus projetos e auxílio na tomada de decisão, isto se deve por causa de alguns fatores:

- Um estudo simulado permite análise de diversas variáveis identificadas e que possam facilmente ser incorporadas ao modelo de simulação, aumentando a precisão da tomada de decisão, permite que pequenas mudanças possam ser facilmente sentidas pelo sistema. As abordagens tradicionais, ao contrário, empregam estudos preliminares estáticos e com tantas simplificações que, muitos projetos depois de implantados, acabam sofrendo inúmeras modificações e adaptações;
- A utilização de animações permite visualizar o comportamento dos sistemas durante as simulações;

- Um estudo simulado pode diminuir custos, recursos financeiros, aumentar a qualidade e confiabilidade no desenvolvimento do projeto. Os custos da simulação são pequenos quando comparados aos seus benefícios.
- A percepção de que o comportamento do modelo simulado é muito semelhante ao do sistema real.

A simulação compreende, além da construção do modelo, um método experimental que busca:

- Descrever o comportamento do sistema;
- Construir teorias ou hipóteses baseadas nas observações realizadas;
- Utilizar o modelo para prever o comportamento futuro, ou seja, os efeitos produzidos por alterações no sistema ou em seus métodos de operação.

## 2.1 MODELO

Segundo Freitas Filho (2001, p.7) “[...] a modelagem pressupõe um processo de criação e descrição, envolvendo um determinado grau de abstração que, na maioria das vezes, acarreta numa série de simplificações sobre a organização e o mundo real”.

O modelo é utilizado como um veículo para experimentação, muitas vezes em processos de tentativa e erro, buscando analisar as variáveis envolvidas no problema e que poderão auxiliar em seu gerenciamento.

Um modelo de simulação caracteriza matematicamente um sistema, cujo estado pode ser descrito, em um determinado instante, através da análise de um conjunto de variáveis estocásticas e determinísticas.

Todo modelo de Simulação possui, de forma combinada ou isolada, os seguintes elementos segundo Shannon (1975, p.76):

**Componentes:** são as partes (ou subsistemas) integrantes do sistema. Entende-se por sistema, um conjunto de objetos, que interagem entre si, para atingir um objetivo comum.

**Parâmetros e Variáveis:** são elementos do sistema que recebem valores. Os parâmetros podem receber valores arbitrários, enquanto que as variáveis recebem valores associados à função a qual elas estão atreladas. Existem dois

tipos de variáveis: Endógenas (Dependentes) e Exógenas (Independentes). Variáveis endógenas são aquelas produzidas dentro do sistema ou resultantes de causas internas. São também chamadas variáveis de estado (pois mostram o estado do sistema) ou variáveis de saída (pois são responsáveis por gerar e apresentar os resultados oriundos do sistema). Variáveis exógenas, também chamadas variáveis de entrada, são originárias de (ou produzidas por) causas externas.

**Relações Funcionais:** são normalmente apresentadas na forma de equações matemáticas, que relacionam as variáveis endógenas com as exógenas. Essas relações podem ser de ordem determinística (onde para uma dada entrada existe uma única saída) ou estocástica (onde para uma dada entrada existe(m) incerteza(s) associada(s) à saída).

**Restrições:** são limitações impostas pelo “modelista” ou pela natureza do problema, que restringem os valores das variáveis.

**Objetivos:** é o estabelecimento das metas do sistema e como elas podem ser avaliadas. A manipulação do modelo é orientada de forma a satisfazer esses objetivos.

Entendendo o conceito de modelo, o próximo passo é classificá-lo corretamente para não cometer equívocos em sua utilização.

### 2.1.1 Classificação dos modelos

Os modelos podem ser classificados como discretos ou contínuos. Nos modelos discretos as variáveis de estado mantêm-se inalteradas ao longo de intervalos de tempo e mudam seus valores somente em pontos bem definidos, conhecidos como tempo de ocorrência de eventos, já nos modelos contínuos, as variáveis de estado podem mudar seus valores continuamente ao longo do tempo (FREITAS, 2001).

A escolha de modelos descritivos, matemáticos, estatísticos, etc., ao invés de utilizar modelos voltados à simulação depende de diversos fatores, se o sistema for simples e apresentar poucas inter-relações entre os elementos que o compõem, este pode ser facilmente descritos, entretanto os modelos do mundo real apresentam muitas variáveis e desta forma fica complicado uma análise sem utilizar técnicas de simulação. Segundo Freitas (2001), os modelos do mundo real podem ser classificados em:

#### 2.1.1.1 Modelos voltados à precisão

A simulação é utilizada para prever estado futuro de um sistema, baseado em suposições da situação atual ou experiências de pessoas que trabalham com o problema.

### **2.1.1.2 Modelos Voltados a Investigação**

Existem modelos que estão diretamente focados na investigação de problemas, levantamento de hipóteses sobre o comportamento, entretanto quando o modelo ainda não foi completamente caracterizado ocorre um sério problema em saber o que corretamente investigar.

### **2.1.1.3 Modelos voltados à comparação**

A comparação pode ser utilizada para avaliar situações entre modelos, entretanto nem todos os modelos são iguais, desta forma fica sujeito a erros entre comparações que leva a conclusões equivocadas sobre o modelo.

### **2.1.1.4 Modelos Específicos**

Segundo Freitas (2001, p.10), “até o início dos anos 90, o desenvolvimento e o uso de modelos visando à obtenção de informações quantitativas auxiliares a tomada de decisão, era exclusivo de processos que envolvessem alguns milhares de dólares”. Destacam-se algumas decisões nas quais os modelos específicos podem ser úteis:

- Quando e qual tipo de equipamento novo deve ser comprado;
- Quando e como reorganizar os recursos voltados ao atendimento de clientes;
- Filas de atendimento em bancos, hospitais, supermercados, etc.;
- Decidir sobre a alocação de determinado tipo de equipamento servindo uma ou outra linha de produto;
- Decidir sobre qual o poder de processamento necessário a um servidor de rede de comunicação de acordo com diferentes tipos de cargas ao sistema.

A tomada de decisão envolve muitas variáveis, entretanto identificá-las e utilizá-la corretamente em modelos específicos é fundamental ao sucesso da análise.

## **2.2 ETAPAS DE CRIAÇÃO DE UM MODELO PARA SIMULAÇÃO**

### **2.2.1 Formulações e Análise do Problema**

A simulação inicia-se com a definição de um problema, com metas e objetivos claramente definidos, entretanto algumas questões devem ser respondidas, segundo Shannon (1975):

- a. Por que o problema está sendo estudado?
- b. Quais serão as respostas que o estudo espera alcançar?
- c. Quais são os critérios para avaliação do desempenho do sistema?
- d. Quais as hipóteses e prerrogativas?
- e. Quais as restrições e limites são esperados das soluções obtidas?

### **2.2.2 Planejamento do Projeto**

Segundo Freitas Filho (2001), o planejamento do projeto consiste em definir etapas e verificar as disponibilidades de recursos suficientes para a viabilidade do mesmo, entre eles destacam-se a disponibilidade de mão de obra, suporte, gerência de hardware, software e avaliar o cenário que serão investigados. Essas características são fundamentais para qualquer análise, pois influenciam diretamente o tratamento dos dados e suas representações, assim o planejamento exerce um papel fundamental para obter os resultados esperados.

### **2.2.3 Formulações do Modelo Conceitual**

De acordo com Freitas Filho (2001), a formulação do modelo conceitual consiste em elaborar um esboço do sistema, através de gráficos e fluxogramas, definindo componentes, descrevendo as variáveis e interações lógicas que constituem o sistema. O modelo inicia-se de forma simples e com o amadurecimento do projeto, ao passar o tempo às variáveis vão sendo identificadas. Algumas informações devem ser respondidas para se obter um modelo conceitual aceitável:

- a. Qual a estratégia de modelagem? Discreta? Continua? Uma combinação?
- b. Qual quantidade de detalhes deve ser incorporada ao modelo?
- c. Como o modelo reportará os resultados? Relatórios pós-simulação? Animações durante a execução?

- d. Que nível de personalização de cenários e ícones de entidades e recursos deve ser incorporado?
- e. Que nível de agregação dos processos (ou de alguns) deve ser implementado?
- f. Como os dados serão coletados no modelo? Manualmente? Leitura de arquivos?

#### **2.2.4 Coletas de Macro-Informações e Dados**

Segundo Freitas Filho (2001), Macro-Informações são fatos, informações estatísticas verificados em dados históricos e coleta direta dos dados, de modo geral refere-se ao esforço em coletar e identificar os dados úteis ao problema.

Em relações as informações e dados são necessárias estabelecer alguns critérios em relação aos itens que serão analisados, segue abaixo alguns itens que precisam ser analisados:

- a. Quais as relações e regras que conduzem a dinâmica do sistema? O uso de diagramas de fluxos é comum para facilitar a compreensão destas inter-relações.
- b. Quais são as fontes dos dados necessários a alimentação do modelo?
- c. Os dados já se encontram na forma desejada?
- d. E quanto aos dados relativos a custo e finanças? Incorporar elementos de custos em projeto torna sua utilização muito mais efetiva. Custos de espera, custos de utilização, custos de transporte, etc., quando empregados tornam os modelos mais envolventes e com maior credibilidade e valor.

#### **2.2.5 Traduções do modelo**

Segundo Freitas Filho (2001), tradução do modelo consiste em codificar o modelo em uma linguagem de simulação apropriada, entretanto algumas questões devem ser respondidas:

- a. Quem fará a tradução do modelo conceitual para a linguagem de simulação?
- b. Como será realizada a comunicação entre os responsáveis pela programação e a gerencia do projeto.
- c. E a documentação? Os nomes de variáveis e atributos estão claramente documentados?

### **2.2.6 Verificação e Validação**

Segundo Freitas Filho (2001), confirmar o modelo consiste verificar se os dados coletados estão corretamente representados no modelo e se os mesmos possuem valores para a solução do problema, algumas perguntas devem ser respondidas:

- a. O modelo gera informações que satisfazem aos objetivos de estudo?
- b. As informações geradas são confiáveis?

### **2.2.7 Projeto Experimental**

Segundo Freitas Filho (2001, p.17), “Projetar um conjunto de experimentos que produza a informação desejada, determinando como cada um dos testes deve ser realizado”. O objetivo principal é coletar as informações com menos experimentações. A experimentação é executar as simulações para a geração dos dados desejados e para a realização das análises de sensibilidade.

Esta fase é o grande motivo do sucesso da simulação, pois ela permite a obtenção de diversos resultados, a partir da análise de diversas situações diferentes, podendo assim encontrar os resultados que mais se adequem a realidade desejada.

Além do entendimento do projeto experimental, é muito importante uma interpretação dos dados, pois além de um projeto preciso, é necessário que as informações sejam muito bem interpretadas.

### **2.2.8 Interpretações e Análises Estatísticas dos Resultados**

Avaliar os resultados encontrados pela simulação e estimar medidas de desempenho para o modelo avaliado. Segundo Freitas Filho (2001), a análise necessita ser realizada várias vezes para encontrar o ajuste perfeito, até que o resultado esperado seja obtido, entretanto algumas questões necessitam de cuidados específicos:

- a. Quantas replicações são necessárias?
- b. Qual deve ser o período simulado para que se possa alcançar o estado de regime?

O domínio e conhecimento sobre técnicas de simulação auxiliam o entendimento do problema.

### **2.2.9 Comparações de Sistemas e Identificação das melhores soluções**

Muitas vezes o sistema de simulação visa à verificação das diferentes alternativas para o mesmo problema, a comparação é uma técnica utilizada para identificar com facilidade quais são as melhores soluções.

Registrar as informações de todos os modelos em documentos é muito importante no processo de comparação.

### **2.2.10 Documentação**

A documentação é muito importante, pois além de detalhar a modelagem, ela permite um acompanhamento das atividades e métodos que estão sendo utilizados, fornecendo informações que possam ser consultadas a qualquer momento, assim como ter um registro sobre o processo e acompanhamento da modelagem, segundo Freitas Filho (2001), o processo de documentação destaca alguns fatores importantes:

- a. Descrição dos objetos e hipóteses levantadas;
- b. Conjunto de parâmetros de entrada utilizado (incluindo a descrição das técnicas adotadas para adequação de curvas de variáveis aleatórias);
- c. Descrição das técnicas e métodos empregados na verificação e a na validação do modelo;
- d. Descrição do projeto de experimentos e do modelo fatorial de experimentação adotado;
- e. Resultados obtidos e descrição dos métodos de análise adotados;
- f. Conclusões e recomendações. Nessa última etapa, é fundamental descrever os ganhos obtidos na forma monetária.

### **2.2.11 Apresentação dos Resultados Implementação**

Segundo Freitas Filho (2001, p.19), “Os resultados do projeto devem refletir os esforços coletivos e individuais realizados, considerando os seus diversos aspectos, isto é, levantamento do problema, coleta de dados, construção do modelo, etc.” O relatório final deve conter alguns itens que são destacados abaixo:

- a. Restabelecimento e confirmação dos objetivos do projeto;
- b. Quais problemas foram resolvidos;
- c. Rápida revisão da metodologia;
- d. Benefícios alcançados com as soluções propostas;
- e. Considerações sobre o alcance e precisão dos resultados;
- f. Alternativas rejeitadas e seus motivos;
- g. Animações das alternativas propostas quando cabíveis;
- h. Estabelecimento de conexões entre o processo e os resultados alcançados com o modelo de simulação e outros processos de reengenharia ou de reformulação existentes no negócio.
- i. Tentar demonstrar que a simulação é uma espécie de ponte entre a idéia e sua implementação.

### **2.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA SIMULAÇÃO**

Apesar de a simulação ser uma excelente ferramenta de análise, é preciso conhecer com mais profundidade tanto as suas vantagens, quanto as suas desvantagens. As duas listas abaixo, baseadas nos textos de Pedgen (1990), Banks (1984) e Freitas (2001), apontam algumas delas. Segundo Freitas (2001, p.11),

[...] a simulação apresenta algumas vantagens:

1. Uma vez criado, um modelo pode ser utilizado inúmeras vezes para avaliar projetos e políticas propostas;
2. A metodologia de análise utilizada pela simulação permite a avaliação de um sistema proposto, mesmo que os dados de entrada estejam, ainda, na forma de “esquemas” ou rascunho;
3. A simulação é geralmente mais fácil de aplicar do que métodos analíticos;
4. Enquanto que modelos analíticos requerem um numero muito grande de simplificações para torná-los matematicamente tratáveis, os modelos de simulação não apresentam tais restrições. Além disso, nos modelos analíticos, as análises recaem apenas sobre um numero limitado de medidas de desempenho. De maneira contrária, as informações geradas pelos modelos de simulação, permitem a análise de, praticamente, qualquer medida concebível;
5. Uma vez que os modelos de simulação podem ser quase tão detalhados quanto os sistemas reais, novas políticas e procedimentos operacionais, regras de decisão, fluxo de informação, etc., podem ser avaliados sem que o sistema real seja perturbado;
6. Hipóteses sobre como ou por que certos fenômenos acontecem podem ser testados para confirmação;
7. O tempo pode ser controlado. Pode ser comprimido ou expandido. Permitindo reproduzir os fenômenos de maneira lenta ou acelerada, para que se possa melhor estudá-los;
8. Pode-se compreender melhor quais variáveis são as mais importantes em relação ao desempenho e como as mesmas interagem entre si e com os outros elementos do sistema;

9. A identificação de “gargalos”, preocupação maior no gerenciamento operacional de inúmeros sistemas, tais como fluxos de materiais, de informações e de produtos, pode ser obtida de forma facilitada, principalmente com o ajuda visual;
10. Um estudo de sistema costuma mostrar como realmente tem um sistema opera, em oposição à maneira como todos pensam que ele opera.

Embora as inúmeras vantagens, o processo de simulação apresenta algumas dificuldades, como as que estão listadas abaixo de acordo com Freitas Filho (2001, p.12),

[...] a simulação apresenta algumas vantagens:

1. “A construção de modelos exige treinamento capacidade. Envolve arte e, portanto, o aprendizado se dá ao longo do tempo, com a aquisição de experiência. Modelos construídos por dois indivíduos diferentes poderão apresentar certa similaridade, entretanto nunca serão iguais;
2. Os resultados da simulação são, muitas vezes, de difícil interpretação. Uma vez que os modelos tentam capturar a variabilidade do sistema, é comum que existam dificuldades em determinar quando uma observação, realizada durante uma execução se deve a alguma relação significante no sistema ou a processos aleatórios construídos e embutidos no modelo;
3. A modelagem é a experimentação associada a modelos de simulação, consomem muitos recursos, principalmente tempo. A tentativa de simplificação na modelagem ou nos experimentos objetivando economia de recursos costuma levar a resultados insatisfatórios. “Em muitos casos, a aplicação de métodos analíticos pode trazer resultados mais econômicos.

Conhecer as vantagens e desvantagens do uso da simulação é muito importante para a escolha da técnica utilizada para analisar e tratar um problema, pois se utilizada de forma inadequada pode não gerar os resultados esperados.

## **2.4 TEORIA DAS FILAS**

A abordagem matemática de filas iniciou no principio do século XIX (1908) em Copenhague, Dinamarca, com A. K. Erlang, considerado o pai da Teoria das Filas, quando trabalhava em uma companhia telefônica estudando o problema de redimensionamento de centrais telefônicas.

De acordo com Prado (2001, p.15),

“ao efetuarmos certos tipos de estudos de planejamento, é comum depararmos com problemas de dimensionamento ou fluxo cuja solução é aparentemente complexa, os cenários podem variar, entretanto todos têm o mesmo tipo de problema, a formação de filas, seja em uma linha de produção de uma fábrica, o trânsito de uma cidade, o fluxo de documentos de um escritório, o movimento de navios e cargas em um porto, o movimento de veículos, etc. A formação de filas ocorre porque a procura pelo serviço é maior do que a capacidade do sistema de atender a esta procura”.

Um estudo é indicado para buscar a solução para este tipo de problema, o fato é que deseja que o sistema tenha um funcionamento eficiente, algumas vezes se busca uma solução otimizada e em outras, apenas a mais adequada. Assim, um determinado estudo pode procurar pela melhor qualidade do serviço prestado a qualquer custo, ou pelo menor custo dentro de uma faixa aceitável de qualidade para o serviço prestado.

Segundo Prado (2001), as filas podem ser representações abstratas, por exemplo, lista de processos em computadores para serem executada, pilha de papéis, outras vezes ela não pode ser vista, em situações como pessoas em uma barbearia esperando pela vez de cortar o cabelo, aviões sobrevoando um aeroporto, esperando pela vez de aterrissar, ou navios parados no mar, esperando pela vez de atracar no porto para descarregar.

De acordo com Prado (2001), a partir de certa população, surgem clientes que formam uma fila e permanece à espera do atendimento por um determinado tipo de serviço. O cliente representa uma forma genérica, pode ser qualquer coisa que tenha que esperar algum tempo para ser processado.

#### **2.4.1 Características dos modelos de filas**

Segundo Prado (2001), filas referem-se a algumas características específicas:

- Modelos de Chegada
- Modelos de Serviços
- Números de Atendimentos
- Capacidade do Sistema
- Disponibilidade das Filas

##### **2.4.1.1 Modelos de chegada**

Representa o tempo entre chegadas. Determinístico, Aleatório (com probabilidade conhecida).

##### **2.4.1.2 Modelos de serviço**

- Representa o tempo de atendimento. Determinístico, Aleatório (com probabilidade conhecida) se a fila é única ou múltipla.
- Em série (mais que um atendente por usuário, em estágios) ou paralelo (cada usuário é completamente atendido por um só atendente)

### 2.4.1.3 Capacidade do sistema

Número máximo de usuários sendo atendido ou na fila de espera.

### 2.4.1.4 Disciplinas das filas

Ordem em que é atendido o usuário. Primeiro a chegar é o primeiro a sair. Último a chegar é o primeiro a sair.

**Quadro 1:** Classificação das filas

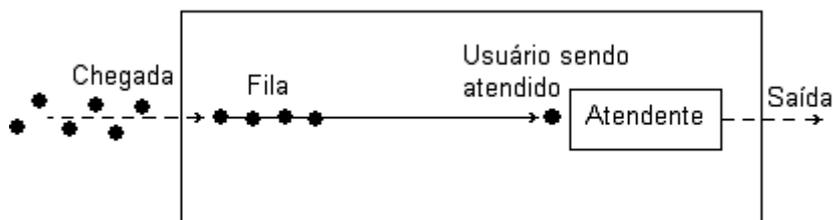
Características da fila	Símbolo	Significado
Tempo entre chegadas ou Tempo de atendimento	D	Determinístico
	M	Exponencial (Poisson)
	A	Aleatório
	Ek	Erlang Tipo k (E1, E2,...)
	G	Outros
Classificação das Filas	FIFO	Primeiro a chegar é o primeiro a sair
	LIFO	Último a chegar é o primeiro a sair
	SIRO	Atendimento aleatório
	PRI	Atendimento por Prioridade
	GD	Outra Ordem

Fonte: Teoria das Filas (2009)

## 2.5 MODELOS DE FILAS

### 2.5.1 Sistemas M/M/1

De acordo com Prado (2004, p.64), “M/M/1 é o modelo em que tanto as chegadas quanto o atendimento são marcovianos, ou seja, obedecem a uma Distribuição de Poisson ou Exponencial Negativa”. Possui um único atendente e ocorre a formação de apenas uma fila.



**Figura 2:** Exemplo de Fila M/M/1

Fonte: Teoria das Filas (2009)

Principais variáveis da teoria das filas:

$\lambda$  = Ritmo Médio de Chegada (unid. / unid. tempo)

IC = Intervalo médio entre chegadas:  $IC = 1/\lambda$

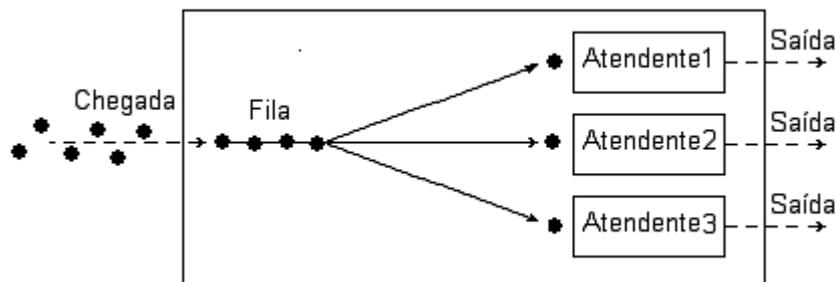
TA = Tempo Médio de Atendimento ou Serviço

$\mu$  = Ritmo médio de Atendimento de cada atendente:  $TA = 1/\mu$

$\rho$  = taxa de utilização do sistema corresponde:  $\lambda/\mu$  (probabilidade entre 0 e 1).

### 2.5.2 Sistema M/M/c

Segundo Prado (2004, p.74), “o modelo M/M/c, caracteriza-se por uma única fila e diversos servidores, a chegada obedece a uma Distribuição de Poisson ou Exponencial Negativa”.



**Figura 3: Exemplo de Fila M/M/c**

Fonte: Teoria das Filas (2009)

Principais variáveis da teoria das filas:

$\lambda$  = Ritmo Médio de Chegada (unid. / unid. tempo)

IC = Intervalo médio entre chegadas:  $IC = 1/\lambda$

TA = Tempo Médio de Atendimento ou Serviço

$\mu$  = Ritmo médio de Atendimento de cada atendente:  $TA = 1/\mu$

$c$  = capacidade de atendimento ou quantidade de atendentes.

## 2.6 SOFTWARE ARENA

### 2.6.1 Características Arena

O software Arena é um ambiente gráfico integrado de simulação, que contém todos os recursos para modelagem de processos, desenho, animação, análise estatística e análise de resultados. Ele foi desenvolvido pela empresa Rockwell Automation. Atualmente está em sua 12ª versão.

Não é necessário escrever nenhuma linha de código no Software Arena, pois todo o processo de criação do modelo de simulação é gráfico e visual, de maneira integrada, porém há a possibilidade de escrita de código como alternativa ao modo gráfico.

Entre as diversas bibliotecas do programa, existem as bibliotecas "*Blocks*" e "*Elements*" que trabalham em conjunto. Cada bloco da biblioteca "*Blocks*" tem uma função específica (criar e destruir entidades, regras de gestão, mudança de valor de variáveis, simulação de tempo, etc.) e estes blocos geralmente têm alguma entidade ou variável associadas que são definidas pela biblioteca "*Elements*". Após o término da simulação, Arena envia um relatório ao usuário com os resultados que ele deseja visualizar.

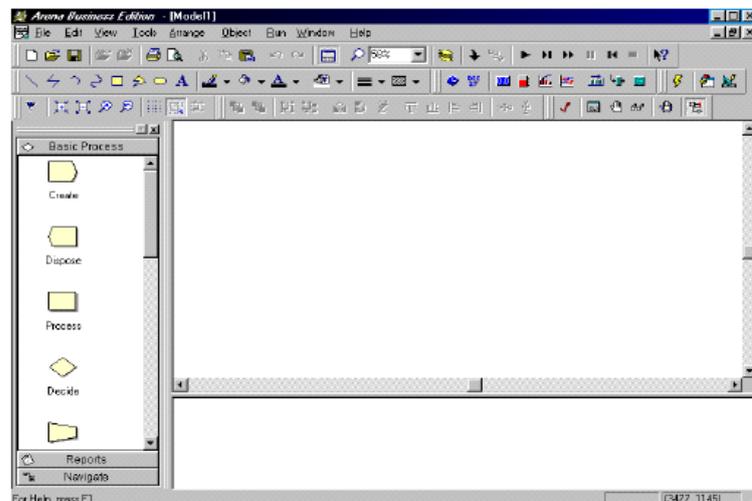
O software Arena permite a modelagem e simulação de diversos processos. Ele é muito utilizado para a análise de filas, de linhas de produção e também de processos industriais contínuos. Como qualquer software de simulação, ele permite prever o comportamento de algo que não existe no mundo real. Por exemplo, se uma indústria pretende fazer alguma mudança, a utilização do software Arena para modelar e simular a nova situação permite prever o comportamento futuro da usina, permitindo à validação ou mudança do projeto de modificação da indústria.

Arena é compatível com os programas da Microsoft. Isso inclui a leitura e escrita de dados em Microsoft Office Access e Microsoft Office Excel.

Segundo Lima, Souza e Araújo (2006), a utilização de modelos matemáticos nos permite encontrar soluções analíticas ou implementar modelos para simulação, o ARENA tem uma visão do mundo bastante peculiar, baseada na simplificação através de eventos discretos. Os modelos são baseados na linguagem de simulação SIMAN. Essa linguagem basicamente

enxerga o sistema como uma seqüência de eventos aleatórios que causam mudanças nos estado do modelo.

O Arena é uma ferramenta eficaz no auxílio à tomada de decisões dentro da empresa. Ele permite criar e testar experimentos em modelos dos diversos sistemas de uma empresa, analisando qualquer situação. Testando novas idéias e projetos em um simulador, é possível prever o que acontecerá, sem ter que efetivamente alterar qualquer coisa no ambiente físico. Na Figura 4 é possível observar uma interface do software Arena.



**Figura 4: Imagem da interface do Arena**

Ele é composto por algumas ferramentas, são elas:

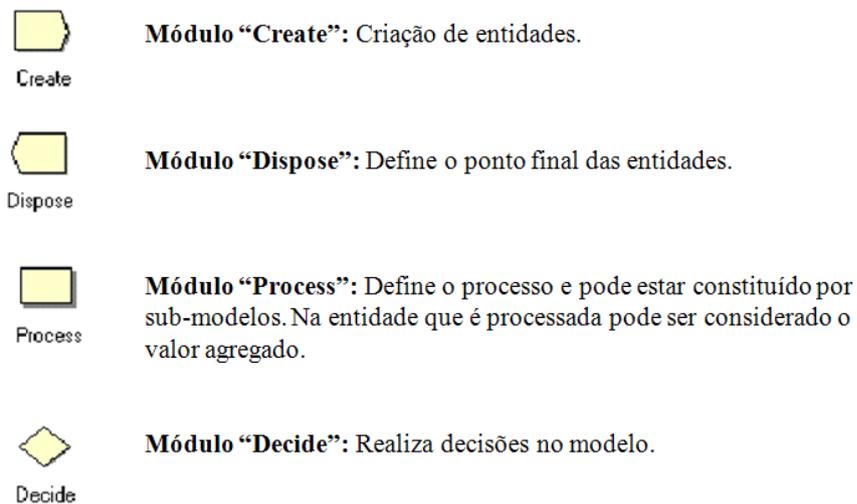
- ARENA Standard: Simulador genérico. Permite ao usuário utilizar inúmeros templates, porém sem a possibilidade de criação de templates próprios;
- ARENA Professional: Simulador genérico. Além dos recursos comuns do Standard, é possível ao usuário criar objetos e agrupá-los em templates, distribuindo-os de maneira livre dentro da organização ou ao mercado;
- ARENA Contact Center: Simulador especial para simulação de centrais de atendimento;
- ARENA Factory Analyzer: Simulador específico para estudos de manufatura. Segue padrão para projetos na área e possui interligação com ferramentas de MRP e Scheduling;
- ARENA Packaging: Simulador destinado a linhas de alta velocidade e grande quantidade de elementos, como engarrafadoras e empacotadoras;

- ARENA Realtime: Capacitado a trocar informações em tempo real com sensores e controladores externos, para simular e monitorar o sistema.

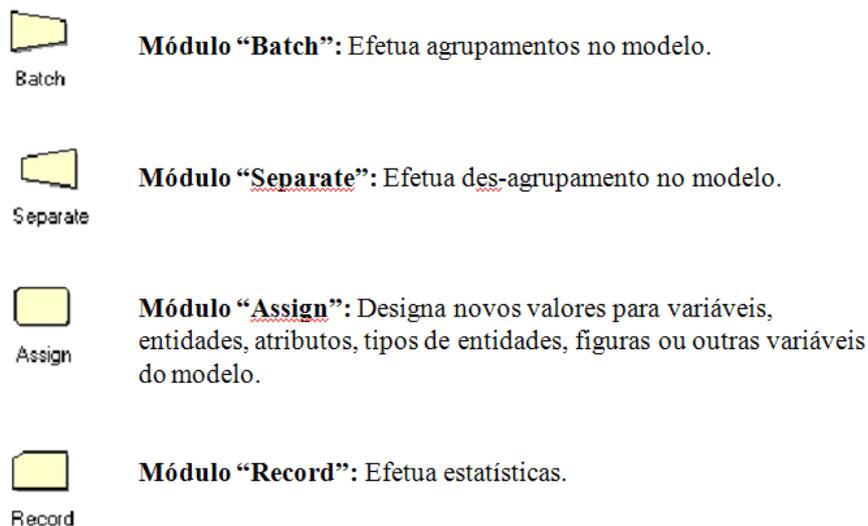
### 2.6.2 Módulos do Arena

Os módulos do Arena são utilizado para criar o fluxograma que descreve o modelo e permite a programação do mesmo, representando estatisticamente todos os processos envolvidos no sistema, permite uma fácil interpretação do modelo, assim como definição dos valores das variáveis envolvidas.

Na Figura 5 é possível observar os principais blocos para desenvolvimento do modelo, a Figura 6 apresenta módulos para controle estatístico.

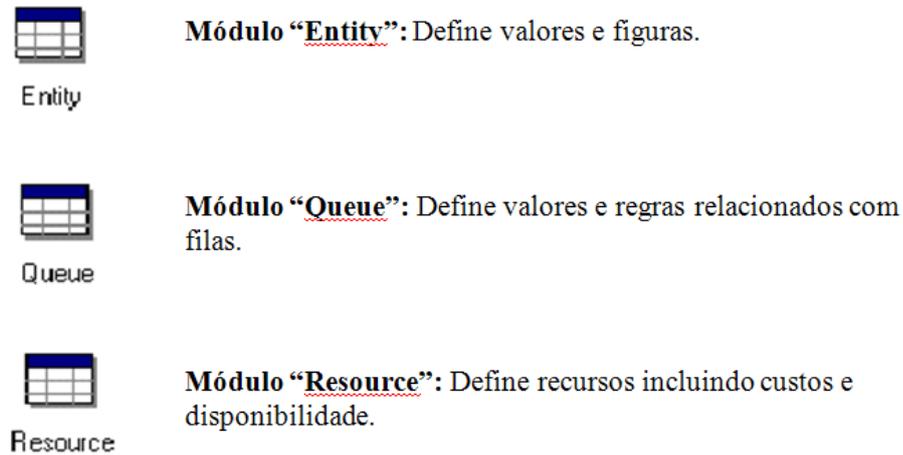


**Figura 5: Módulos do Arena**

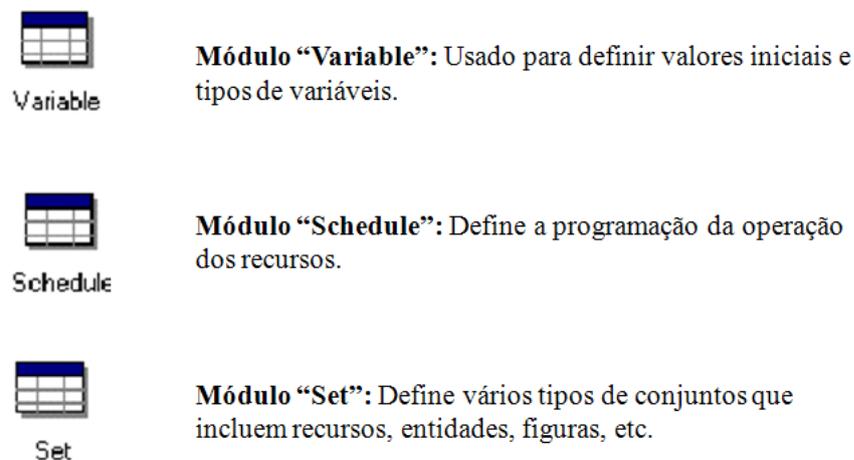


**Figura 6: Módulos para controle estatísticos**

A Figura 7 apresentam os módulos para controle variáveis envolvidas no processo de modelagem, não pode ser adicionados ao processo de modelagem, ou seja, limitam se apenas a controle. A Figura 8 apresenta módulos para controle das variáveis.



**Figura 7: Módulos do Arena para controle do modelo**



**Figura 8: Módulos do Arena para controle de variáveis.**

### 2.6.3 Input Analyzer

Em um modelo de simulação, são inseridas distribuições estatísticas para que elas representem com precisão o sistema em estudo. Alguns dados têm valores bem determinados, como por exemplo, distâncias, número de máquinas disponíveis e outros.

Existem aqueles que são indeterminados, normalmente os que envolvem tempo, pois os processos não são exatos, podendo ter variações em torno de um valor médio. Este valor

médio, normalmente, é utilizado em simulações estáticas. Porém, em uma simulação dinâmica temos a possibilidade de inserir esta variação no modelo através de distribuições estatísticas.

O ARENA possui *Input Analyzer* que trata dos dados de entrada de forma automática.

O *Input Analyzer* analisa os dados coletados, através de cálculos que ajustam a curva dos dados escolhidos pelo critério do quadrado dos erros, ou seja, são verificadas as distâncias de cada ponto dos dados de entrada, em relação aos pontos ideais da distribuição desejada. O somatório desses erros determina qual distribuição estatística descreve melhor o comportamento dos dados, assim a distribuição que apresentar menor somatório de erro é a que melhor representa os dados analisados. No *Input Analyzer* é possível escolher qual distribuição deseja utilizar ou então deixar que o próprio programa analise todas as distribuições disponíveis para determinar qual melhor adere aos dados coletados. A Figura 9 apresenta o somatório de erros de todas as distribuições, assim neste exemplo a que melhor ajusta aos dados coletados é uma distribuição normal que apresentou um erro de 0,00025.

```

=====
Fit All Summary
Data File: C:\Arena\Exam

Function      Sq Error
-----
Normal       0.00025
Beta         0.000279
Weibull      0.000317
Gamma        0.00116
Erlang       0.00122
Lognormal    0.00223
Triangular   0.00704
Uniform      0.0268
Exponential  0.0394

```

Figura 9: Análise de erro pelo *Input Analyzer*

### 2.6.3.1 Distribuições estatísticas do *Input Analyzer*

#### *Normal*

A distribuição Normal descreve fenômenos regidos por variáveis aleatórias que possuem variação simétrica acima e abaixo da média. Muito utilizada em tempos de processo como tempos de máquinas.

### ***Beta***

Devido a sua capacidade de se adequar a várias formas, esta distribuição é usada como uma aproximação, quando houver ausência de dados.

### ***Uniforme***

A distribuição Uniforme especifica que cada valor entre um mínimo e um máximo especificado, tenha igual probabilidade de acontecer. Costuma-se utilizar esta distribuição quando pouco ou quase nada se sabe a respeito do comportamento da variável aleatória que estamos tratando, a exceção de seus pontos extremos.

### ***Triangular***

A distribuição Triangular não é identificada com nenhum tipo de operação específica, mas é útil quando se deseja uma primeira aproximação na falta de dados específicos. Além dos valores mínimos e máximos característico da distribuição uniforme, o conhecimento de um valor mais provável, valor modal, permite o uso desta distribuição, no lugar da uniforme. É muito utilizada quando não existem dados suficientes e é necessária uma estimativa.

### ***Exponencial***

A distribuição exponencial é uma das mais utilizadas em modelos de simulação. O principal uso é a modelagem de períodos de tempos entre dois acontecimentos.

### ***Erlang***

Utilizada na simulação de alguns tipos de processos, muitas vezes em situações em que uma entidade entra em uma estação para ser servida seqüencialmente, por uma série de recursos.

### ***Gamma***

Esta função costuma ser aplicada para representar tempo de complementação de alguma tarefa.

### ***Log Normal***

É freqüentemente utilizada para representar tempos de atividades com distribuição não simétrica.

## ***Weibull***

É largamente utilizada em modelos que representam o tempo de vida de equipamentos.

## **2.7 COLETA DE DADOS PARA SIMULAÇÃO**

### **2.7.1 Coleta dos Dados**

De acordo com Freitas Filho (2001), para que um modelo possa criar história artificial do sistema real, é necessário que se determine um modelo estocástico, capaz de descrever todos os processos do sistema. O uso de distribuições empíricas ou teóricas fornece uma margem na devem satisfazer o sistema real, portanto a coleta de dados e a escolha do modelo estocástico utilizados para representar a simulação é fator decisivo para se chegar a um modelo que seja capaz de descrever a situação real.

Segundo Freitas Filho (2001, p.138), “*todo processo de identificação da distribuição de probabilidade mais adequada a expressar o comportamento da variável aleatória, sob estudo começa obrigatoriamente pela coleta de dados*”. Este costuma ser um problema, pois como o projeto vai amadurecendo aos poucos, há uma dificuldade em se determinar quais dados serão levados em consideração na análise e erros na coleta de dados são muito comum, isso criará um sistema na qual não é capaz de descrever o comportamento do sistema real em análise.

Segundo Freitas Filho (2001, p. 138), “na maioria dos problemas envolvendo a simulação de sistemas reais, a determinação e coleta de dados é uma tarefa difícil e demorada. Em geral, enfrentam-se duas situações básicas: a existência ou possibilidade de obtenção de dados e a não existência ou impossibilidade de obtenção de dados.” Na grande maioria das vezes enquadram-se, no primeiro caso, modelos baseados em sistemas reais existentes e acessíveis. No segundo caso, encontram-se aqueles modelos de sistemas que ainda não existem. No entanto, algumas vezes, mesmo com a existência física do sistema a ser modelado, os dados desejados não existem ou não é possível obtê-los. Muitas vezes pertencem ao passado tornando impossível uma nova coleta.

Os dados podem ser obtidos através de:

- Arquivos históricos relatando os dados do sistema;
- Provenientes de observações do sistema de estudo;
- Oriundos de sistemas similares
- Determinados com base em estimativas de operadores;
- Obtidos com base em afirmações de vendedores de maquinas, equipamentos, etc;
- Estimativas de projetistas de sistemas, ou mesmo;
- Considerações teóricas sobre o sistema.

### **2.7.2 Verificação e validação dos dados**

A validação dos dados assegura que os dados pressupostos e as simplificações consideradas durante o desenvolvimento sejam razoáveis e estejam corretamente implantadas durante a análise do sistema.

O modelo deve, à primeira vista, parecer razoável a pessoas que já têm algum conhecimento do sistema, entretanto a análise das informações coletadas é muito importante, essas informações podem ser coletadas através das seguintes formas:

- Consultar pessoas familiarizadas com o sistema;
- Fazer uso de observações do sistema ou de um sistema semelhante;
- Compreender claramente as suposições teóricas efetuadas na construção do modelo;
- Utilizar os resultados de modelos de simulação similares;
- Utilizar a experiência e intuição.

Segundo Prado (2001), o processo de validação deve abordar três aspectos principais:

- a. Os que envolvem as simplificações e os pressupostos adotados na modelagem do sistema;
- b. Os que consideram os parâmetros utilizados como entrada de dados e as distribuições utilizadas para representarem os aspectos de aleatoriedade;
- c. Os que envolvem as considerações adotadas quando as análises e conclusões formuladas diante dos resultados obtidos pelas simplificações.

A validação procura reduzir as desconfianças e aumentar a credibilidade do modelo.

Os objetivos da validação são:

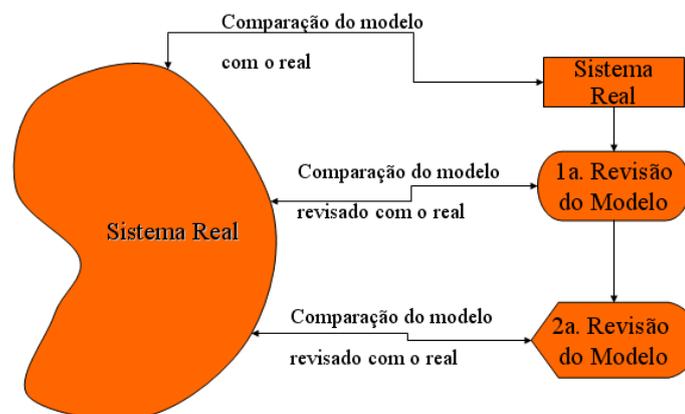
- Produzir um modelo que represente o mais próximo possível o comportamento do sistema real a fim substituí-lo em experimentos.
- Aumentar o nível de aceitação e credibilidade do modelo, para que possa ser usado por gerentes e tomadores de decisão.

A verificação está relacionada à construção correta do modelo, verifica se está implementado corretamente, analisa os parâmetros de entrada e estrutura lógica do modelo. A Figura 10, apresenta as etapas para se obter um modelo confiável.



**Figura 10: Validação e verificação do modelo**

Para conseguir modelo de dados consistentes, a calibragem é uma técnica muito utilizada, na qual através de ajustes iterativos nos dados coletados é possível simular diversas vezes o sistema até obter a situação desejada. Após coletar os dados no sistema real é possível elaborar um modelo que possa ser simulado pelo Arena e analisado as informações. A Figura 11 representa os processos iterativos utilizados para calibrar os dados no modelo.



**Figura 11: Calibragem dos dados**

### 3 METODOLOGIA

Este trabalho pode ser classificado pelo ponto de vista da natureza, em relação aos objetivos desejados e aos procedimentos adotados.

Pela natureza ele é considerado um trabalho de pesquisa aplicada que utilizando o conhecimento adquirido busca propor uma solução para o problema das filas no RU.

Em relação aos objetivos é considerada uma pesquisa exploratória, pois necessita identificar informações e levantamentos de dados para propor uma solução.

E por fim em relação aos procedimentos é considerado um estudo de caso sobre o RU da UEM, destacando o estudo sobre filas e chegada aleatórios de usuários no mesmo.

A seguir são descritos detalhadamente cada procedimento:

- a) Revisão da literatura abrangendo os seguintes assuntos:
  - i. Simulação, destacando métodos de desenvolvimento de modelos, técnicas para análise e interpretação dos dados, assim como os principais erros envolvidos durante a interpretação dos resultados;
  - ii. Teorias das filas, destacando métodos para análise e comportamento das filas envolvidas neste trabalho;
  - iii. Software Arena destacando seus principais recursos, módulos e suas características.
  
- b) Trabalho de campo para levantamento de dados e informações incluíram a realização de:
  - i. Levantamento de dados históricos do número de refeições oferecidas diariamente no RU;
  - ii. Quantificar o numero de pessoas que chegam ao RU por minuto e anotar os valores em uma planilha, com o auxilio do cronômetro controlando o tempo decorrido, para as seguintes atividades: compra de tickets e chegada na fila;
  - iii. Entrevistas com funcionários do RU para identificar informações importantes sobre as atividades desenvolvidas durante o atendimento aos usuários.

c) Desenvolvimento da monografia:

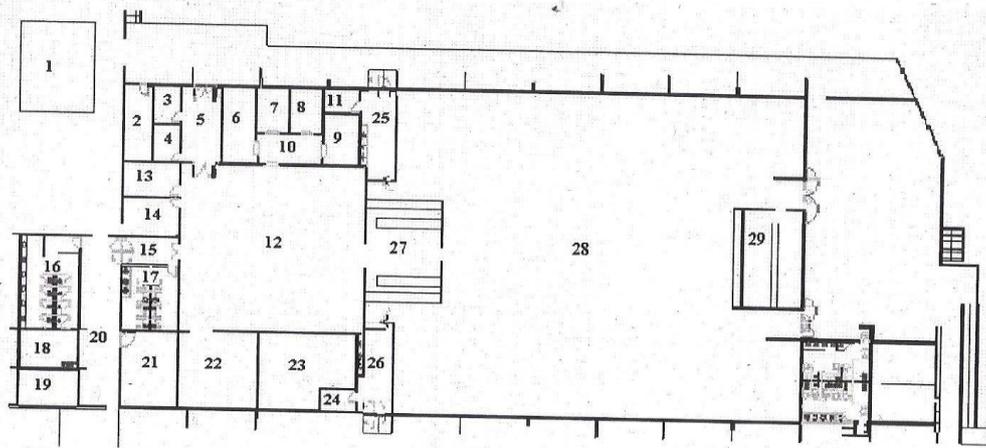
- i. Análise do tempo cronometrado, para identificar o ritmo de vendas de tickets, o ritmo de chegada dos usuários nas filas e o ritmo de atendimento dos funcionários.
- ii. Identificar todas as variáveis envolvidas no processo, tendo assim o controle das principais atividades realizadas para encontrar possíveis problemas durante o atendimento;
- iii. Criar um modelo que descreva o fluxo das atividades durante o atendimento aos usuários;
- iv. Desenvolver a programação do modelo usando o software Arena de simulação;
- v. Simular várias situações para encontrar diversas soluções para o problema;
- vi. Apresentar as soluções obtidas após a simulação.

## 4 CARACTERÍSTICAS DO ESTUDO DE CASO

### 4.1 Restaurante Universitário

O RU foi inaugurado em 1980 com o objetivo de atender a comunidade acadêmica servindo refeições de segunda a sábado (café da manhã, almoço e jantar), conta com 50 funcionários, dividido em diversas funções e realizam revezamento entre 2 turnos. Os cardápios são selecionados por nutricionistas do próprio RU, visando atender as necessidades nutricionais dos usuários. Estes cardápios são definidos com antecedência, assim como o planejamento da quantidade que deve ser preparada para atender a todos os usuários.

O RU apresenta uma área total construída de 2200 m<sup>2</sup>, a Figura 12, apresenta a planta baixa do RU.lk



Anexo 01: Planta Base do Restaurante Universitário

LEGENDA:		
1-Almoxarifado	13-Sala de eletricidade	24-Bilheteria
2-Sala do motor	14-Escritório	25-Entrada/lavatório
3-Escritório	15-Corredor	26-Entrada/lavatório
4-Depósito de leite	16, 17-Sanitário	27-Pasteur
5-Central de recebimento	18-Lavanderia	28-Refeitório
6,7,8,9-Câmara fria	19-Depósito	29-Lava-louça
10-Sala de corte	20-Corredor	
11-Bilheteria	21-Caldeira	
12-Cozinha	22-Almoxarifado	
	23-Lava-louça	

Figura 12: Planta baixa do RU

## 4.2 Coleta de dados

A Figura 13 apresenta o balanço anual do número de refeições servidas durante o ano letivo de 2008. Este dados apresentados serviram de base para o planejamento da demanda ano de 2009, pois a variação entre os anos é muito pequena.

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
PRÓ-REITORIA DE RECURSOS HUMANOS E ASSUNTOS COMUNITÁRIOS  
DIRETORIA DE ASSUNTOS COMUNITÁRIOS  
RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO

### DEMONSTRATIVO FÍSICO DOS PASSES RECEBIDOS/MENSAL

DATA-DEZEMBRO-08

FONTE DE ARRECADAÇÃO E CATEGORIAS	CATRACA			SALDO ANTERIOR	TOTAL DE PASSES RECEBIDOS
	ALMOÇO	JANTAR	SOMA		
ESTUDANTE AVULSO	2.583	0	2.583	195.338	197.921
ESTUDANTE MENSAL	1.105	0	1.105	215.941	217.046
SERVIDOR AVULSO	423	0	423	35.273	35.698
ALUNO/SERVIDOR CAFÉ	0	0	0	12.885	12.885
DOCENTE AVULSO	20	0	20	1.217	1.237
MARMITEX	47	0	47	4.299	4.346
SUB-TOTAIS	4.178	0	4.178	464.953	469.131
FUNCIONARIO DO RU-I	148	0	148	12.153	12.301
BOLSISTA	15	0	15	3.109	3.124
TOTAIS	4.341	0	4.341	480.215	484.558

AS CATEGORIAS DE FUNCIONARIOS DO RU, BOLSISTA E MARMITEX NÃO SÃO REGISTRADAS NA CATRACA

CONTROLE DAS CATRACAS	Nº ANTER.	Nº ATUAL	ENTRADAS
CATRACA Nº 01	166.840	166.840	0
CATRACA Nº 02	298.113	302.291	4.178

### CONTROLE DE REFRIGERANTES

	ALMOÇO	JANTAR	SOMA	SALDO	TOTAL
REFRIGERANTE(COPOS)	0	0	0	0	0

### BASE DE DADOS

ESPECIFICAÇÃO	PAGTES	FUNC./ BOLSIST.	TOTAL GER.
REFEIÇÕES SERVIDAS	4.178	163	4.341
DIAS DE FUNCIONAMENTO	5	5	5
MÉDIA DE REFEIÇÕES/DIA	836	33	868

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ

  
Valdecir Aparecido Casagrande  
CHEFE DO RU-I

CHEFE DO RU-I

  
RESPONSÁVEL PELA CATRACA

Figura 13: Demonstrativo físico de 2008.

O RU possui 66 mesas com capacidade para 12 pessoas, totalizando um atendimento máximo de 800 pessoas.

Os modelos das filas para compra de tickets e na catraca são do tipo FIFO (*first in First Out*), já o tempo de permanência nesta depende do ritmo de atendimento dos funcionários e do tamanho da fila. O acesso ao RU ocorre por duas entradas, localizadas em ambos os lados do próprio restaurante, em cada lado há um ponto de venda de tickets. Este serviço é oferecido para quatro perfis diferentes de usuários:

- Acadêmicos;
- Acadêmicos mensalistas (com desconto);
- Funcionários;
- Terceiros.

#### 4.2.1 Operacionalização do Restaurante

O usuário pode comprar o ticket e seguir ao final da fila ou simplesmente entrar diretamente no final da fila, A Figura 14 destaca sequencialmente as principais atividades realizadas pelos funcionários e usuários. Em azul claro destacam-se as atividades realizadas exclusivamente pelos usuários e as de azul escuro são as atividades realizadas pelos funcionários.

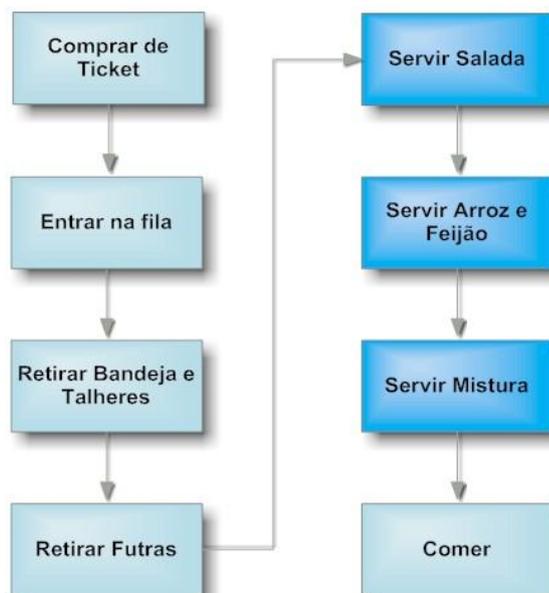
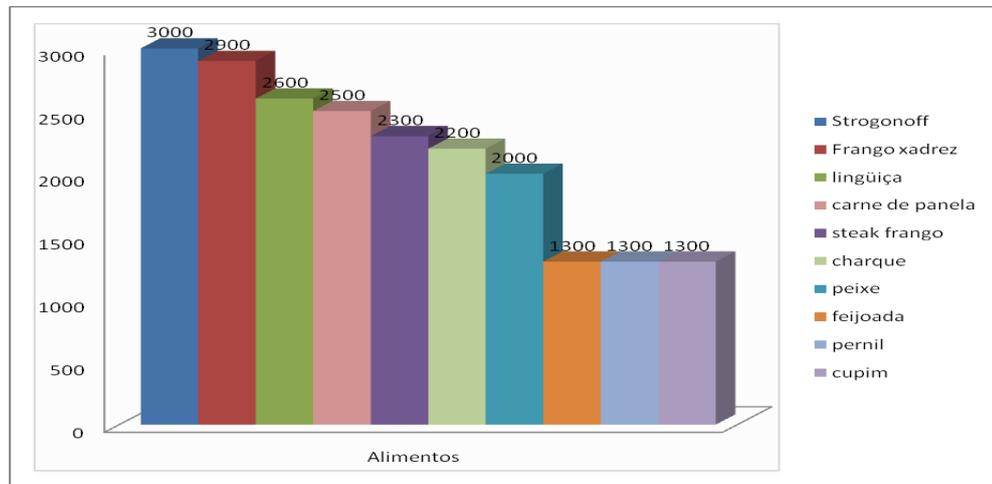


Figura 14: Fluxo de atividades no atendimento aos usuários

A demanda diária varia conforme o cardápio. A Figura 15 destaca uma classificação entre os principais cardápios e o número de refeições preparadas para atender a demanda de usuários.



**Figura 15: Classificação pela demanda das principais refeições servidas no RU**

Na Figura 16, visualisa-se o tamanho da fila, ocupando todo corredor do lado direito do RU, chegando até a cantina central. Este tamanho da fila varia com o cardápio oferecido.



**Figura 16: Fila no RU**

Na Figura 17, o funcionário do RU recebe os tickets dos usuários, realizando uma contagem do número de tickets apresentados pelos usuários do RU.



**Figura 17: Entrega dos tickets e passagem pela catraca**

Na figura 18, os funcionários estão servindo os usuários do RU.



**Figura 18: Funcionários servindo os acadêmicos**

A figura 19 destaca os usuários do RU almoçando e o movimento interno.



**Figura 19: Acadêmicos no refeitório.**

## 5 COLETA E ANALISE DOS DADOS

### 5.1 DADOS COLETADOS

A Tabela 1 apresenta a quantidade de pessoas que chegaram ao RU por minuto para compra de tickets, estes dados foram coletados no dia 01 de Setembro de 2009, a intersecção de linha e coluna determina o instante  $t$  em minutos que os usuários chegaram ao RU, às linhas representam as unidades e a colunas e as dezenas, assim no instante:

- T( 02 minutos) chegou 1 usuário;
- T(05 minutos) chegaram 6 usuários;

. Estes dados foram obtidos através da contagem do numero de usuários que chegaram por minuto no RU e foram registrados em uma planilha.

**Tabela 1: Usuários que chegaram por minuto para compra dos tickets.**

<i>T(minutos)</i>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>TOTAL</b>
<b>0</b>	2	1	4	3	6	2	3	0	7	2	30
<b>1</b>	2	5	5	8	6	2	4	3	4	4	43
<b>2</b>	6	7	3	6	0	2	0	3	2	2	31
<b>3</b>	1	3	0	7	7	0	2	3	1	6	30
<b>4</b>	2	0	4	0	4	1	7	4	4	6	32
<b>5</b>	6	5	2	6	2	7	3	0	2	0	33
<b>6</b>	7	4	0	1	2	8	3	4	7	4	40
<b>7</b>	2	2	6	1	3	2	2	6	5	2	31
<b>8</b>	3	1	0	5	6	5	6	7	6	0	39
<b>9</b>	4	5	0	1	4	1	3	1	1	6	26
<b>10</b>	1	0	2	4	0	7	1	5	6	7	33
<b>11</b>	6	2	5	2	5	4	0	1	4	3	32
											400

A Figura 20 representa a variação do número de usuários chegando para compra de tickets por minuto no RU, as chegadas são aleatórias e não obedecem a nenhum padrão.

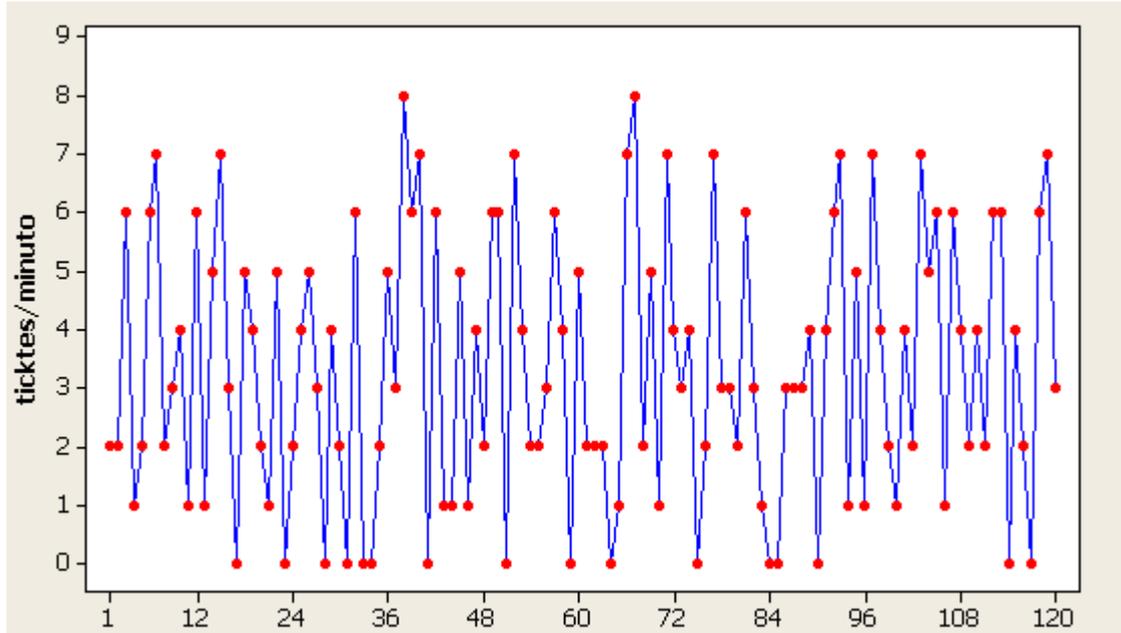


Figura 20: Variação do número de usuários chegando para compra dos tickets por minuto.

A figura 21 mostra a somatória da venda de tickets ao longo do tempo.

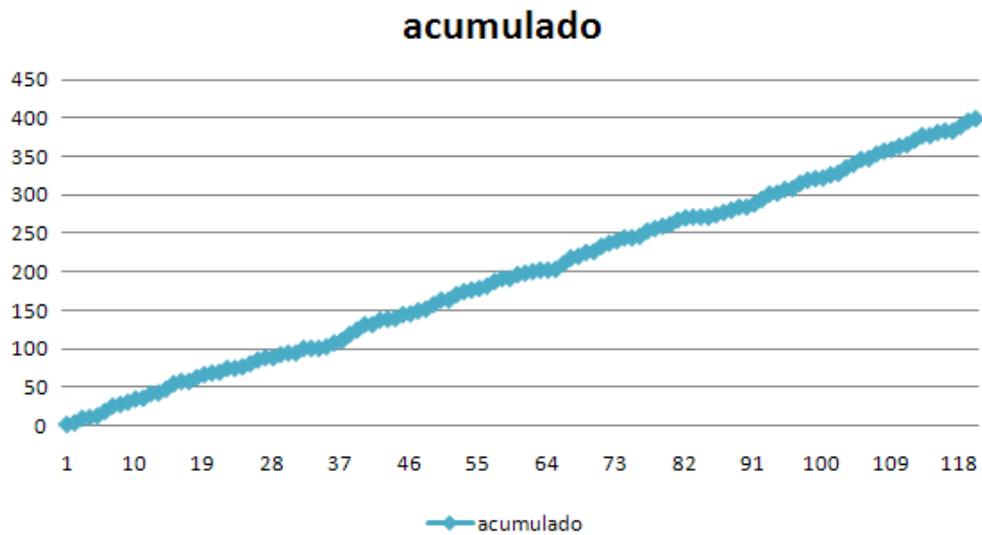


Figura 21: Valor acumulado dos tickets vendidos

A Tabela 2 apresenta a quantidade de pessoas que chegaram à fila do RU por minuto, estes dados foram coletados no dia 01 de Setembro de 2009, a intersecção de linha e coluna determina o instante  $t$  em minutos que os usuários entraram na fila, às linhas representam as unidades e a colunas e as dezenas, assim no instante:

- T( 02 minutos) chegaram 13 usuários;
- T(05 minutos) chegaram 8 usuários;

Tabela 2: Usuários que chegaram por minuto na fila do RU

<i>T(minutos)</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL
0	12	13	6	11	8	9	3	10	8	12	92
1	10	1	7	9	0	3	4	10	1	11	56
2	5	8	13	12	14	7	14	9	10	12	104
3	12	6	10	4	12	4	7	4	10	11	80
4	7	14	7	12	5	13	10	10	9	14	101
5	7	3	10	10	12	15	9	14	9	10	99
6	19	15	8	13	25	10	7	19	12	21	149
7	24	2	7	22	4	8	11	6	8	23	115
8	16	10	9	9	14	3	21	14	11	12	119
9	12	8	0	17	13	15	8	4	9	14	100
10	5	14	1	3	17	8	14	7	13	14	96
11	11	9	5	11	1	14	12	15	8	15	101
											1212

A Figura 22 representa a variação do número de usuários chegando por minuto na fila do RU. As chegadas são aleatórias e não obedecem a nenhum padrão. Percebe-se uma pequena concentração de usuários logo no início do atendimento e depois o número volta a subir próximo aos primeiros 60 minutos de atendimento, depois se estabiliza, apresentando apenas alguns picos isolados.

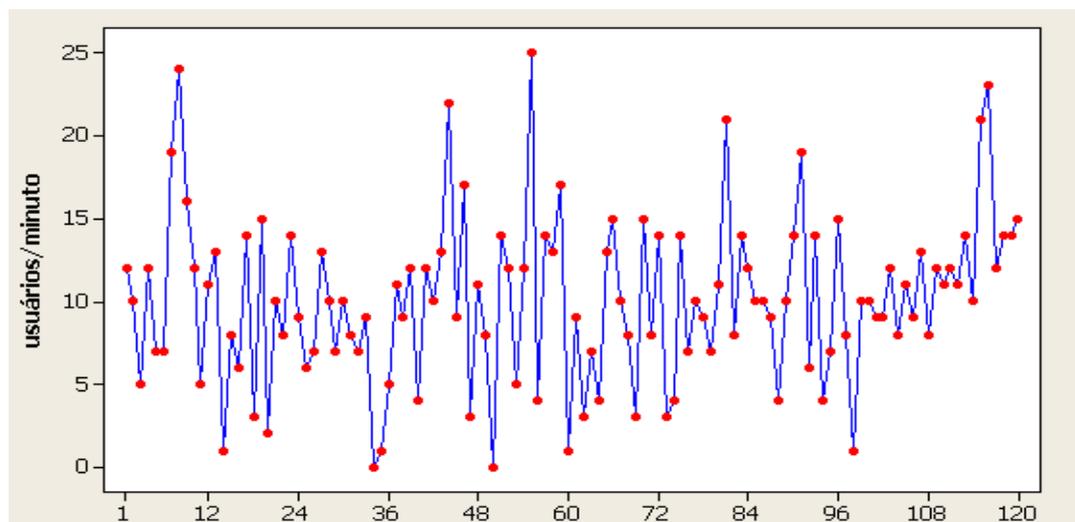


Figura 22: Variação do número de usuários entrando na fila por minuto.

A Figura 23 mostra a somatória do número de usuários entrando na fila do longo do tempo de

atendimento.



Figura 23: Valor acumulado das chedas chegadas dos usuários.

## 5.2 TRATAMENTO DOS DADOS

Uma das etapas para criar um modelo preciso, consiste na correta análise e manipulação dos dados coletados, esta etapa é tão importante quanto realizar validação e verificação do modelo. O software Arena disponibiliza uma ferramenta conhecida por *Input Analyzer*, que determina uma distribuição estatística capaz de descrever o comportamento real da chegada dos usuários no RU.

Esta ferramenta presente no ARENA determina a distribuição de probabilidades que melhor adere certo conjunto de dados.

Faz aderência de distribuições específicas (pertencentes ao software). Permite a comparação de várias distribuições. Mostra os efeitos da troca dos parâmetros das distribuições e permite a manipulação dos dados de entrada.

### 5.2.1 Informações importantes para interpretação dos resultados do Input Analyzer

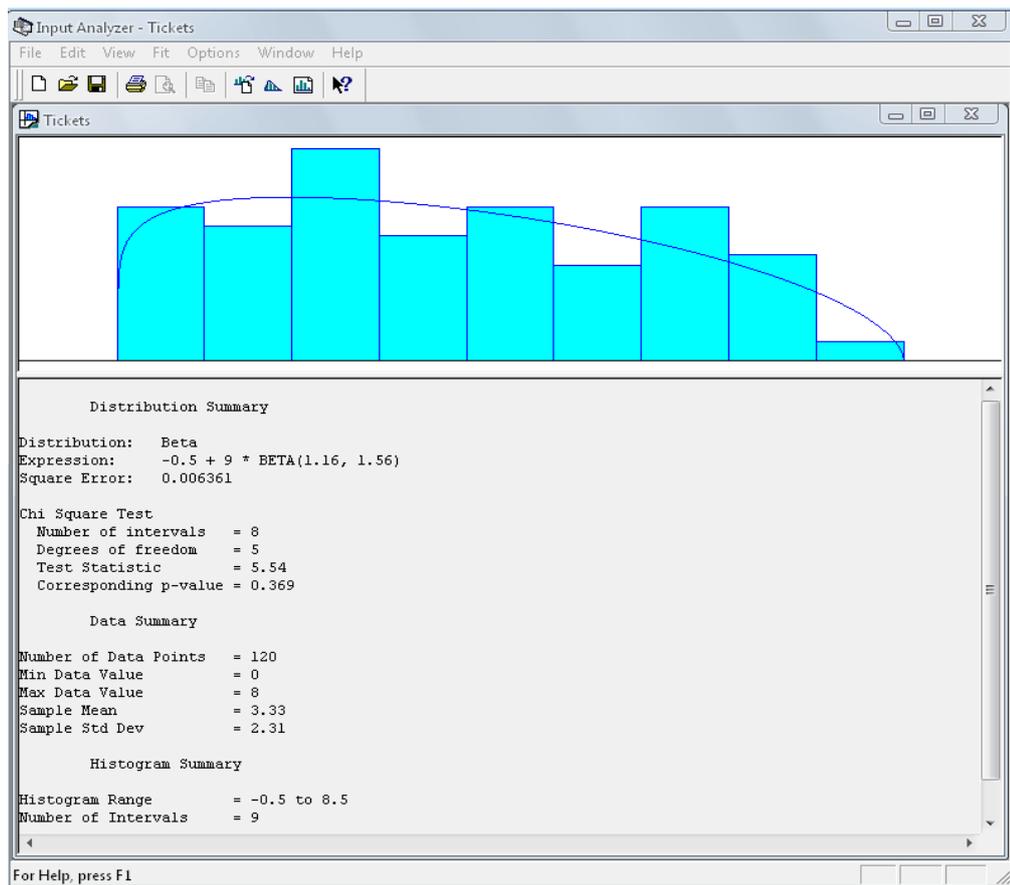
Os testes de aderência Qui-Quadrado e KS também são mostrados. Valores de p (p value) menores que 0.1 são geralmente considerados valores de aderência fracos. Mais precisamente, o p value é a probabilidade de obtenção de um conjunto de dados mais inconsistente com a

distribuição escolhida do que o conjunto de dados que você realmente obteve.

Diferentes testes estatísticos podem definir as distribuições de forma diferente. Também mudanças na preparação dos dados podem influir na escolha (por exemplo, a quantidade de classes).

### 5.2.2 Resultados do Input Analyzer para venda de tickets

A primeira análise utilizando o Input Analyzer realizada para os usuários que compraram tickets. Na Figura 24 é possível observar o histograma dos dados coletados e a curva e ajuste aos dados analisados.



**Figura 24:** Histograma da venda dos tickets e curva de ajuste aos dados analisados.

As estatísticas em relação o número de vendas de tickets são:

- Média de 3.33 tickets/minutos;
- Desvio padrão de 2.31 tickets/minutos;

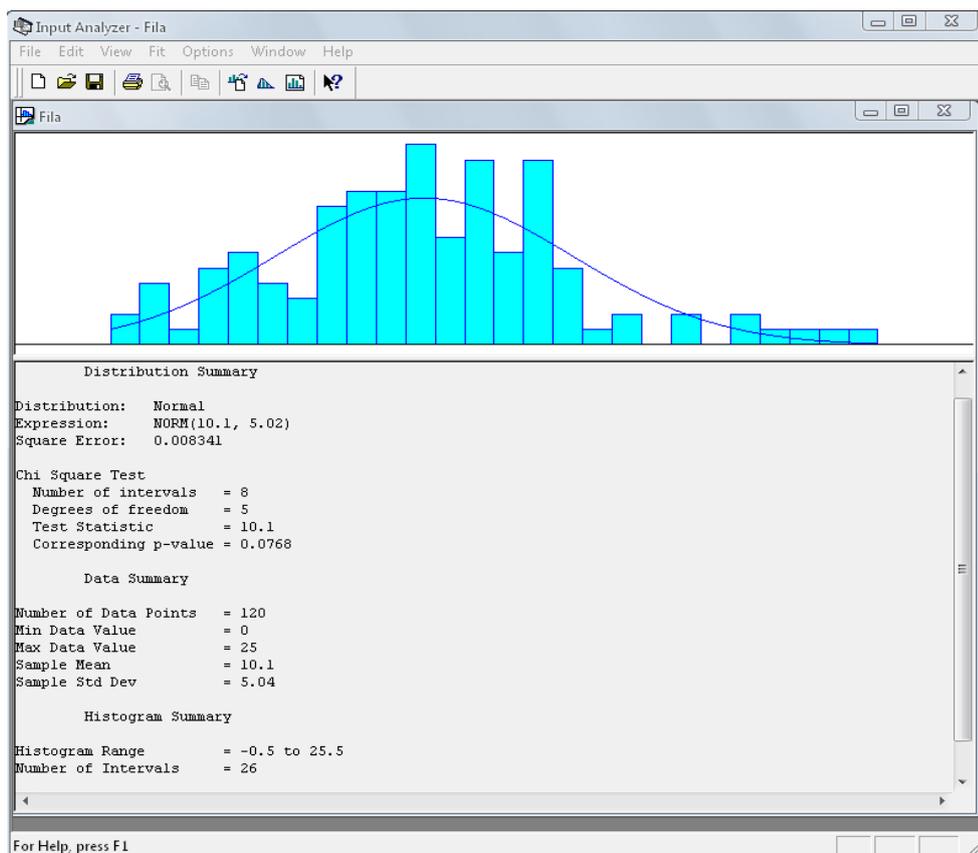
- Numero máximo de tickets vendidos em um minuto foi de 8;

A melhor função capaz de representar os dados coletados obedece a uma distribuição beta com as seguintes características:

- Distribuição BETA
- Expressão:  $-0,5 + 9 * \text{BETA}(1.16, 1.56)$
- Erro: 0,006361

### 5.2.3 Resultados do Input Analyzer para fila do RU

A segunda análise utilizando o Input Analyzer realizada para os usuários que chegaram à fila do RU. Na Figura 25 é possível observar o histograma dos dados coletados e a curva e ajuste aos dados analisados.



**Figura 25: Histograma dos usuários na fila do RU e curva de ajuste aos dados analisados.**

As estatísticas em relação aos usuários na fila do RU são:

- Média de 10.1 tickets/minutos;
- Desvio padrão de 5.02 tickets/minutos;
- Número máximo de pessoas que entraram na fila em apenas 1 minuto foi de 25;

A função que capaz de representar os dados coletados e analisados obedece a uma distribuição normal com as seguintes características:

Distribuição Normal;

- Expressão:  $NORMAL(10.1, 5.02)$ ;
- Erro: 0,008341

## **6 SIMULAÇÃO**

### **6.1 Atividades envolvidas na Simulação**

Para criar o modelo é necessário identificar todas as variáveis envolvidas no processo, analisando as influências que elas provocam no sistema e por fim criar um modelo que atenda a seqüência lógica das atividades realizadas pelos funcionários.

As principais atividades realizadas pelos funcionários do RU foram:

- Vender Tickets;
- Receber Tickets na catraca;
- Servir salada;
- Servir feijão e arroz;
- Servir mistura;

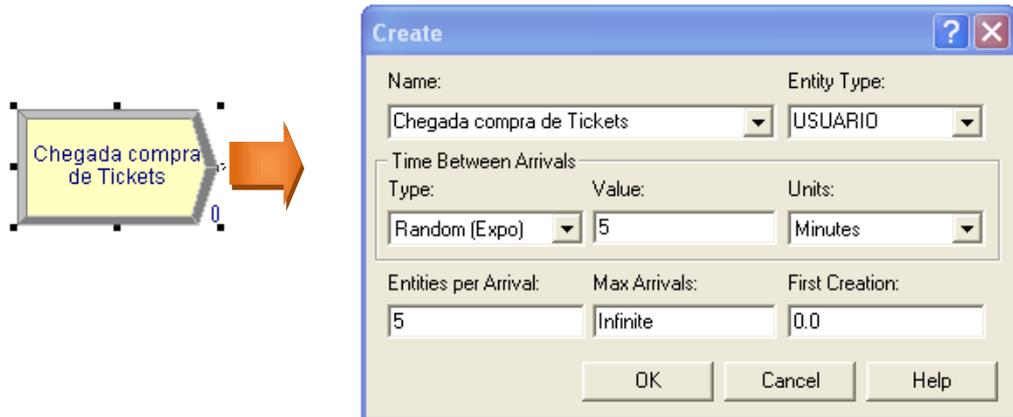
A partir da seqüência das atividades realizadas pelos funcionários, o conhecimento do comportamento dos usuários no sistema e o tempo de todas as atividades envolvidas nos processos ou as distribuições estatísticas que descrevam o comportamento real das variáveis, inicia-se o desenvolvimento do modelo no Arena com a criação de estações de trabalho para cada atividade obedecendo às características analisadas.

### **6.2 Cenário I**

A primeira simulação é experimental, os dados utilizados para desenvolvimento do modelo representam as informações médias utilizadas para planejamento da demanda do cardápio diário. Este primeiro cenário corresponde à visão que os funcionários do RU esperam do comportamento do sistema. Para criar este modelo não foi utilizada ferramentas para analisar os dados coletados, o único critério é baseado nas informações e experiências dos funcionários.

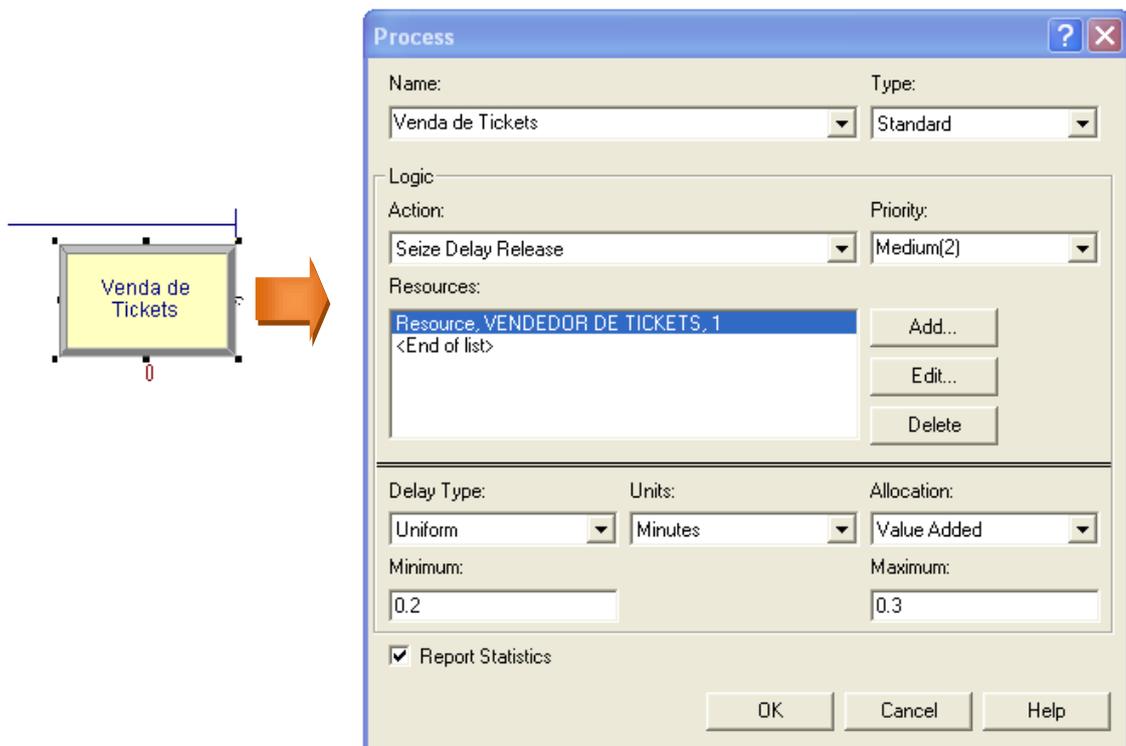
A Figura 26, destaca o modulo designado para compra dos tickets, chegando 5 usuários por vez, o tempo de chegada obedece a uma função exponencial. A Entity Type representa os usuários

que estarão movimentando pelo sistema.



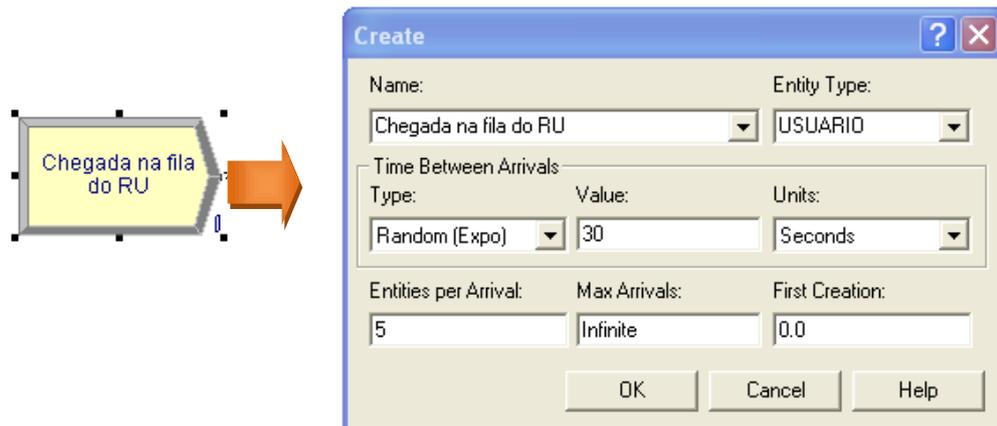
**Figura 26: Intervalo entre chegada na compra dos tickets**

A Figura 27 representa a venda dos tickets, a duração obedece a uma distribuição uniforme entre 0,2 e 0,3 minutos, ou seja, o tempo de venda de cada tickets está no intervalo entre 12 e 18 segundos. Como ação destaca um *Seize Delay Release*, isso significa que o usuário chega, ocupa e libera o recurso, neste caso o recurso é representado pelo funcionário vendedor de tickets.



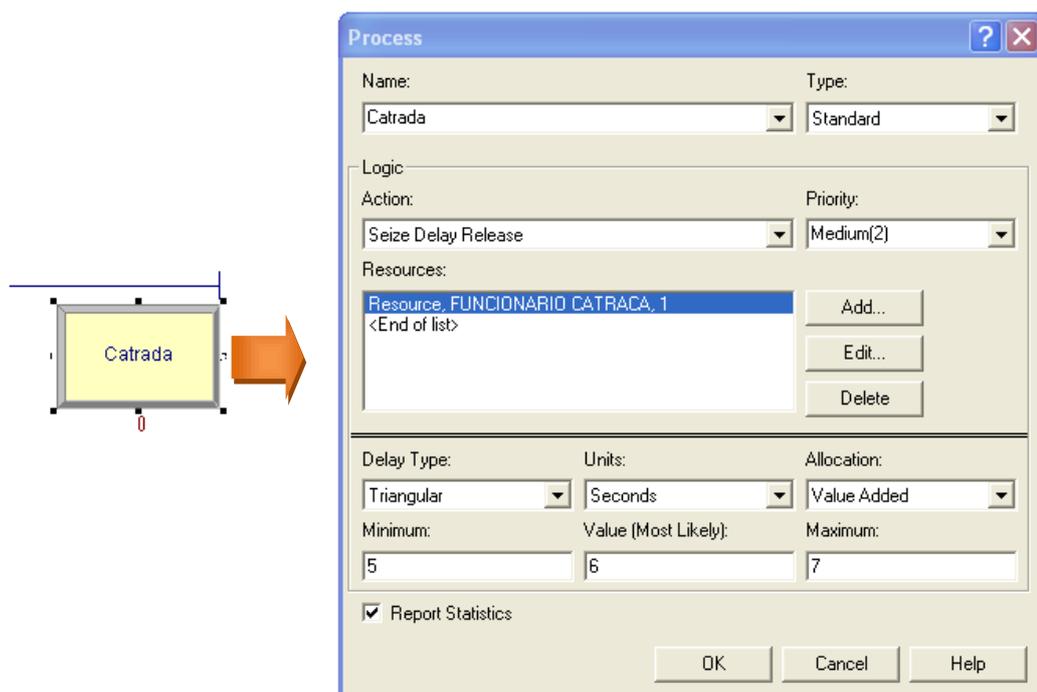
**Figura 27: Valores do processo de venda de tickets**

A Figura 28 destaca a programação da chegada dos usuários na fila, chegando 5 usuários por vez, o tempo de chegada obedece a uma distribuição exponencial. A *Entity Type* representa os usuários que estarão se movimentando pelo sistema.



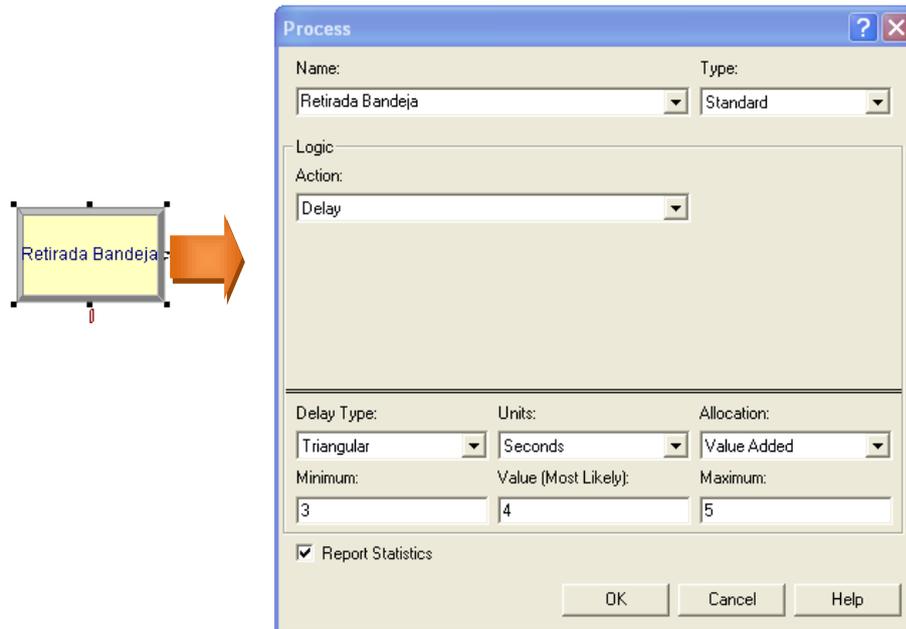
**Figura 28: Intervalo entre chegada na fila do RU**

A Figura 29 representa a programação da venda dos tickets, a duração obedece a uma distribuição triangular(5,6,7). Como ação destaca um *Seize Delay Release*, isso significa que o usuário chega, ocupa e libera o recurso, neste caso o recurso é representado pelo funcionário responsável pela catraca.



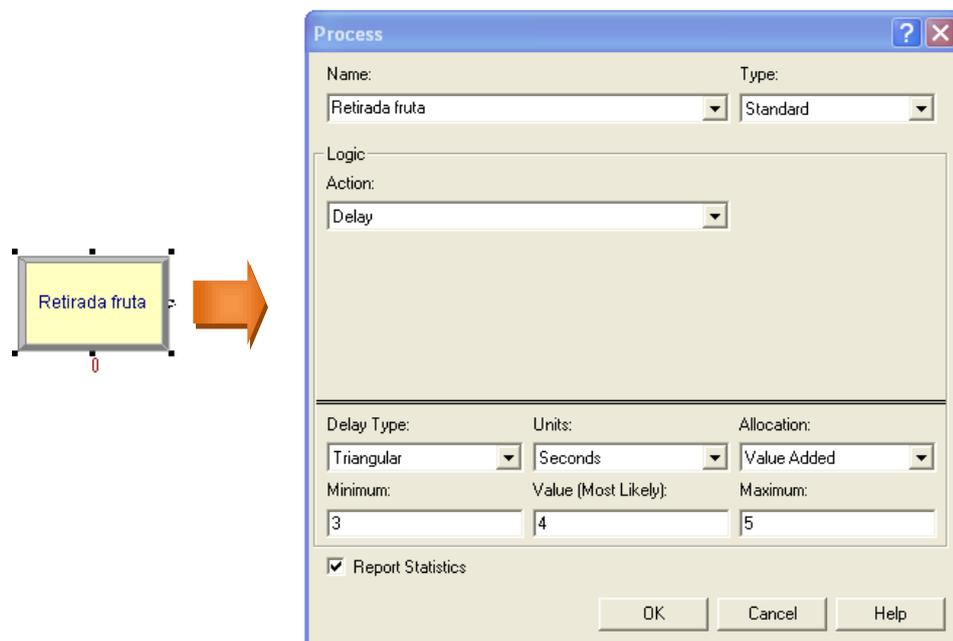
**Figura 29: Valores do processo na catraca**

A Figura 30 representa a retirada da bandeja, a duração obedece a uma distribuição triangular (3,4,5). Como ação destaca um *Delay*, isso significa que o usuário realiza a sua atividade, não ocupa recurso do sistema.



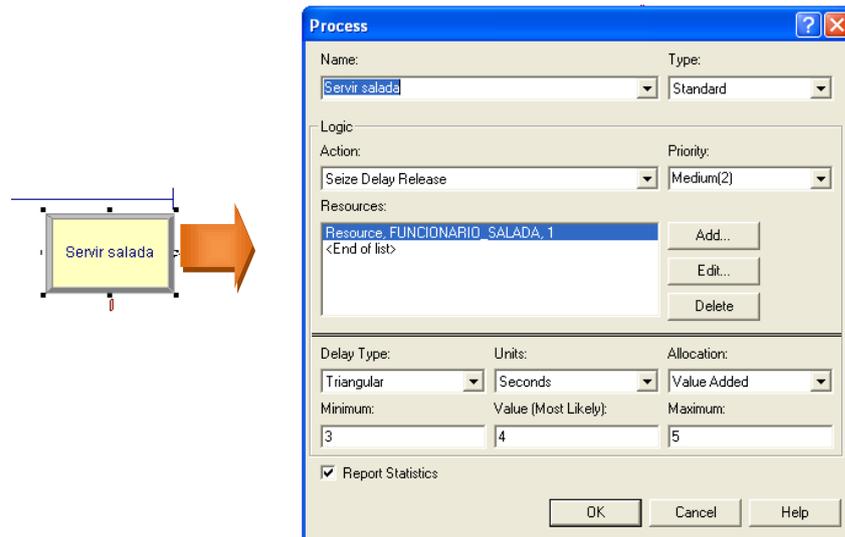
**Figura 30: Processo de retirada da bandeja**

A Figura 31 representa a retirada da fruta, a duração obedece a uma distribuição triangular (3,4,5). Como ação destaca um *Delay*, isso significa que o usuário realiza a sua atividade, não ocupa recurso do sistema.



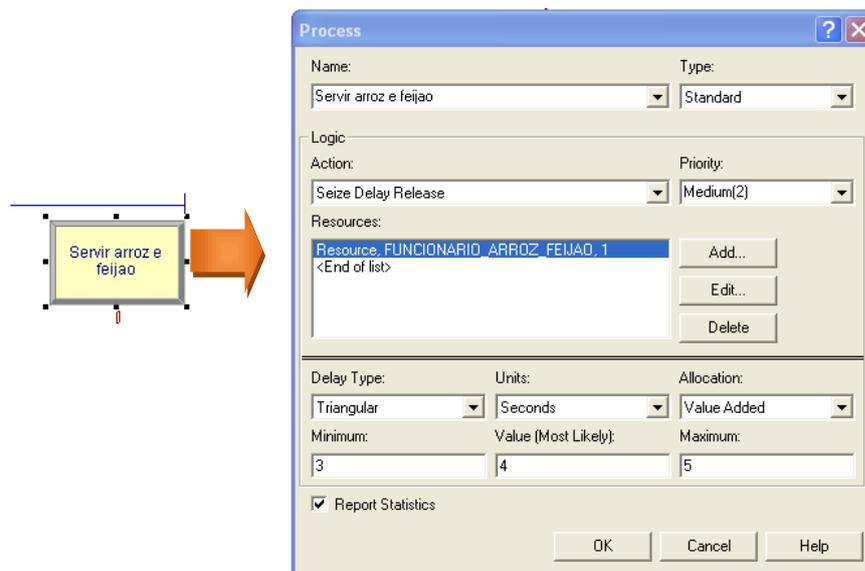
**Figura 31: Processo fruta**

A Figura 32 representa o processo de servir salada, a duração obedece a uma distribuição triangular (3,4,5). Como ação destaca um *Seize Delay Release*, isso significa que o usuário chega, ocupa e libera o recurso, neste caso o recurso é representado pelo funcionário servindo salada.



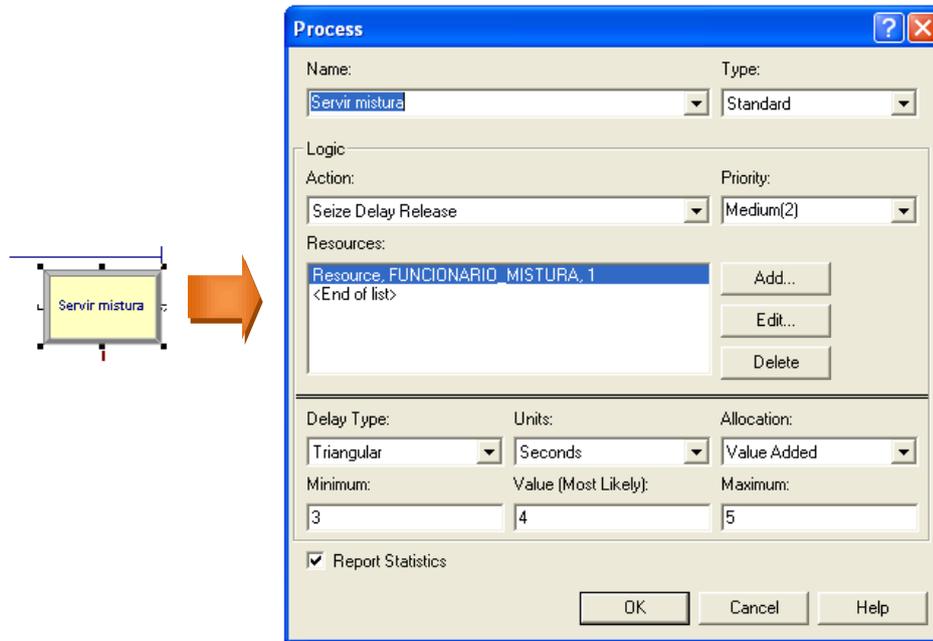
**Figura 32: Processo servir salada**

A Figura 33 representa o processo de servir arroz e feijão, a duração obedece a uma distribuição triangular (3,4,5). Como ação destaca um *Seize Delay Release*, isso significa que o usuário chega, ocupa e libera o recurso, neste caso o recurso é representado pelo funcionário servindo arroz e feijão.



**Figura 33: Processo servir arroz e feijão**

A Figura 34 representa o processo de servir salada, a duração obedece a uma distribuição triangular (3,4,5). Como ação destaca um *Seize Delay Release*, isso significa que o usuário chega, ocupa e libera o recurso, neste caso o recurso é representado pelo funcionário servindo mistura.



**Figura 34: Processo servir mistura**

## 6.2.1 Resultados Cenário I

### 6.2.1.1 Análise das entidades

Após a simulação o resultado destaca a chegada de 1232 usuários no RU, entretanto somente 1147 usuários saíram do RU, os demais permaneceram na fila. Essas informações podem ser visualizadas na Figura 35.

Number In	Value
USUARIO	1232
Number Out	Value
USUARIO	1147

**Figura 35: Numero de usuários no sistema**

## Time

VA Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
USUARIO	0.4651	0,008447644	0.3903	0.7577
NVA Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
USUARIO	0.00	0,000000000	0.00	0.00
Wait Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
USUARIO	4.8266	(Correlated)	0.00	9.6016
Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
USUARIO	0.00	0,000000000	0.00	0.00
Other Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
USUARIO	0.00	0,000000000	0.00	0.00
Total Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
USUARIO	5.2917	(Correlated)	0.3944	10.2838

**Figura 36: Análise do tempo ocupado pelos usuários.**

A Figura 36 apresenta que os usuários permaneceram no sistema um tempo médio de 5,29 minutos e o tempo máximo foi de 10,28 minutos. O tempo médio de espera na fila foi de 4,82 minutos e o tempo máximo de espera 9,60 minutos. O tempo médio de atendimento foi de 0,46 minutos e o máximo de 0,75 minutos.

### 6.2.1.2 Análise das filas

A Figura 37 destaca que a maior fila ocorre na catraca, apresentando um tempo médio de espera de 4,73 minutos e um máximo de 8,79 minutos, a venda de tickets apresenta um tempo médio de 0,79 minutos e um máximo de 3.33 minutos. Os demais processos não apresentaram fila significativa.

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Catrada.Queue	4.7378	(Correlated)	0.00	8.7990
Servir arroz e feijao.Queue	0.00016380	0,000064651	0.00	0.02405188
Servir mistura.Queue	0.00026985	0,000085346	0.00	0.01561905
Servir salada.Queue	0.00012845	0,000067432	0.00	0.02898529
Venda de Tickets.Queue	0.7938	(Insufficient)	0.00	3.3316

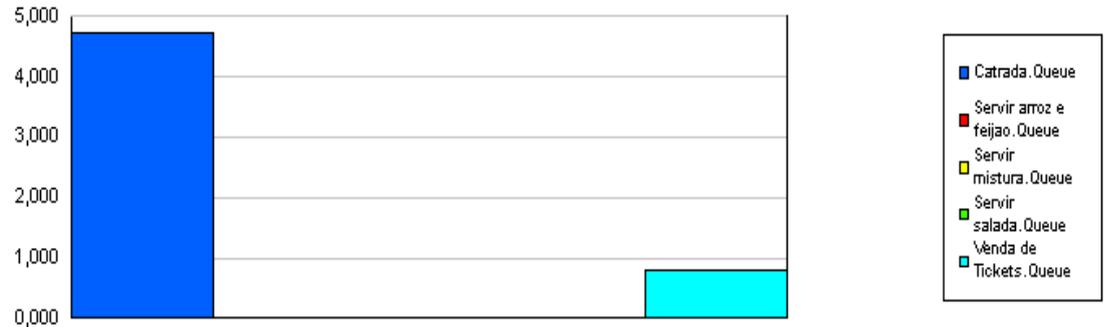


Figura 37: Tempo médio de espera nas filas

A Figura 38 destaca que o tamanho médio nas filas na catraca foi de 46 usuários e o tamanho máximo de 89 usuários. Na venda de tickets o tamanho médio foi de 1.27 usuários, já o tamanho máximo foi de 16 usuários.

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Catrada.Queue	46.8919	(Correlated)	0.00	89.0000
Servir arroz e feijao.Queue	0.00156704	(Insufficient)	0.00	1.0000
Servir mistura.Queue	0.00257934	(Insufficient)	0.00	1.0000
Servir salada.Queue	0.00122995	(Insufficient)	0.00	1.0000
Venda de Tickets.Queue	1.2771	(Insufficient)	0.00	16.0000

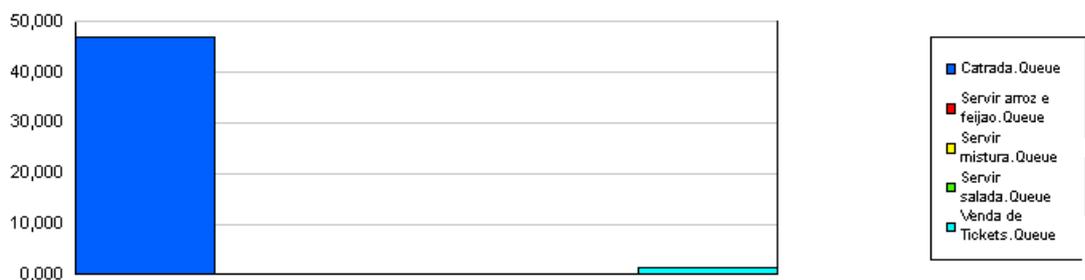


Figura 38: Tamanho médio das filas

### 6.1.2.3 Análise dos recursos

A Figura 39 destaca que o funcionário da catraca apresenta uma ocupação de 95%, já os demais funcionários responsáveis por servir apresentam uma ocupação de aproximadamente 63% e o vendedor de tickets 33%.

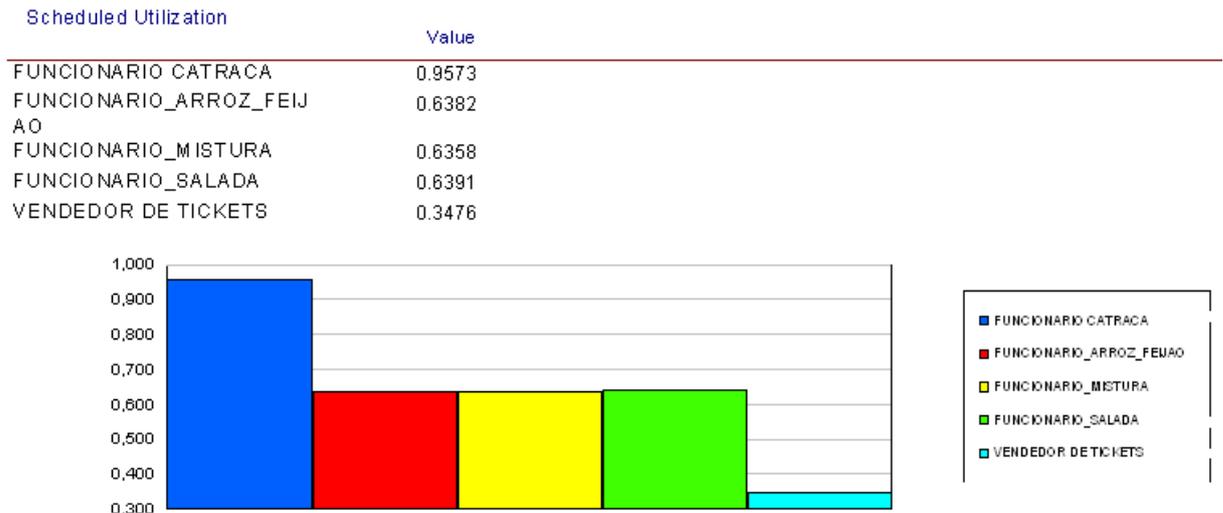


Figura 39: Índice de ocupação dos funcionários

### 6.3 Cenário II

Na segunda simulação para a configuração dos processos é utilizado os dados obtidos a partir da análise dos dados coletados e analisados pelo uso do *Input Analyzer*, assim este modelo representa o comportamento real dos usuários no RU.

Os dados utilizados são os mesmos do descrito no item 6.2 para os seguintes processos:

- Retirada de bandeja
- Retirada de fruta
- Servir salada
- Servir arroz e feijão
- Servir mistura

O processo de venda de tickets e o da catraca sofreram alterações, pois os dados utilizados correspondem à análise realizada Input Analyzer.

A Figura 40 destaca a chegada dos usuários para compra dos tickets, chegando 5 usuários por vez, o tempo de chegada obedece a uma função Beta determinada pela análise realizada pelo Input Analyzer. A *Entity Type* representa os usuários que chegam ao sistema.

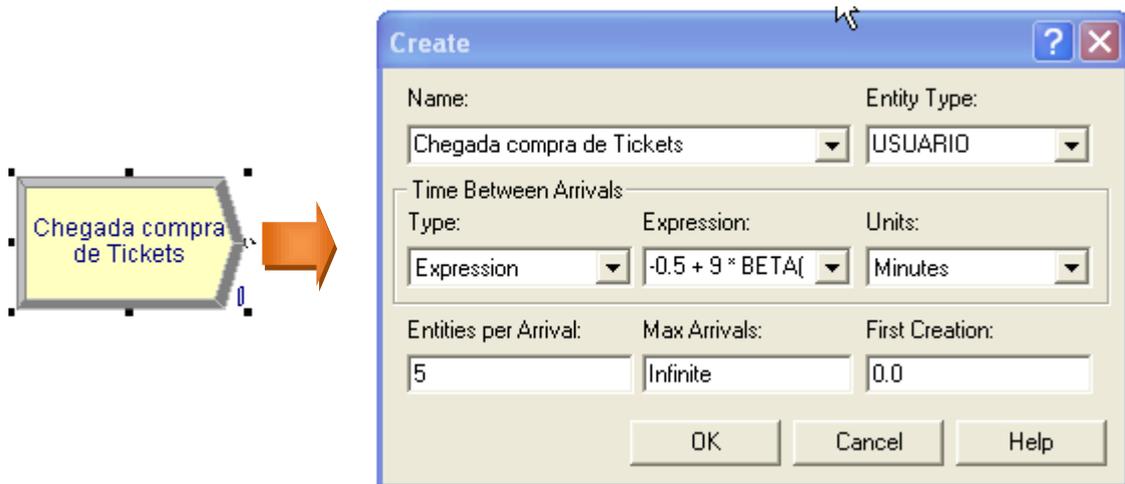


Figura 40: Intervalo entre chegada na compra dos tickets

A Figura 41 destaca a chegada dos usuários na fila do RU, chegando 2 usuários por vez, o tempo de chegada obedece a uma distribuição normal determinada pela análise realizada pelo Input Analyzer. A *Entity Type* representa os usuários que chegam ao sistema.

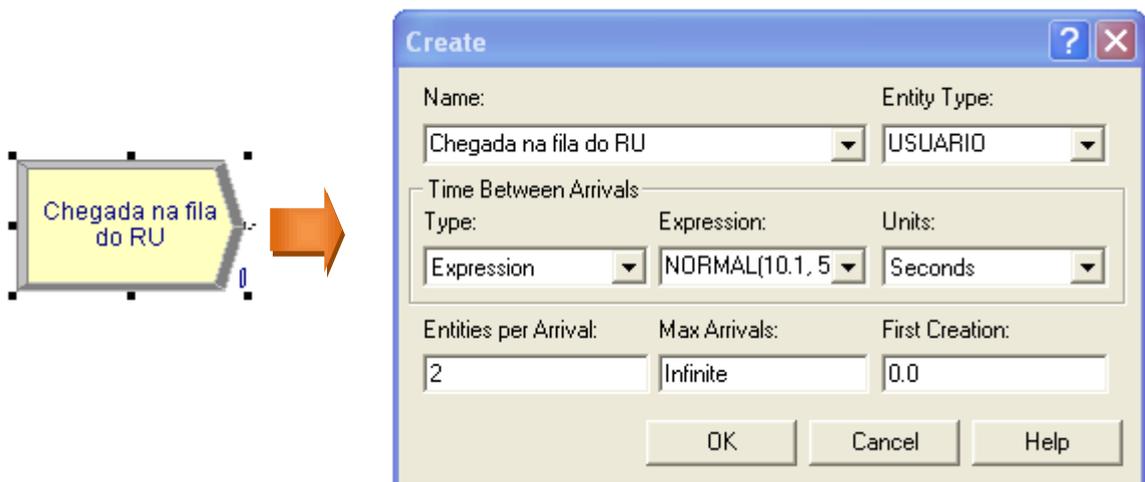


Figura 41: Intervalo entre chegada na fila do RU

## 6.3.1 Resultados Cenário II

### 6.3.1.1 Análise das entidades

Após a simulação o resultado destaca a chegada de 1622 usuários no RU, entretanto somente 1498 usuários saíram do RU, os demais permaneceram na fila. Essas informações podem ser visualizadas na Figura 42.

Number In	Value
USUARIO	1622

Number Out	Value
USUARIO	1498

**Figura 42: Numero de usuários no sistema**

A Figura 43 apresenta que os usuários permaneceram no sistema um tempo médio de 5,88 minutos e o tempo máximo foi de 9,30 minutos. O tempo médio de espera na fila foi de 5,46 minutos e o tempo máximo 8,90 minutos. O tempo de atendimento médio foi de 0,41 minutos e o máximo de 0,46 minutos.

### Time

VA Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
USUARIO	0.4138	0,000749554	0.3568	0.4674

NVA Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
USUARIO	0.00	0,000000000	0.00	0.00

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
USUARIO	5.4699	(Correlated)	0.00	8.9019

Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
USUARIO	0.00	0,000000000	0.00	0.00

Other Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
USUARIO	0.00	0,000000000	0.00	0.00

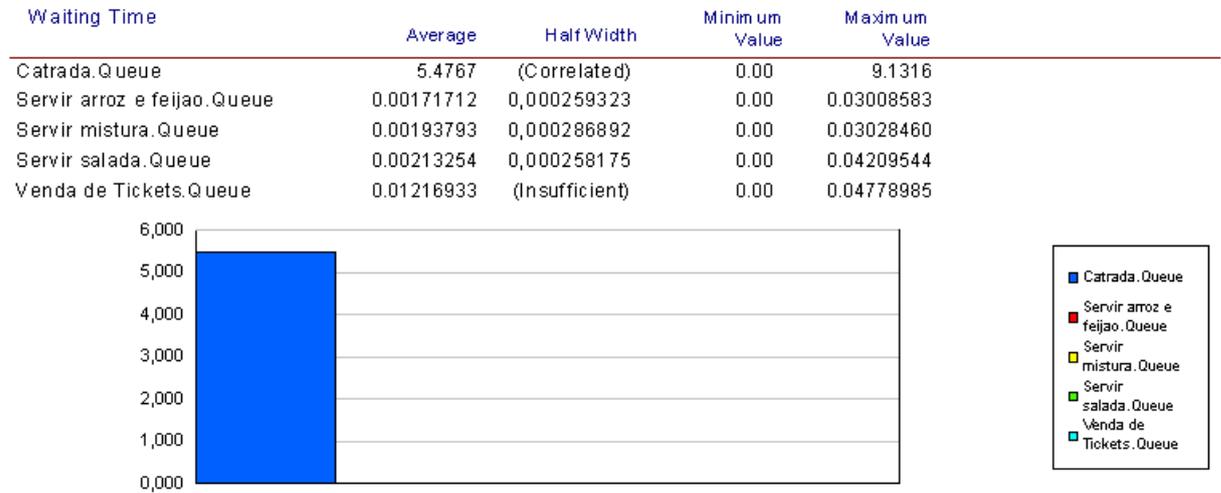
Total Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
USUARIO	5.8836	(Correlated)	0.4086	9.3023

**Figura 43: Analise do tempo ocupado pelos usuários.**

#### 6.3.1.2 Análise das filas

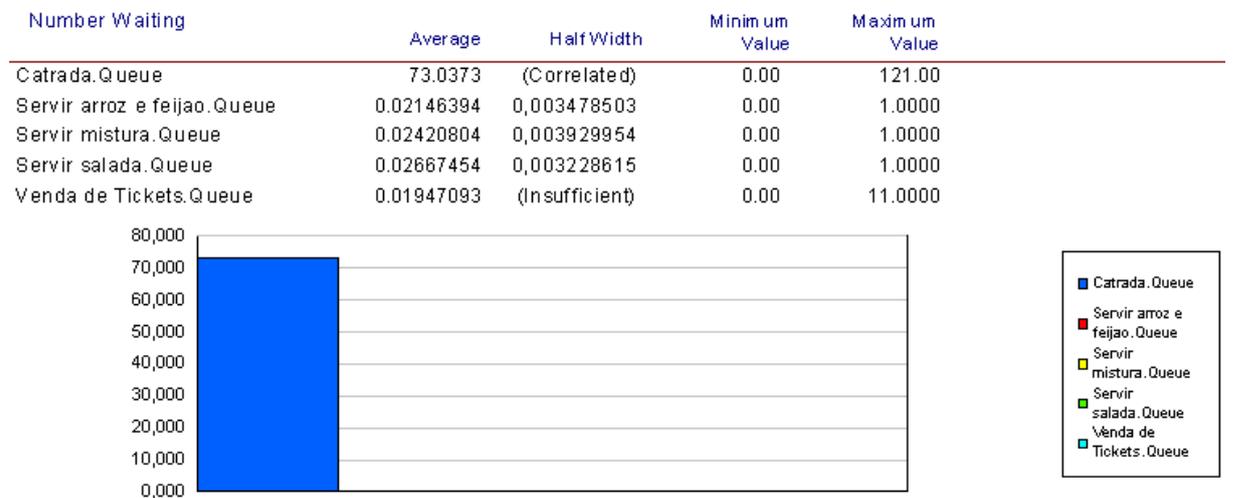
A Figura 44 destaca que a maior fila ocorre na catraca, apresentando um tempo médio de espera de 5,47 minutos e um máximo de 9,13 minutos, os demais processos não apresentaram espera

significava.



**Figura 44: Tempo médio de espera nas filas**

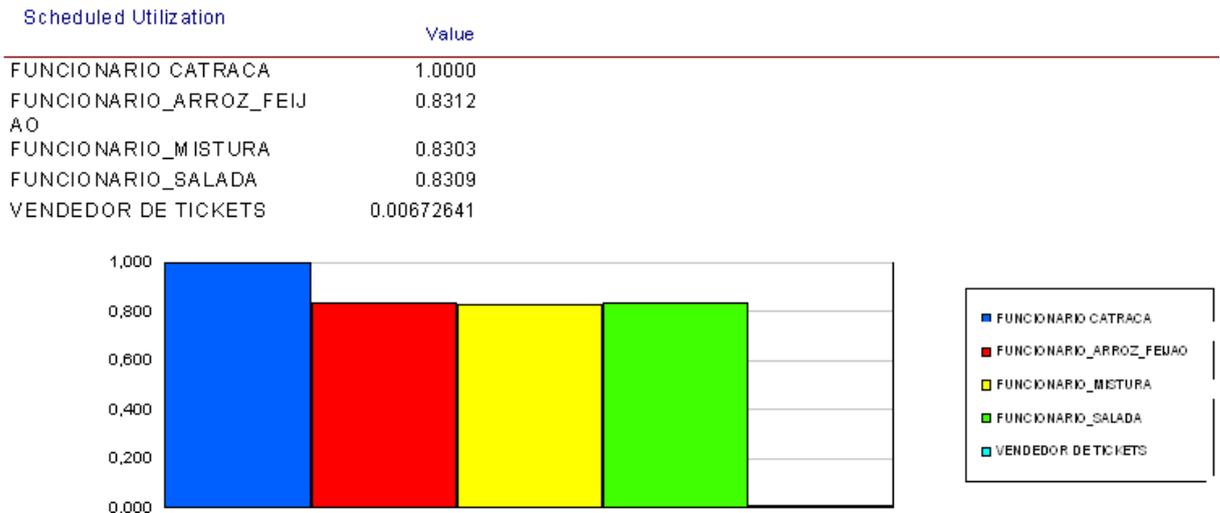
A Figura 45 destaca que o tamanho médio nas filas na catraca foi de 73 usuários e o tamanho máximo de 121 usuários. Na venda de tickets o tamanho médio foi insignificante, entretanto o tamanho máximo foi de 11 usuários.



**Figura 45: Tamanho médio das filas**

### 6.3.1.3 Análise dos recursos

A Figura 46 destaca que o funcionário da catraca apresenta uma ocupação de 100%, já os funcionários responsáveis por servir apresentam uma ocupação de 83% e o vendedor de tickets apresenta uma opção de 0,6%.



**Figura 46: Índice de ocupação dos funcionários**

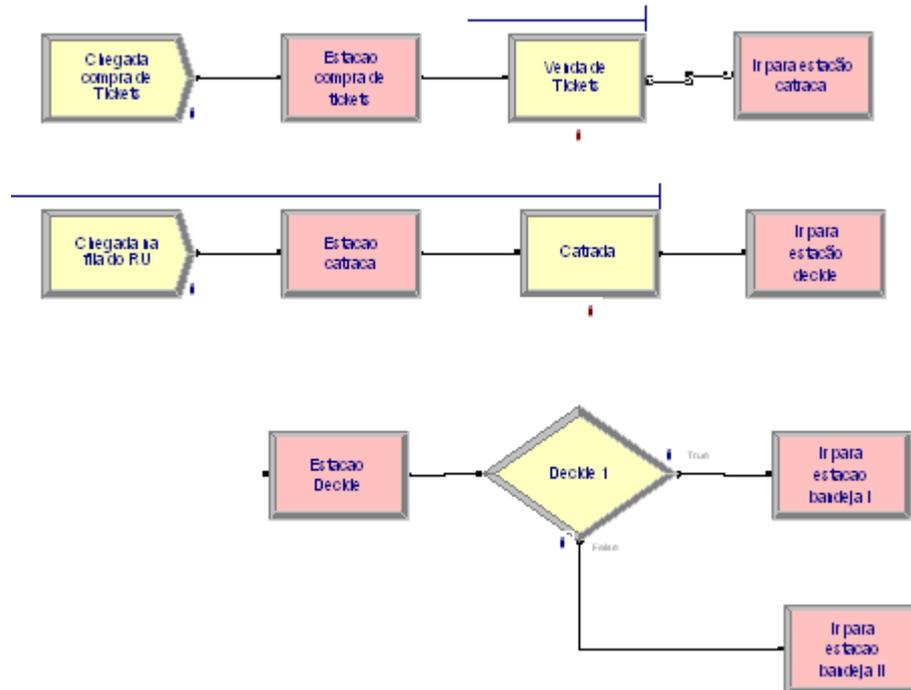
### 6.4 Cenário III

A terceira simulação consiste na apresentação do modelo ideal para reduzir o tamanho das filas, neste modelo desconsidera os dados coletados e utiliza novamente as configurações dos processos apresentados no item 6.2, que corresponde a visão que os funcionários do RU possuem sobre o comportamento do sistema.

A única alteração em relação aos dados apresentados no item 6.2 é que o processo de atendimento passar a ser simultâneo. Depois da catraca cada usuário se dirige a um dos lados em que o atendimento está sendo realizado.

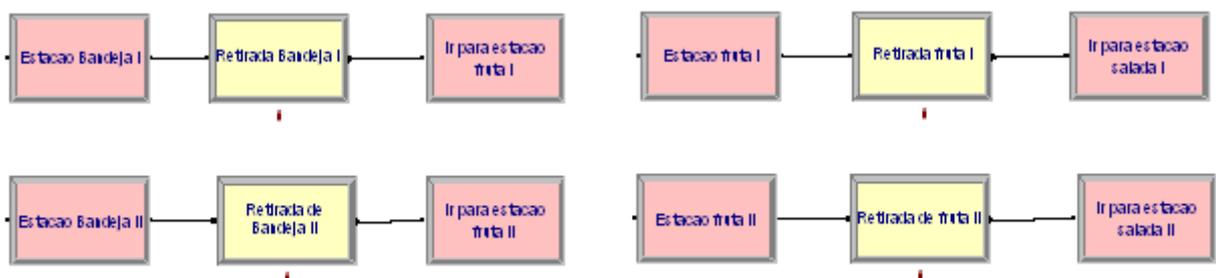
A Figura 47 demonstra o que ocorre no sistema, após o usuário passar pela catraca, em que tem que decidir para qual lado irá.

A utilização do bloco decide com uma probabilidade de 50% e indica quais caminhos o usuário deverá seguir, ou seja, ir para estação retirada da bandeja I ou retirada da bandeja II.



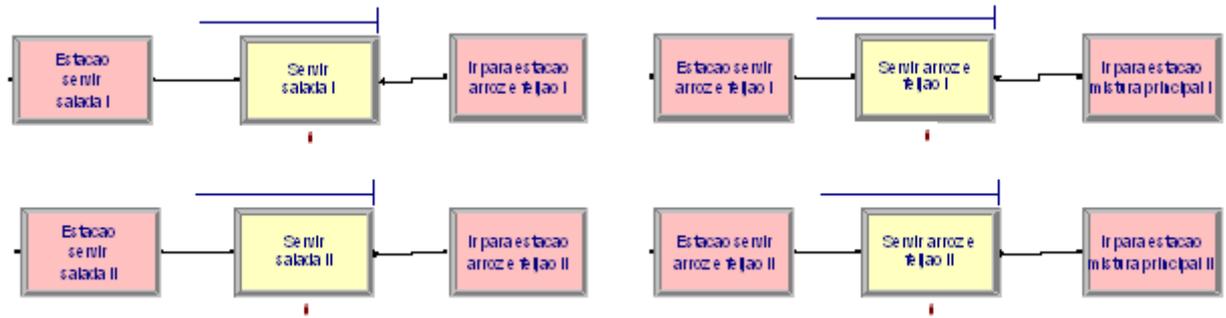
**Figura 47: Estação de decisão**

A Figura 48 destaca como os processos serão realizados após a passagem pela catraca, na qual o atendimento passa a ser simultâneo. Isso pode ser facilmente observado na figura devido à presença de dupla estação de trabalho, ficando cada funcionário responsável por uma delas.



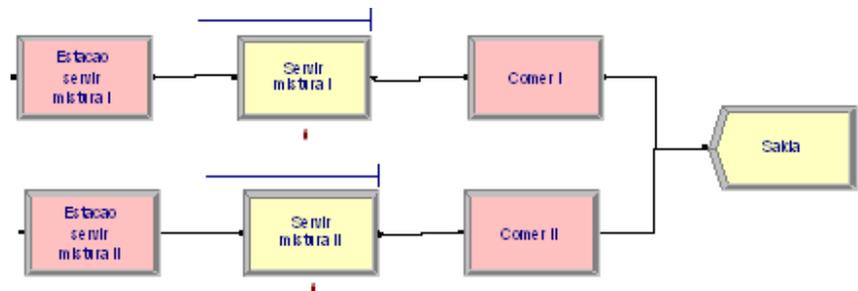
**Figura 48: Estações retirada das bandejas e frutas**

A Figura 49 apresenta as estações de trabalho servir salada e servir arroz e feijão, lembrando que apenas um funcionário é responsável em servir o arroz e o feijão.



**Figura 49: Estações servir salada e feijão e arroz**

A Figura 50 apresenta a ultima etapa do atendimento aos usuários que corresponde o processo de servir a mistura e por fim caracteriza a saída do sistema.



**Figura 50: Estação servir mistura e saída**

Após análise dos dados, criação dos modelos, verificação e validação, inicia-se o processo de simulação para então analisar os resultados obtidos.

## 6.4.1 Resultados Cenário III

### 6.4.1.1 Analise das entidades

Após a simulação o resultado destaca a chegada de 1270 usuários no RU, entretanto somente 1258 usuários saíram do RU, os demais permaneceram na fila. Essas informações podem ser visualizadas na Figura 51.

Number In	Value
USUARIO	1270
Number Out	Value
USUARIO	1258

**Figura 51: Número de usuários no sistema**

A Figura 52 apresenta que os usuários permaneceram no sistema um tempo médio de 0,91 minutos e o tempo máximo foi de 2,67 minutos. O tempo médio de espera na fila foi de 0,51 minutos e o tempo máximo foi de 2,17 minutos. O tempo de atendimento médio foi de 0,40 minutos e o máximo de 0,49 minutos.

<b>Time</b>				
<b>VA Time</b>				
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
USUARIO	0.4070	0,001826820	0.3573	0.4934
<b>NVA Time</b>				
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
USUARIO	0.00	0,000000000	0.00	0.00
<b>Wait Time</b>				
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
USUARIO	0.5119	(Correlated)	0.00	2.1768
<b>Transfer Time</b>				
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
USUARIO	0.00	0,000000000	0.00	0.00
<b>Other Time</b>				
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
USUARIO	0.00	0,000000000	0.00	0.00
<b>Total Time</b>				
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
USUARIO	0.9189	(Correlated)	0.3640	2.6702

**Figura 52: Análise do tempo ocupado pelos usuários.**

#### **6.4.1.2 Análise das filas**

A Figura 53 destaca que a maior fila ocorre na catraca, apresentando um tempo médio de espera de 0,49 minutos e um máximo de 2 minutos. A venda de tickets apresenta um tempo médio de 0,09 minutos e um tempo máximo de espera de 0,21 minutos. Os demais processos não apresentaram fila significativa.

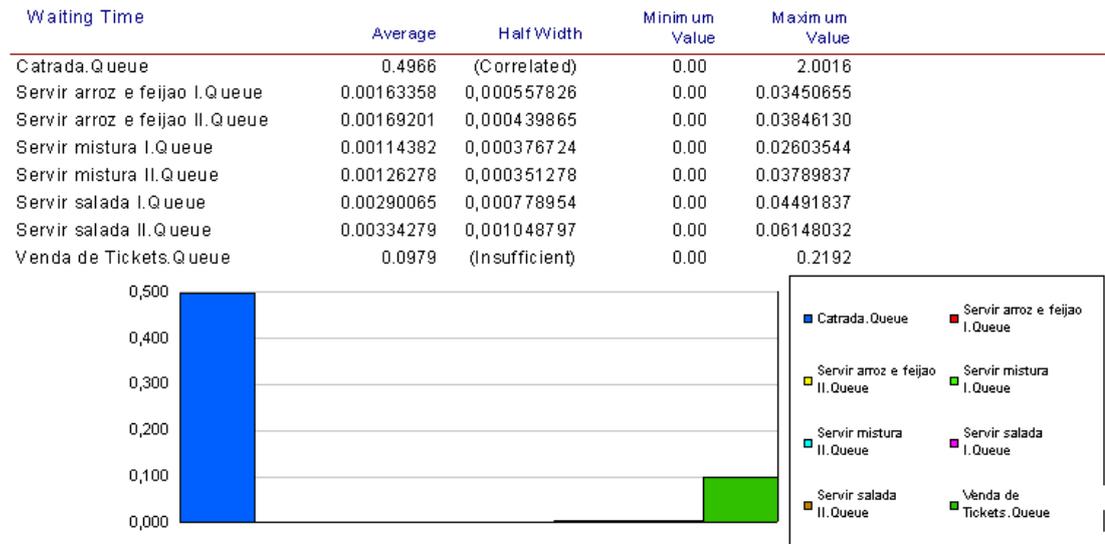


Figura 53: Tempo médio de espera nas filas

A Figura 54 destaca que o número médio de usuários na fila da catraca foi de 5,24 usuários e o tamanho máximo da fila foi de 29 usuários. Na venda de tickets o tamanho médio foi de 0.09 usuários, já o tamanho máximo foi de 4 usuários.

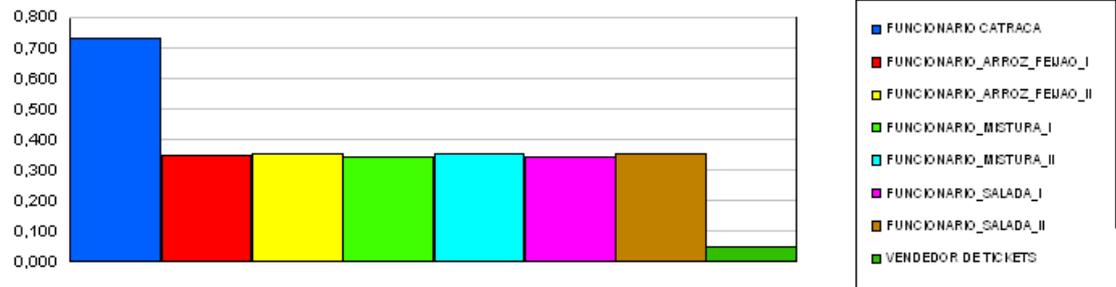


Figura 54: Tamanho médio das filas

### 6.4.1.3 Análise dos recursos

A Figura 55 destaca que o funcionário da catraca apresenta uma ocupação de 73%, os funcionários responsáveis por servir apresentam uma ocupação de aproximadamente 35% e o vendedor de tickets 4,7%.

Scheduled Utilization	Value
FUNCIONARIO CATRACA	0.7326
FUNCIONARIO_ARROZ_FEIJ AO_I	0.3464
FUNCIONARIO_ARROZ_FEIJ AO_II	0.3541
FUNCIONARIO_MISTURA_I	0.3443
FUNCIONARIO_MISTURA_II	0.3521
FUNCIONARIO_SALADA_I	0.3446
FUNCIONARIO_SALADA_II	0.3526
VENDEDOR DE TICKETS	0.04738986



**Figura 55: Índice de ocupação dos funcionários**

## 7. CONCLUSÃO

Este trabalho tratou da modelagem para simulação do sistema no Restaurante Universitário – UEM. A simulação dinâmica é uma técnica muito importante que permite o entendimento de sistemas a partir da modelagem de vários cenários diferentes, utilizando ferramenta computacional, possibilitando analisar e compreender as informações do mundo real sem a necessidade de colocá-las em prática.

Estes cenários virtuais permitem perfeitamente analisar diversos modelos rapidamente, economizando tempo, recurso disponível e pessoal. Neste trabalho foram analisados três cenários.

O primeiro considerando a visão que os funcionários possuem sobre o comportamento de um ritmo constante de chegada de usuários ao longo do tempo, logo não considera o tamanho das filas, mas sim o número total de pessoas atendidas para estimar a demanda média de usuários por determinados cardápios.

O segundo cenário utiliza as informações coletadas e analisadas, logo este modelo representa melhor o comportamento de atendimento aos usuários.

O terceiro cenário corresponde às alterações necessárias para solucionar o problema das filas, o tamanho máximo da fila passa de aproximadamente 100 usuários para apenas 30 usuários com este novo modelo, mas para isso é necessário alterações no método de atendimento. Para aplicá-lo, é necessário duplicar a capacidade de atendimento, ou seja, serão necessários dois funcionários servindo paralelamente os usuários. Assim dois usuários poderiam pegar a bandeja ao mesmo tempo, entretanto um se deslocaria para o lado direito e o outro do lado esquerdo e os funcionários permaneceriam no centro servindo.

Esta é uma ótima solução para resolver os problemas da fila no RU, entretanto o principal objetivo da Universidade é a pesquisa, ensino, oferecer infra-estrutura para os cursos, manutenção dos blocos, logo este investimento para diminuir o tamanho da fila não é considerado uma prioridade. A conscientização dos usuários é fundamental em não cortar as filas e não atrasar o trabalho dos funcionários responsáveis por servir, esta é uma segunda alternativa para solucionar o problema sem a necessidade de investimentos, este atraso ficou

visível em todos os modelos simulados, pois os funcionários responsáveis por servir ficam ociosos durante um pequeno tempo, isto representa o atraso do usuário ao se deslocar ao ponto onde os funcionários estão servindo.

Por fim pode se afirmar que a simulação é uma técnica que facilita o entendimento e a visualização de situações analisadas através da modelagem, ela pode auxiliar o planejamento de atividades ou mesmo identificar problemas.

## 8 REFERÊNCIAS

BANKS, J e Carson, J. S.. **Discrete-Event System Simulation**. NY: Prendice-Hall, Prendice-Hall, 1984.

FREITAS FILHO, Paulo José de. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena**. Florianópolis: Visual Books, 2001.

KELTON, W. David; SADOWSKI, Deborah A.; SADOWSKI, Randall P.. **Simulation with Arena**. 2. ed. Pennsylvania: McGraw-Hill, 2001.

LIMA, Rodrigo Zago de; SOUZA, Alisson D. C. de; ARAÚJO, Luciane Calixto de. **Manual do Arena 9.0**. 2. ed. Florianópolis: Visual Books, 2006.

PEDGDEN, C. Dennis; SHANNON, Robert E.; SADOWSKI, Randall P.. **Introduction to Simulation Using SIMAN**. 2. ed. NY: Mcgraw-Hill, 1990.

PRADO, Darci. **Introdução a Simulação com Aplicações em Arena**. Florianópolis: Visual Books, 2001.

PRADO, Darci. **Teorias das Filas e da Simulação**. 2. ed. Florianópolis: Visual Books, 2004.

ROSS, Sheldon M.. **Simulation**. 4. ed. Burlington: Academic Press, 2006.

SHANNON, Robert E.. **Introduction to Simulation Using SIMAN**. 2. ed. New York, Ny, Usa: Mcgraw-hill, 1992. 640 p.

SILVA, André Koide da. **MÉTODO PARA AVALIAÇÃO E SELEÇÃO DE SOFTWARES DE SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS APLICADOS À ANÁLISE DE SISTEMAS LOGÍSTICOS**. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3148/tde-09052007-160956/>. Acesso em: 14 abr. 2009.

TEORIA DAS FILAS Disponível em: <[http://miltonborba.org/PES/Teor\\_Filas.doc](http://miltonborba.org/PES/Teor_Filas.doc)>. Acesso em: 21 maio 2009.

