

**CARLOS ALBERTO AGOSTINI**

**SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE CAIXAS DE UM  
SUPERMERCADO EM PROCESSO DE AUTOMAÇÃO  
COMERCIAL**

UFRGS  
Escola de Administração  
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS  
R. Vitorino Guimarães, 150 - 155  
Fone: (51) 306-3333 - Fax: (51) 306-3991  
CEP 90010-450 - Porto Alegre - RS - Brasil

**Porto Alegre**

**1990**

**UFRGS**  
**Faculdade de Ciências Econômicas**

**CARLOS ALBERTO AGOSTINI**

**SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE CAIXAS DE UM  
SUPERMERCADO EM PROCESSO DE AUTOMAÇÃO  
COMERCIAL**

Tese apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Administração  
da Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul para obtenção do  
grau de Mestre em Administração.

**Porto Alegre**

**1990**

UFRGS  
Faculdade de Ciências Econômicas  
**BIBLIOTECA**  
Av. João Pessoa, 50

**Componentes da Banca Examinadora:**

Prof. Dr. João Luiz Becker(PPGA/UFRGS)

Prof. Dr. Jaime Fensterseifer(PPGA/UFRGS)

Dr. Manoel Luiz Leão(UFRGS)

Pof. Dr. Eduardo Saliby(COPPEAD/UFRJ)

À minha filha NATASHA e  
à minha esposa SHEREZADE.

## SINOPSE

Este trabalho está dividido em sete capítulos: os cinco primeiros são de conteúdo teórico introdutório; o sexto contém a descrição da pesquisa e seus resultados; e o sétimo apresenta o resultado de duas aplicações do sistema simulador resultante da pesquisa.

Nos cinco primeiros capítulos é feita uma contextualização da pesquisa estabelecendo-se os motivos de sua implementação, os objetivos que ela se propõe a alcançar, as questões que ela se propõe a auxiliar a resolver e, finalmente, o referencial teórico básico.

O sexto capítulo trata do processo de coleta de dados, das técnicas de segregação dos dados e da forma de utilização destes dados na pesquisa. O capítulo sexto trata ainda da descrição do sistema simulador, da metodologia de implementação de cada parâmetro e da avaliação estatística dos resultados de cada parâmetro implementado.

O capítulo sétimo descreve, em detalhes, duas aplicações do sistema simulador desenvolvido pela pesquisa, promovendo uma análise gráfica de algumas de suas principais variáveis.

O capítulo oitavo trata das conclusões e das recomendações relacionadas com a totalidade do processo de desenvolvimento do trabalho de pesquisa

Os oito capítulos são seguidos por um apêndice contendo um conjunto de tabelas que detalham as informações que foram fornecidas ao sistema ou que resultaram do sistema e o conjunto de rotinas que formam o sistema simulador.

## RESUMO

Este trabalho de pesquisa se propõe a desenvolver uma ferramenta que auxilie os administradores de frentes de caixas de supermercados na tarefa de proporcionar aos consumidores de suas lojas um atendimento mais rápido a custos econômicos viáveis. Essa ferramenta é um sistema simulador de frente de caixas que reproduz o comportamento da frente possibilitando exercício de inúmeras opções de análise. O uso do simulador permitirá que os administradores analisem a sensibilidade de variáveis importantes, relacionadas com os parâmetros de entrada, sem o risco associado às experimentações produzidas sobre a realidade.

O trabalho retrata os vários segmentos da pesquisa, partindo de uma fundamentação teórica do assunto, descrevendo detalhadamente cada fase, demonstrando a operacionalidade do sistema com descrição e análise de duas aplicações reais e encerrando com uma série de conclusões e recomendações extraídas da totalidade do processo e tidas como relevantes à continuidade e ao aprofundamento da linha de pesquisa.

## **ABSTRACT**

The main purpose of this research is to develop a tool to help managers of checkout systems in the task of providing their customers faster service at lower costs. A checkout simulator system was developed, making possible countless options of analysis. In using the simulator, managers can analyse the sensitivity of important variables with regard to input parameters, avoiding the risks associated with real experimentation with their stores or customers.

This report begins with a theoretical framework of the subject, describing in detail each phase of the research. It shows the operation of the system, analysing two concrete examples. Several conclusions and suggestions extracted from the whole process are offered.

## AGRADECIMENTOS

A elaboração desse trabalho de dissertação contou com o apoio e a colaboração de professores, instituições, colegas e amigos. A todos, não importando o grau de intensidade da contribuição, agradeço de coração.

A minha esposa, Sherezade Pinheiro Agostini, e a minha preciosa filha, Natasha Pinheiro Agostini, pelas intermináveis horas de convívio roubadas.

Ao Prof. Dr. João Luiz Becker, pela disponibilidade, pela contínua atitude de incentivo e pela orientação firme e segura proporcionada ao longo de todo o mestrado.

Ao Prof. Dr. Manuel Luiz Leão, pelo crédito de confiança na indicação do projeto à empresa Supermercado Real SA.

Aos Professores Dr. Jaime Evaldo Fensterseifer, Dr. Norberto Hoppen e Dr. José Francisco Kliemann Neto, pelo incentivo e orientação específica no decorrer da obtenção dos créditos.

À mestrandia e amiga Jacqueline Freitas Cauduro, pela amizade e pela contribuição oferecida na revisão das diversas fases do trabalho.

Ao colega e amigo Geraldo Sheibler, pela colaboração na discussão de pontos polêmicos da pesquisa e pelo esforço adicional no desempenho das atividades profissionais.

À Secretaria da Fazenda do Estado do Rio Grande do Sul, pela liberação parcial de atividades e pelo apoio material oferecido no desenvolvimento do trabalho.

Ao grupo empresarial Supermercados Real SA, em nome de seu Gerente de CPD, Sr. Ivon Luiz de Oliveira Junior, pelos momentos de debate e pelas condições oferecidas para o desenvolvimento da pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Administração, em nome de sua coordenadora Profa. Dra. Edi Madalena Fracasso, pela disponibilidade e liberdade de acesso aos seus recursos humanos e materiais.



## SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	I
SINOPSE	II
RESUMO	III
ABSTRACT	IV
AGRADECIMENTOS	V
SUMÁRIO	VI
RELAÇÃO DE TABELAS	IX
RELAÇÃO DE FIGURAS	XI
ABREVIATURAS	XIV
CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO	15
CAPÍTULO II: JUSTIFICATIVA	18
CAPÍTULO III: A SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE	21
1 Sistema, Modelo e Simulação	23
2 Prós e Contras da Simulação	24
3 Sistemas de Filas	26
3.1 Processo de Chegada	27
3.2 Processo de Serviço	27
3.2.1 Disciplinas de Filas	28
3.2.2 Layout	28
3.3 Controle do Sistema de Filas	28
3.4 Linguagens	29
CAPÍTULO IV: TEMA	32
1 Tema	33
2 Delimitação do Tema	33
CAPÍTULO V: OBJETIVO	34
1 Objetivo Geral	35
2 Objetivos Específicos	35
CAPÍTULO VI: OPERACIONALIZAÇÃO E VALIDAÇÃO DO SISTEMA	36
1 Descrição do Sistema Real	37
2 Procedimentos de Coleta e Avaliação dos Dados	38

<b>3</b>	<b>Definição, Segregação e Validação dos Parâmetros</b>	<b>39</b>
<b>3.1</b>	<b>Processo de Chegada</b>	<b>39</b>
3.1.1	Definição	39
3.1.2	Coleta de Dados, Condicionamento e Geração	40
3.1.3	Validação	42
<b>3.2</b>	<b>Quantidade de Itens</b>	<b>44</b>
3.2.1	Definição	44
3.2.2	Coleta de Dados, Condicionamento e Geração	45
3.2.3	Validação	48
<b>3.3</b>	<b>Velocidade de Digitação</b>	<b>50</b>
3.3.1	Definição	50
3.3.2	Coleta de Dados, Condicionamento e Geração	50
3.3.3	Validação	53
<b>3.4</b>	<b>Forma de Pagamento</b>	<b>55</b>
3.4.1	Definição	55
3.4.2	Coleta de Dados, Condicionamento e Geração	56
3.4.3	Validação	60
<b>3.5</b>	<b>Velocidade de Pagamento</b>	<b>62</b>
3.5.1	Definição	62
3.5.2	Pagamento em Dinheiro	62
3.5.2.1	Coleta de Dados, Condicionamento e Geração	63
3.5.2.2	Validação	65

3.5.3	Pagamento em Cheque	67
3.5.3.1	Coleta de Dados, Condicionamento e Geração	67
3.5.3.2	Validação	69
3.6	Intervalo entre Atendimentos	71
4	Política de Administração da Frente de Caixas	71
5	Descrição do Sistema Simulador	74
6	Interface com o Usuário	75
7	Outras Experiências Decorrentes da Pesquisa	76
CAPÍTULO VII: APLICAÇÕES DO SISTEMA SIMULADOR		79
1	Desenho Experimental	80
2	Aumento na Velocidade de Digitação	83
3	Aumento na Velocidade de Pagamento em Cheque	91
4	Conclusões Genéricas a Respeito do Resultado das Aplicações	100
CAPÍTULO VIII: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES		103
APÊNDICE		110
BIBLIOGRAFIA		158

**RELAÇÃO DE TABELAS:**

**Apêndice A : Demonstrativo das Matrizes de Entrada  
de Dados.**

1	Taxas Pontuais de Chegada	111
2	Distribuição de Probabilidades da Quantidade de Itens	112
3	Distribuição de Probabilidades da Velocidade Média de Digitação	113
4	Distribuição Proporcional da Forma de Pagamento	114
5	Distribuição de Probabilidades da Velocidade de Pagamento em Dinheiro	115
6	Distribuição de Probabilidades da Velocidade de Pagamento em Cheque	116

**Apêndice B: Resumo do Comportamento da  
Frente de Caixas**

117

**Apêndice C: Resultados do Simulador**

1	Teste no Processo de Chegada	118
2	Teste nas Quantidades de Itens (Clientes por Categoria de Item)	119
3	Teste nas Quantidades de Itens (Itens por Horário)	120
4	Teste na Velocidade de Digitação (Clientes por Velocidade Média)	121
5	Teste na Velocidade de Digitação (Somatório do Tempo Consumido por Intervalo)	122
6	Testes na Forma de Pagamento	123
7	Teste na Velocidade de Pagamento em Dinheiro (Clientes por Classe de Velocidade)	124
8	Teste na Velocidade de Pagamento em Dinheiro (Somatório de Tempo Consumido por Intervalo)	125

9	Teste na Velocidade de Pagamento em Cheque (Clientes por Classe de Velocidade)	126
10	Teste na Velocidade de Pagamento em Cheque (Somatório de Tempo Consumido por Intervalo)	127
Apêndice D: Resultado das Aplicações com o Simulador		
1	Aplicação sobre a Velocidade de Digitação (Sistema Normal - POLÍTICA 1)	128
2	Aplicação sobre a Velocidade de Digitação (Sistema sob Pressão - POLÍTICA 2)	129
3	Aplicação sobre a Velocidade de Pagamento em Cheque (Sistema Normal - POLÍTICA 1)	130
4	Aplicação sobre a Velocidade de Pagamento em Cheque (Sistema sob Pressão - POLÍTICA 2)	131
5	Resumo do Tempo Consumido nas Duas Aplicações	132
Apêndice E: Rotinas		
1	Programa Principal	133
2	Unidade de Implementação de Variáveis Públicas	135
3	Unidade de Carga das Matrizes de Entrada	137
4	Unidade de Geração de Atributos	139
5	Unidade de Administração da Frente de Caixas	143
6	Unidade de Coleta de Informações Estatísticas	150
7	Unidade de Relatorização	153

## RELAÇÃO DE FIGURAS

### Gráficos do Capítulo VI:

Figura VI.1 - Taxa de Chegada por Horário	40
Figura VI.2 - Frequência de Clientes por Horário	44
Figura VI.3 - Probabilidade da Quantidade de Itens por Horário	46
Figura VI.4 - Probabilidade Estacionária por Quantidade de Itens	47
Figura VI.5 - Aderência de Clientes por Quantidade de Itens	49
Figura VI.6 - Aderência do Total de Itens por Horário	49
Figura VI.7 - Probabilidades da Velocidade Média de Digitação por Item	51
Figura VI.8 - Probabilidades da Velocidade Média de Digitação de 31 a 90 Itens	52
Figura VI.9 - Aderência da Velocidade Média de Digitação por Categoria de Velocidade	54
Figura VI.10 - Aderência do Tempo Total de Digitação por Horário	54
Figura VI.11 - Proporção da Forma de Pagamento em Dinheiro por Quantidade de Itens para cada Horário	57
Figura VI.12 - Proporção da Forma de Pagamento em dinheiro para Quantidades de 6 a 16 Itens	57
Figura VI.13 - Coeficiente de Não-Estacionaridade para a Forma de Pagamento em Dinheiro	59
Figura VI.14 - Aderência da Forma de Pagamento em Dinheiro por Quantidade de Itens	61
Figura VI.15 - Aderência da Forma de Pagamento em Dinheiro por Horário	61

Figura VI.16 - Probabilidade da Velocidade de Pagamento em Dinheiro por Horário	63
Figura VI.17 - Probabilidade da Velocidade de Pagamento em Dinheiro de 31 a 90 Segundos	64
Figura VI.18 - Aderência da Velocidade de Pagamento em Dinheiro por Categorias de Velocidade	66
Figura VI.19 - Aderência do Somatório do Tempo de Pagamento em Dinheiro por Horário	66
Figura VI.20 - Probabilidade da Velocidade de Pagamento em Cheque por Horário	68
Figura VI.21 - Aderência da Velocidade de Pagamento em Cheque por Categorias de Velocidade	70
Figura VI.22 - Aderência do Somatório do Tempo de Pagamento em Cheque por Horário	70
Gráficos do Capítulo VII - Aplicação sobre a Velocidade de Digitação	
Figura VII.1 - Decréscimo nos Tempos de Espera - POLÍTICA 1	85
Figura VII.2 - Participação da Ociosidade - POLÍTICA 1	86
Figura VII.3 - Necessidade de Caixas - POLÍTICA 1	87
Figura VII.4 - Comparativo da Participação da Ociosidade - POLÍTICAS 1 e 2	87
Figura VII.5 - Decréscimo dos Tempos de Espera POLÍTICA 2	88
Figura VII.6 - Participação da Ociosidade POLÍTICA 2	89

Figura VII.7 - Necessidade de Caixas - POLÍTICA 2	90
Figura VII.8 - Comparativo da Intensidade de Tráfego - POLÍTICAS 1 e 2	91
Gráficos do Capítulo VII - Aplicação Sobre a Velocidade de Pagamento em Cheque	
Figura VII.9 - Decréscimo dos Tempos de Espera - POLÍTICA 1	94
Figura VII.10 - Comparativo da Participação da Ociosidade - POLÍTICA 1	95
Figura VII.11 - Necessidade de Caixas - POLÍTICA 1	96
Figura VII.12 - Comparativo da Participação da Ociosidade - POLÍTICAS 1 e 2	97
Figura VII.13 - Decréscimo nos Tempos de Espera - POLÍTICA 2	98
Figura VII.14 - Necessidade de Caixas - POLÍTICA 2	99
Figura VII.15 - Intensidade de Tráfego POLÍTICAS 1 e 2	100



## ABREVIATURAS

EMP.	Empírico
H.	Horário
I.	Item
MULT.	Multiplicador
PARTIC.	Participação
PG.	Pagamento
PROBAB.	Probabilidade
PROP.	Proporção
QTDE	Quantidade
T.	Total
VELOC.	Velocidade
V.P.	Velocidade de Pagamento

## **CAPÍTULO - I**

### **INTRODUÇÃO**

O emergente e pouco conhecido processo de automação comercial provoca a curiosidade tanto em leigos como em especialistas em processos comerciais. A curiosidade é aguçada pelos novos serviços e pelas alterações significativas nos serviços tradicionais, que ficam claramente exteriorizadas. Nos expertos em processos comerciais, a automação provoca não apenas curiosidade, mas, sobretudo uma certa preocupação derivada da necessidade de manter atualizados seus métodos de operação, com o fito de não perder a competitividade no sistema e, dentro do possível, proporcionar serviços diferenciados aos clientes.

A tomada de consciência da iminente necessidade de mudanças nos processos demanda, de imediato, a correspondente necessidade de avaliar as repercussões técnicas e econômicas das diversas alternativas existentes. Embora alguns julguem o processo de automação irreversível, pelo qual, mais cedo ou mais tarde, eventualmente todas as organizações passarão e a automação comercial, em particular, possa ter garantida sua implantação por fatores mercadológicos ou de controle interno, esta não tem, ainda, validada sua implantação em função de melhoras no desempenho de atendimento aos clientes.

A diversidade de caminhos alternativos, especialmente no que diz respeito à instalação ou modificação de processos de produção ou de processos de controle, implica a necessidade de uma escolha criteriosa daquele que melhor atenda às circunstâncias e às necessidades do empreendedor. Diversas formas de análise e avaliação concorrem na formação de um juízo adequado. Este juízo pode decorrer da bagagem cultural do decisor ou de sofisticadas ferramentas de análise proporcionadas pela ciência.

Na atividade de controle da saída de mercadorias em lojas de auto-serviço, especialmente em lojas de supermercado, como é o caso desta pesquisa, as possibilidades de variação na forma de atendimento, que podem produzir alterações significativas no desempenho do sistema, são inúmeras. Como exemplo, temos a possibilidade de aumento da quantidade de caixas, a redução das exigências de controle (segurança) nas formas de pagamento, especialmente na forma de pagamento em cheque, a instalação de "scanners" para leitura de códigos de barras, etc. Os administradores destes sistemas devem estar sempre à procura das variações que possam produzir modificações na intensidade dos benefícios ou malefícios imputados aos clientes.

Segundo o relatório ABAC(1988), no Brasil, a automação comercial encontra as mesmas dificuldades encontradas nos países mais avançados. Aqui, entretanto, elas são intensificadas pela carência de equipamentos, sistemas e mão-de-obra especializada. Os terminais pontos-de-venda no Brasil montam 0,8% do potencial de caixas de auto-serviço disponíveis, cuja quantidade é de aproximadamente 91.000. A sistemática mais utilizada atualmente, no País, para checagem das compras dos clientes é a de terminais de ponto-de-venda, em substituição às máquinas registradoras, na forma de rede de microprocessadores com o processamento e a concentração de retaguada efetuada por microcomputadores ou por computadores de grande porte. A empresa Supermercado Real S.A. tem mantido uma posição de vanguarda na corrida para a implantação de sistemas automatizados de controle de lojas de supermercados. Esta posição obriga o desenvolvimento lento do processo de implantação com fortes investimentos em pesquisa objetivando validar cada passo significativo. Assim, pode-se dizer que o processo de automação comercial, no Brasil, está em fase de teste e validação.

No processo inicial de implementação de uma nova tecnologia, a fase de validação é uma tarefa extremamente importante e complexa que, dependendo do resultado, pode desviar o encaminhamento do processo para opções irreais ou, então, postergar a implantação de tecnologias oportunas e pertinentes. Este trabalho tem intenção de contribuir, mesmo que modestamente, para a melhora da capacidade de discernimento dos responsáveis pela evolução do processo de automação, com uma ferramenta capaz de fornecer informações confiáveis a respeito de cada alternativa de ação projetada. A fonte de dados da pesquisa foi a primeira loja do Supermercado Real S.A. a iniciar o processo de automação comercial, localizada no bairro Menino Deus, em Porto Alegre, capital do Estado do Rio Grande do Sul.

O capítulo que segue levanta uma série de questões que justificam a iniciativa deste trabalho de pesquisa.

## CAPÍTULO - II

### **JUSTIFICATIVA**

A análise das técnicas já aplicadas e das que estão em processo de implantação no Supermercado Real S.A. permitirão obter valiosas informações que, além de lançar luz sobre os problemas tradicionais de um sistema de caixas de supermercado por exemplo: de que forma aumentar a velocidade na frente de caixas; como reduzir o tempo de espera do cliente na fila; como melhorar a performance dos pagamentos em cheque) deverão esclarecer ainda algumas questões que estão surgindo, a nível de Brasil, no que concerne à escolha de alguns caminhos que a automação comercial deverá seguir no seu intento de adaptar-se à realidade do País. Algumas questões que se evidenciam são, por exemplo:

- 1) Qual o ganho relativo de tempo com a utilização de "scanners" para leitura de código de barras em comparação com o processo de digitação do código numérico?
- 2) Qual o ganho relativo de tempo com o aperfeiçoamento na forma de pagamento?
- 3) Quais as dificuldades operacionais (novos gargalos do sistema) provocadas pelo eventual ganho de tempo conseguido nos itens anteriores?

Esforços aplicados na busca de resposta às questões acima produzem as informações necessárias à avaliação dos resultados operacionais, e a quantificação dos correspondentes resultados econômicos. Por outro lado, as alternativas eventualmente implementadas para resolver tais questões podem fazer surgir novas dificuldades operacionais no sistema. É de grande importância que essas dificuldades possam ser previstas e, se possível, equacionadas antecipadamente.

A percepção da influência que uma modificação qualquer em uma variável pode provocar no interrelacionamento das demais variáveis do sistema e, por conseguinte, no resultado final, é fundamental para o equacionamento do problema. No caso de um supermercado, uma alteração na velocidade de digitação, por exemplo, modifica dinamicamente e significativamente outras variáveis, tais como: quantidade de caixas abertos, quantidade de clientes atendidos e tempo de espera nas filas. O que significa que qualquer modificação em algum instante do período altera o comportamento ao longo do resto do período. Essas alterações e a dependência temporal do sistema produzem um todo extremamente complexo, cuja solução analítica se torna inviável.

A complexidade de análise exigida para responder a essas questões requer o uso de outras ferramentas, além dos instrumentos matemáticos tradicionais, cujo escopo não é suficientemente abrangente. Optamos, devido a isto, pela utilização do recurso da simulação e modelagem de sistemas. A simulação e modelagem de sistemas vêm crescendo conjuntamente ao desenvolvimento do conhecimento humano, particularmente com o desenvolvimento da ciência da computação. À medida em que o progresso da ciência tem levado à necessidade de serem analisados sistemas cada vez mais abrangentes e cada vez mais complexos, os cientistas têm procurado na simulação e modelagem um caminho alternativo para superar as restrições impostas pelos métodos tradicionais de análise.

Diante da importância que a simulação toma no desenvolvimento deste trabalho, a ela foi destinado o capítulo que segue, no intuito de contextualizar o corpo da pesquisa.

## **CAPÍTULO - III**

# **A SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE**



A simulação como instrumento a serviço do homem existe desde os tempos remotos onde "...no paleolítico superior, o homem das cavernas procurava captar, através de imobilização de uma pintura rupestre, a força e a destreza do animal.... Construiu um modelo pictórico, que servia não apenas para o adiestramento, atirava lanças contra ele, mas também dava ao caçador a confiança necessária para enfrentar o bisonte real." (MACHADO, 1967:1). Alguns milhares de anos mais tarde, com o desenvolvimento das ciências e principalmente da matemática, no século XVI, os homens gastavam anos executando simulações numéricas para criar os mapas de navegação, cuja grande importância para o comércio marítimo e para a força naval justificavam aquele enorme esforço (ROBERTS, 1983)

A simulação como ferramenta começou a ganhar impulso significativo, juntamente com as demais ferramentas de pesquisa operacional, na II Guerra Mundial. O surgimento das máquinas de calcular reduziu os custos da simulação e possibilitou sua utilização na construção de radares, canhões e outros equipamentos militares. Contudo, os custos ainda eram muito altos para que se pudesse utilizar a metodologia de simulação na solução de problemas a nível empresarial ou científico não-bélico. Com o surgimento dos computadores, os custos de utilização de simulação entraram num processo de regressão, até se tornarem praticamente inexpressivos em relação aos benefícios gerados.

Atualmente, a simulação é utilizada em praticamente todos os ramos da ciência. Para SHANNON (1975:2), é no programa aeroespacial que a simulação encontra um ímpeto importante, embora muitos livros já tenham sido escritos em outras áreas, como administração (GERSHEFSKI, 1970), (MEIR et alii, 1969), (NAYLOR et alii, 1971), economia (NAYLOR e VERNON, 1970), (PACHER, 1972), marketing (AMSTUTZ e SASIENI, 1968), (MEADOWS, 1970), educação, política, ciências sociais, ciências do comportamento, relações internacionais e transportes. O desenvolvimento de linguagens de programação de âmbito geral e de linguagens voltadas especificamente para a simulação, e, mais recentemente, a massificação da utilização de microcomputadores, são fatores que também propiciaram a expansão rápida do uso de simulação.

## 1. Sistemas, Modelos e Simulação

A definição de sistema, para a maioria dos autores, envolve as expressões: "conjuntos", "interação" e "finalidade". Numa síntese das diversas definições encontradas, pode-se dizer que um sistema é um conjunto de entidades agindo interativamente para um fim. Senão, vejamos: "Um sistema é definido como sendo uma coleção de entidades, ex., pessoas ou máquinas, que agem ou interagem simultaneamente em direção à realização de algum fim lógico".(Definição proposta por (SCHMIDT e TAYLOR,1970) , apud (LAW e KELTON,1982); "Um sistema é definido como uma agregação ou reunião de objetos ligados em alguma interação regular ou interdependente" (GORDON, 1969 :1); "Um sistema pode ser definido como uma coleção de elementos em interação que operam simultaneamente para algum propósito." (ROBERTS et alii, 1983 : 5).

Com pequenas variações, as definições de modelo seguem a idéia de representação do real para seu melhor conhecimento. Assim, para SHANNON (1975:4), "Um modelo é a representação de um objeto, sistema ou idéia de alguma forma diferente daquela que a entidade se apresenta." Já para LAW e KELTON e para GORDON a perspectiva de análise e de descoberta devem ser ressaltadas. Para LAW e KELTON (1982:5), "Modelo é a representação de um sistema desenvolvido com o propósito de estudar aquele sistema"; para GORDON (1969:17), "Modelo é a substância da informação sobre o sistema, montado com o propósito de estudá-lo."

As definições de simulação também encontram certa identidade entre os diversos autores, contudo, o escopo da definição é o ponto de divergência. Há autores que definem simulação de forma genérica; há outros que, antes de defini-la, preferem segmentá-la em seus diversos tipos e, posteriormente, definir estes tipos. A tipificação também varia em função do autor. Para SHANNON (1975:2), em uma definição genérica, "Simulação é um processo de desenvolvimento de um modelo, de um sistema real e de condução de experimentos com este modelo com o propósito de entendimento do comportamento do sistema ou da avaliação de várias estratégias (dentro dos limites propostos por um critério ou por um conjunto de critérios) para operação do sistema." Já para GORDON (1969:17), "Sistema de simulação é uma técnica de solução de

problemas que acompanha, no tempo, as mudanças do modelo dinâmico de um sistema."

Para ZEIGLER (1976:4), "A expressão 'modelo e simulação' designa o complexo de atividades associadas para construção de modelos do mundo real e a simulação deles no computador. ... Em particular, modelagem trata primeiramente dos relacionamentos entre os sistemas reais e os modelos; simulação se refere primeiramente aos relacionamentos entre computadores e modelos."

LAW e KELTON (1982:49) definem a simulação segundo seu tipo:

a) Simulação de Monte Carlo - "Nós definimos como sendo um esquema empregando números randômicos, que utiliza  $U(0,1)$ , variável randômica uniforme no intervalo  $[0,1]$  para resolver certos problemas estocásticos e determinísticos, nos quais a passagem do tempo não tem significação especial. Assim, a Simulação de Monte Carlo é muito mais estática do que dinâmica."

b) Simulação Contínua - "Simulação contínua refere-se à modelagem no tempo, com um sistema de representação no qual o estado das variáveis muda continuamente conjuntamente com o tempo."

c) Simulação Discreta - "A simulação de eventos discretos refere-se a um sistema que envolve tempo, com um sistema de representação no qual o estado das variáveis se modifica somente a cada número contável de pontos no tempo."

## 2. Prós e Contras da Simulação

NAYLOR (1971) discute a validade da utilização das técnicas de simulação na solução dos diversos problemas das diferentes áreas da ciência. Segundo o autor, a simulação vem preencher espaços deixados pela dedução matemática ou lógica, na problemática de predição do comportamento do sistema e na testagem empírica da validação das hipóteses ou do modelo matemático. A capacidade de predição do comportamento de um sistema e a validação de seu modelo são fases essenciais do método científico. Há determinadas classes de problemas que podem ser equacionadas com a utilização de modelos matemáticos, utilizando técnicas analíticas diretas de solução. Contudo, há outras classes de problemas cuja modelagem matemática é tecnicamente ou economicamente impossível. Os sistemas de filas e os problemas econômicos são

exemplos de situações em que a possibilidade de modelagem matemática existe, o que pode não existir é a possibilidade de solução para o modelo (SHANNON,1975:11).

NAYLOR coloca 15 razões, suas e extraídas de outros autores, que devem ser consideradas a favor da utilização de simulação. Aqui destacamos as que consideramos mais importantes:

- a) "A simulação permite estudar e experimentar complexas interações internas de um dado sistema, seja ele uma firma, uma indústria, um negócio ou um subsistema de algum deles."
- b) "Através da simulação podem-se estudar os efeitos de certas variações do meio ambiente, da organização ou das informações relativas à operação de um sistema, fazendo-se alterações no modelo e observando os efeitos dessas alterações no comportamento desse sistema."
- c) "A simulação pode ser utilizada como material pedagógico, para ensinar habilidades básicas na análise estatística e na arte de decidir, tanto a estudantes como a profissionais. Entre as matérias em que a simulação tem sido usada com sucesso para esta finalidade, estão a administração, a economia, a medicina e o direito."
- d) "A simulação de sistemas complexos pode fornecer valiosa intuição no sentido de quais são as variáveis mais importantes no sistema e como essas variáveis interagem."
- e) "A simulação pode ser usada para experiência com novas situações sobre as quais se tem pouca ou nenhuma informação, a fim de nos prepararmos para o que possa acontecer."
- f) "'A simulação pode servir como um 'primeiro teste' para se delinear novas políticas e regras de decisão para a operação de um sistema, antes de se correr o perigo de experimentá-las no sistema real.'"(MORGENTHALER, 1961:375). Para SHANNON (1975:11), a experimentação direta no sistema real poderia prejudicar ou interromper as operações da empresa. O autor também salienta não ser possível explorar todos os tipos de alternativas com experimentação na vida real.
- g) "A simulação permite o estudo de sistemas dinâmicos, quer em tempo real, quer em tempo reduzido ou dilatado."

h) "Quando novos componentes são introduzidos num sistema, a simulação pode ser usada para ajudar a prever áreas de estrangulamento e outros problemas que podem surgir na operação do sistema."

SHANNON (1975:13) apresenta 4 desvantagens (dificuldades) na utilização da simulação:

a) o desenvolvimento de um bom modelo de simulação é muitas vezes oneroso e consumidor de tempo, requerendo muito talento, nem sempre disponível. Segundo FORRESTER (1961), são necessários de 3 a 10 anos para desenvolver um bom modelo integrado de planejamento;

b) uma simulação pode parecer refletir acuradamente uma situação do mundo real, quando, na verdade, não o faz. Muitos problemas intrínsecos em simulação podem produzir resultados errados se não forem resolvidos corretamente;

c) a simulação é imprecisa, e não podemos medir o grau de sua imprecisão. A análise de sensibilidade do modelo à troca de valores dos parâmetros pode somente superar parcialmente esta dificuldade.

d) os resultados da simulação são usualmente numéricos. Então, devemos atentar para o perigo da 'deificação dos números', isto é, atribuir aos números um grau de validade maior do que o justificável.

### 3. Sistemas de Filas

As filas são produto do dessincronismo dos processos estocásticos. O dessincronismo deve-se ao caráter aleatório e independente, no todo ou em parte, das variáveis participantes dos processos, ou então, à interferência de ações artificiais, quando as variáveis intervenientes dispuserem de características controláveis. No processo de chegada, normalmente o intervalo de tempo entre cada chegada independe das ocorrências que a antecederam ou das que a irão suceder e a expressão de seu valor parece ser completamente aleatória. Nos processos de serviço, a probabilidade de se obter comportamentos controláveis é significativamente maior, principalmente quando se trata de serviços automatizados executados por servidores cibernéticos. Contudo, a completa con-

trolabilidade é, mesmo nestes casos, utópica e somente aceitável com base em um certo nível, calculado, de risco. De modo geral, as taxas de serviços também são aceitas como portadoras de um comportamento aleatório e independente. As filas são as válvulas de controle dos sistemas e devem ser motivo de um perfeito balanceamento para que não venham a provocar, sob os mais diferentes aspectos, perdas econômicas comprometedoras.

Como "Sistema de Filas" se entende um conjunto de entidades onde interagem o processo de chegada, o processo de serviço, a disciplina da fila e a disciplina do serviço. Segundo HARRIS e MAGGARD (1977:155), geralmente um sistema de filas é caracterizado pelas propriedades a seguir descritas:

### 3.1. Processo de Chegada

O processo de Chegada na fila determina o comportamento do conjunto de elementos que se utilizam do sistema no que tange à forma como eles ingressam no sistema. O ingresso no sistema pode, evidentemente, ser um processo controlado; contudo, normalmente estes processos não são controláveis. O mais comum, nestes casos, é assumir que os intervalos de tempo entre chegadas consecutivas são variáveis randômicas independentes. Grande parte dos estudos de sistemas de filas têm revelado que os intervalos entre chegadas consecutivas são muitas vezes distribuídos de acordo com uma distribuição exponencial negativa (longos intervalos de tempo têm baixa probabilidade de ocorrer). Neste caso, o número de chegadas esperadas em um intervalo de tempo forma uma distribuição de Poisson. Outras distribuições de chegadas são possíveis, contudo, a distribuição de Poisson é a de uso mais freqüente.

### 3.2. Processo de Serviço

Em grande parte dos sistemas, os usuários requerem tempos de serviço variável. É comum assumir-se que o tempo de serviço segue uma distribuição exponencial-negativa. O processo de serviço pode ser caracterizado como tendo fase-única (uma operação) ou fase-múltipla (com uma série de operações).

### 3.2.1. *Disciplinas de Filas*

A disciplina de fila é a regra básica que determina a ordem em que usuários são extraídos das filas para ingresso no processo de serviço. As disciplinas de fila principais são:

- a) primeiro-a-chegar-primeiro-a-ser-servido (PCPS);
- b) último-a-chegar- primeiro-a-ser-servido (UCPS);
- c) tempo-de-operação-mais-curto (OMC);
- d) prazo de entrega ("due dates");
- e) outras diciplinas são admissíveis, contudo com menor escopo de aplicação.

### 3.2.2. *Layout*

O layout ou modelo de escoamento de clientes é muito importante num estudo de filas, pois determina a capacidade e as limitações do sistema físico.

### 3.3. **Controle do Sistema de Filas**

O estudo de filas tem como objetivo final melhorar a performance do sistema com o controle sobre a formação de filas. A formação das filas depende da política de administração aplicada às características básicas do sistema, como: processo de chegada, processo de serviço e disciplina da fila; assim, o comportamento das variáveis cuja perfomance se quer medir é consequência da forma como o administrador interfere na base do sistema. Portanto é necessário conhecer-se em detalhes as características básicas, neste trabalho denominadas de parâmetros do sistema, e as variáveis portadoras das informações desejadas. Em termos de decisão, são de grande importância as informações proporcionadas pelas variáveis:

- a) comprimento da fila;
- b) tempo de espera dos clientes;
- c) tempo vago do servidor;
- e) número de clientes no sistema de serviço.

Há um sem número de outras variáveis cuja importância depende do aspecto específico que se está analisando, algumas delas estão citadas e devidamente circunstanciadas no decorrer da exposição deste relatório de pesquisa.

### 3.4. Linguagens

A conversão do modelo em rotinas de simulação inteligíveis por sistemas computacionais pode ser feita com a utilização de dois tipos de linguagens de programação: as linguagens de uso geral e as de simulação.

A utilização de linguagens de uso geral, tais como FORTRAN, COBOL, ALGOL, PL/1, PASCAL, BASIC, C, etc., permitem maior flexibilidade: na preparação do projeto e formulação do modelo matemático do sistema, assim como na formatação dos dados de saída das simulações executadas com o modelo. Entretanto, "...a dificuldade principal do problema é o controle da seqüência segundo a qual as ações interdependentes que compõem o modelo ocorrem. Se tentarmos escrever um programa utilizando apenas uma linguagem geral, logo nos veremos emaranhados nas dificuldades referentes ao controle seqüencial, que, embora não sendo de grande interesse, surpreendentemente oferece um campo fértil para o aparecimento de pequenos erros. Além disso os enganos nesta fase são responsáveis pela produção de efeitos obscuros e difíceis de erradicar (WILLIAMS, 1964:328)", apud (NAYLOR et alii, 1966:277-354).

LAW e KELTON(1982) colocam como quesitos favoráveis para o uso de linguagens de aplicação geral, o seguinte:

- a) a maioria dos usuários de simulação conhece alguma linguagem de uso geral, enquanto que as linguagens de simulação são menos difundidas.
- b) linguagens como FORTRAN, PASCAL, BASIC e C são executáveis na maioria dos computadores, enquanto que as linguagens de simulação podem necessitar de condições especiais de hardware.
- c) linguagens de uso geral, para programas bem estruturados, requerem, geralmente, menor tempo de execução.

Segundo (NAYLOR et alii, 1966:278), as linguagens de simulação, tais como DYNAMO, SIMSCRIPT, GASP, SIMPAC, SIMULATE, GPSS etc., foram desenvolvidas para atender aos seguintes objetivos:

- a) produzir uma estrutura generalizada para se escrever modelos de simulação;
- b) fornecer uma maneira rápida de se converter um modelo em um programa;



- c) fornecer uma forma rápida para se introduzir alterações do modelo no programa;
- d) fornecer uma maneira flexível de se obter saídas em forma útil para análise.

Esses objetivos, associados à qualidade das rotinas de erros específicos de simulação, também são suas principais vantagens em relação às linguagens de uso geral.

As desvantagens das linguagens de simulação são, de modo geral, as vantagens das linguagens de uso geral, contudo ressaltamos as seguintes:

- a) redução na flexibilidade, tanto em termos de representação do modelo quanto em termos de documentação do sistema e dos resultados;
- b) necessidade de o usuário ter conhecimento especializado da linguagem;
- c) necessidade de dispor de hardware com configuração própria;

As linguagens de simulação são classificadas, por diversos autores, em função do tipo de sistema que se propõem a simular. Esta classificação é, a princípio, dicotômica: de um lado, temos linguagens como GPSS, SIMSCRIPT, GASP e outras derivadas destas ou de menor expressão, que se propõem a simular sistemas discretos; por outro lado, temos linguagens como DYNAMO, CSMP e outras derivadas destas ou de menor expressão, que se propõem a simular sistemas contínuos. Apesar desta dicotomia classificatória, é perfeitamente possível utilizar qualquer das linguagens para simular ambos os tipos de sistemas. Evidentemente, haverá uma perda mais ou menos significativa na eficiência e eficácia dos programas.

A escolha da linguagem deve ser um processo bastante cuidadoso, que deve considerar os itens abaixo (LAW e KELTON 1982:133 e NAYLOR et alli, 1966):

- a) tipo de modelo que se deseja simular;
- b) disponibilidade de equipamento;
- c) custo de utilização do equipamento;
- d) capacidade de memória do equipamento;
- e) eficiência da linguagem em termos de tempo;
- f) disponibilidade das linguagens;
- g) flexibilidade e força da linguagem;

- h) conhecimento do usuário;
- i) custo da programação.

## CAPÍTULO - IV

### TEMA

1. **Tema**

Simulação de sistemas estocásticos discretos.

2. **Delimitação do Tema**

Desenvolvimento de um programa simulador do comportamento do sistema de caixas de um supermercado em processo de automação.

## CAPÍTULO - V

### **OBJETIVO**

## 1. **Objetivo Geral**

Reproduzir em laboratório, através de um sistema simulador, uma réplica das operações realizadas na frente de caixas em um supermercado, no período de um dia.

## 2. **Objetivos Específicos**

- a) Oferecer informações para quantificar a necessidade de caixas - Ponto de Venda (PDV) - em operação em determinados períodos de um dia.
- b) Oferecer informações necessárias à tomada de decisão sobre formas alternativas de pagamento.
- c) Oferecer informações para quantificar as necessidades de atendimento diferenciado nos caixas PDV por porte de consumidor (até determinada quantidade de itens e acima de tal quantidade).
- d) Comparar o desempenho dos PDVs que utilizam a técnica de digitação de código com o desempenho dos PDVs que utilizam a técnica de leitura de código de barras.

## CAPÍTULO VI

# **OPERACIONALIZAÇÃO E VALIDAÇÃO DO SISTEMA**

## 1. Descrição do Sistema Real

Antes de abordarmos a transição do sistema real para o conceitual, é necessário descrever detalhadamente a composição do sistema físico objeto da modelagem. O sistema objeto é uma loja de supermercado situada em um bairro de classe média, próximo à área central de Porto Alegre, Capital do Estado do Rio Grande do Sul. Em consequência, os clientes da loja são em sua maior parte oriundos dessa classe média. A localização em uma região densamente habitada faz com que a loja seja utilizada pelos consumidores com muita frequência, para aquisição de produtos para atendimento de necessidades imediatas, além dos tradicionais "ranchos".

A loja está distribuída fisicamente em dois níveis. O nível superior ocupa uma área restrita, onde estão instaladas uma lancheria e uma seção de confecções. Esse nível foi considerado como independente do sistema principal e excluído do projeto do sistema. Sua descrição se justifica pela necessidade de clareza e pela percepção de eventuais influências que a lancheria e que a seção de confecções possam ter na conquista de clientes para o sistema principal. No nível inferior, ocupando a maior parte da área disponível, encontra-se a loja de supermercado propriamente dita, objeto deste projeto de sistema de simulação.

A loja dispõe de aproximadamente 26 gôndolas distribuídas em 17 corredores de compras e uma frente de caixas com 34 caixas registradoras tipo Ponto de Venda (PDV). A frente de caixas, já em avançado estágio de automação, dispõe de caixas com capacidade autônoma de armazenamento de informações que abrange os 5000 mil itens mais movimentados da loja. As informações sobre itens de menor rotatividade são supridas por um microcomputador PC-AT (servidor de retaguarda) que, além de executar essa tarefa, também registra todas as operações para posterior atualização dos estoques no computador de grande porte da empresa.

De modo geral, as informações sobre as mercadorias que o cliente está levando são fornecidas ao PDV através da digitação de um código identificador constituído por 5 dígitos numéricos ou no caso de mercadorias não codificadas o valor unitário da mercadoria. Em qualquer dos casos, é fornecida, também, a quantidade da mercadoria na unidade-padrão. Das 34 caixas, 8 estão equipadas com "scanners" para leitura de código de barras, funcionando esporadicamente em fase de teste. Um dos objetivos do sistema simulador é



avaliar a influência da redução no tempo médio de digitação, provocada pela instalação de "scanners" nas demais variáveis significativas do sistema, de tal sorte que o decisor possa converter as alterações físicas em quantificação econômica.

De maneira concisa, o sistema a ser modelado deve ser entendido como o conjunto de eventos que ocorrem de forma interativa a contar do instante da chegada do primeiro cliente no primeiro caixa, para ser atendido, até o instante em que o último caixa fica livre após ter atendido o último cliente existente no sistema. Cada cliente é controlado pelo sistema a partir do instante de sua chegada. Considera-se chegada o momento em que o cliente, tendo feito o passeio de compras pela loja, se dirige à frente de caixas com intenção de submeter-se ao conjunto de procedimentos necessários à checagem e valoração de suas compras.

## 2. Procedimentos de Coleta e Avaliação dos Dados

A identificação do processo de chegada é de vital importância para o desenvolvimento do modelo; contudo, não foi possível destacar uma forma economicamente viável para efetuar uma coleta de precisão absoluta. O ideal seria anotar, a nível de segundo, o momento em que cada cliente chega no sistema de caixas para ser atendido ou para entrar nas filas. A óbvia inviabilidade de tal ideal força a opção por uma técnica menos precisa, porém viável. Esta técnica consiste em obter-se, manualmente e em horários previamente determinados, a quantidade de clientes em cada fila de caixa. Posteriormente, na descrição do processo de chegada, veremos a utilidade dessa coleta.

As variáveis volume de itens, forma de pagamento, horário de início de digitação, horário de início de pagamento e horário de fim de pagamento foram capturadas, para cada cliente, pelo sistema administrador dos caixas (PC-AT na retaguarda) e armazenadas em meio magnético. A eventual espera de clientes, em virtude do operador de caixa (servidor) estar procedendo tarefas do tipo limpeza do balcão, coleta de numerários, manutenção do equipamento etc., está embutida na variável intervalo entre atendimentos; assim, a segregação de sua distribuição ficou prejudicada por falta de identificação clara de sua ocorrência. Esta dificuldade deve-se, também, à impossibilidade de identificação do instante exato da chegada do cliente no sistema.

Os dados coletados são de excelente qualidade no que tange ao volume de itens, à velocidade de digitação, à forma de pagamento, à velocidade de pagamento e ao horário em que inicia o atendimento do cliente. Por outro lado, os dados coletados deixam um pouco a desejar no que se refere ao instante de chegada do cliente na frente de caixas e estão seriamente prejudicados no tocante à espera dos clientes, em virtude da ocupação do servidor em tarefas secundárias.

### **3. Definição , Segregação e Validação dos Parâmetros**

#### **3.1. Processo de Chegada**

##### **3.1.1. Definição**

Por processo de chegada entende-se a forma pela qual os clientes chegam ao sistema. Diversas observações e ponderações foram realizadas para elucidação do comportamento deste parâmetro. Para uma perfeita identificação, seria necessária a percepção do momento exato em que o cliente, após coletar os produtos nas gôndolas, chegasse ao sistema de caixas para ser atendido. Infelizmente, não se dispõe de tão perfeita informação. A taxa de chegada dos clientes pode ser avaliada com relativa precisão utilizando-se uma simples contagem do número de clientes que passam pelo sistema a intervalos regulares de tempo.

Uma dificuldade adicional, entretanto, é logo percebida: a taxa de chegada de clientes apresenta um comportamento essencialmente não-estacionário, como se depreende da Figura VI.1, ou seja, ela depende fundamentalmente do instante no tempo em que está sendo considerada. Trabalhos de cunho semi-científico ou operacional têm tratado este parâmetro como estacionário, quando não ao longo de todo período, pelo menos em largos subperíodos do processo simulado. Tal tratamento produz resultados, senão desastrosos, no mínimo desprestigiadores do potencial resolutivo da técnica de modelagem e simulação.

Seguindo a intuição, bem como orientação contida em LAW e KELTON (1982), modelou-se o processo de chegadas por um processo não-estacionário de Poisson. Isto é, à medida em que o relógio do simulador avança, em determinados intervalos de tempo (em geral 15 minutos), reavalia-se a taxa

de chegada para geração de futuras chegadas. Tentativas de implementar reavaliações a intervalos maiores (30 e 60 minutos), mostraram-se infrutíferas, em virtude da perda de controle sobre eventuais variações cíclicas importantes dentro do período.

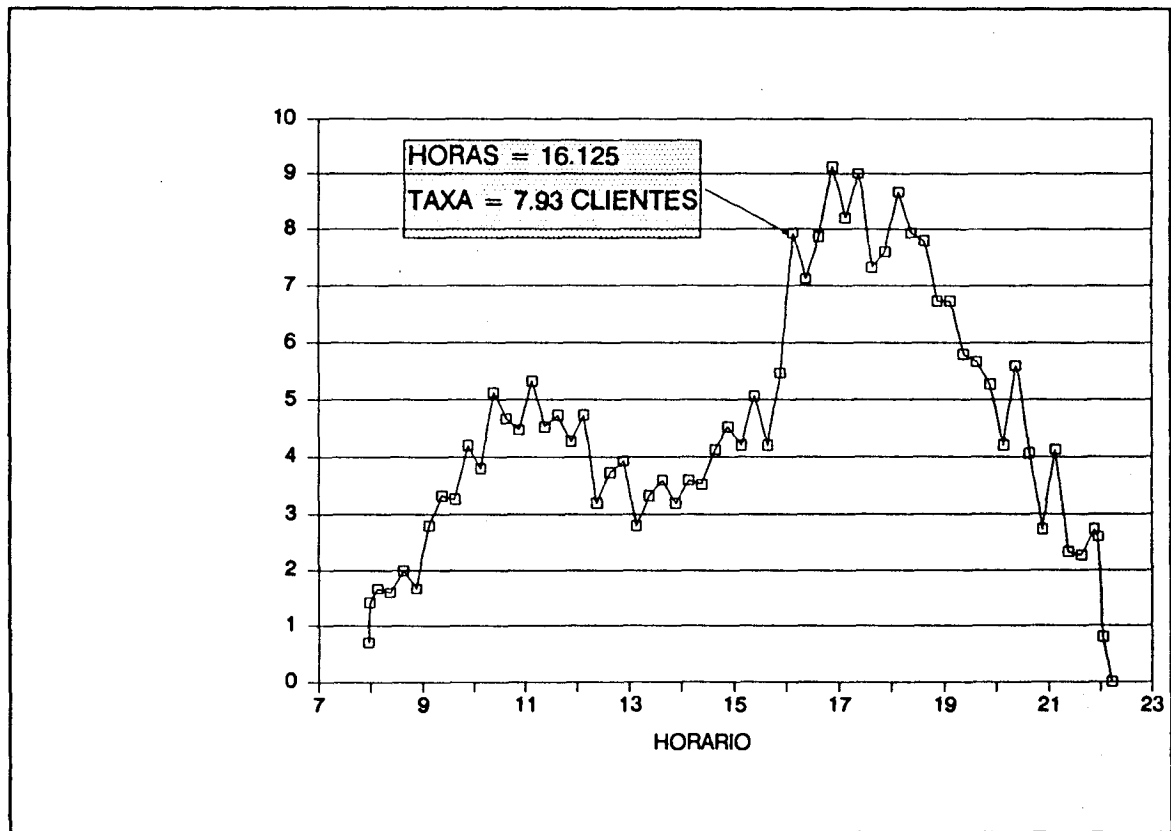


Figura VI.1 - Taxa de Chegada por Horário

### 3.1.2. Coleta de Dados , Condicionamento e Geração

A perfeita identificação da taxa de chegada demandaria, como já dissemos, a percepção do instante exato em que cada cliente, após apanhar as mercadorias nas estantes, chega no sistema de caixas para ser atendido. Os dados coletados contêm uma informação bastante próxima à desejada, que é o horário (a nível de segundos) do início do atendimento. Esta informação coincide com o instante da chegada, no caso de não haver clientes em serviço ou na fila naquele momento; porém, ocorrendo a formação de fila, a informação passa a sofrer vieses não-controláveis. Foram feitos alguns testes objetivando a exclusão desses vieses; porém, eles se mostraram infrutíferos, provocando, ao final, vieses ainda maiores. Assim, optou-se por utilizar, na definição do comportamento do

processo de chegada, a técnica de estimativa por recomposição através dos saldos das filas.

Esta técnica consiste em tomar-se o saldo de clientes nas filas no final de cada subperíodo, adicionar-se a este saldo a quantidade de clientes atendidos pelos caixas no subperíodo, excluindo-se da soma o saldo de clientes nas filas no início do subperíodo. Desta forma, obtém-se a quantidade de clientes que chegaram no sistema naquele subperíodo. A razão entre a quantidade de clientes que chegaram naquele subperíodo e o tamanho do intervalo considerado, em minutos, nos proporciona a taxa de chegada do subperíodo, ou seja, a quantidade de clientes que chegam no sistema por minuto. A tabela A.1, do Apêndice, apresenta os pontos, hora e valor que foram isolados com os dados coletados.

A impossibilidade de identificarmos o horário da chegada de cada cliente no sistema nos impede de obtermos a verdadeira distribuição de frequência do processo de chegada. Nesta dificuldade, o auxílio prestado pela literatura clássica de simulação é de grande valia e nela encontram-se diversos autores demonstrando claramente que o melhor tratamento que se pode dar ao processo de chegada é considerá-lo como sendo um processo de Poisson (o número de chegadas esperado tem uma Distribuição de Poisson), onde os intervalos entre chegadas consecutivas são distribuídos de acordo com uma distribuição negativa-exponencial.

A função que proporciona a distribuição exponencial é:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

onde  $\lambda$  é a taxa de chegada mantida constante no período simulado. Para atender o caráter não-estacionário do processo de chegada, a função foi modificada com a inclusão do fator tempo instantâneo, que permite estabelecer uma taxa específica para cada instante do período simulado. Assim,

$$f(t) = \lambda(t) e^{-\lambda(t) t}$$

onde  $\lambda(t)$  é a taxa instantânea de chegada a cada momento no período simulado.

O gráfico da Figura VI.1, mostra as taxas instantâneas pontuais obtidas empiricamente. As taxas intermediárias são obtidas por interpolação linear.

Conhecida a taxa instantânea de chegada, gera-se o próximo intervalo entre chegadas, através da função:

$$\text{Intervalo Entre Chegadas} = - (1/\lambda(t)) \text{Ln}(x)$$

onde  $x$  é um número pseudo-aleatório gerado uniformemente entre 0 e 1 ( $U(0,1)$ ). Essa função produz um conjunto de valores de intervalos entre chegadas cuja distribuição corresponde à sobreposição das distribuições exponenciais de cada taxa instantânea de chegada utilizada, haja vista ser a taxa instantânea o único parâmetro da função. Os intervalos gerados são independentes entre si, diferentes de zero e de valor aleatório.

### 3.1.3. Validação

Na validação do comportamento do sistema simulador, no que tange à replicação do comportamento particular de cada parâmetro, foram utilizados 2 tipos de testes: 1) o teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S bilateral) para duas amostras (SIEGEL, 1981:144-155), onde a hipótese nula ( $H_0$ ), afirma que as duas amostras foram extraídas da mesma população ou de populações de mesma distribuição. O teste foi utilizado com a finalidade de avaliar a concordância entre as distribuições empíricas e as respectivas distribuições simuladas; 2) o teste  $t$  de Student para uma amostra (STEVENSON, 1981:232-237), onde  $H_0$  atribui um valor específico para a média populacional da qual a amostra foi retirada, foi utilizado com o objetivo verificar se a média das amostras simuladas, em cada classe, tem origem na mesma população que o valor da média teórica esperada correspondente e, também, constatar tendências continuadas da ocorrência de freqüências superiores ou inferiores ao valor esperado, em cada classe. Para cada parâmetro, os dois testes foram aplicados respeitando suas características particulares. A dependência existente entre os parâmetros proporciona um valor cumulativo aos testes aplicados sobre os parâmetros dependentes. Quando os testes, por exemplo, são aplicados sobre a quantidade de itens, eles validam cumulativamente o processo de chegada de

quem a quantidade de itens depende. No caso de ter sobrado alguma imperfeição significativa no ajustamento do processo de chegada, não perceptível nas estatísticas resultantes dos teste aplicados na fase de ajustamento deste processo, ela se refletirá nas variáveis dependentes e os testes estatísticos aplicados sobre as variáveis dependentes deverão, em algum momento, refletir a disfunção. Assim os varios níveis de acumulação, apesar de dificultar enormemente a atividade de ajuste das distribuições, dão maior consistência ao processo de validação de cada parâmetro.

Cabe ressaltar que, na avaliação do resultado dos testes, em alguns casos, deve-se ter presente as seguintes ponderações:

- a) a amostra empírica, que serve de balisa para os testes, pode não ser representativa da população amostrada em algumas classes;
- b) o teste t pode ficar comprometido, em algumas classes, devido à exigüidade da amostra empírica ou da amostra simulada;
- c) o desempenho geral do sistema real é reproduzido pelo sistema simulador com aleatoriedades; portanto, ocorrências particulares nos dois sistemas não guardam qualquer espécie de relação determinística, ocorrências específicas como, por exemplo, um cliente que, às 14 horas, gasta 8 minutos para pagar em cheque, no sistema real não encontrará necessariamente no sistema virtual seu recíproco. Um elemento com tal peso, em termos de tempo de pagamento em cheque, pode distorcer a análise da classe simulada onde aleatoriamente vier a se incorporar, sem encontrar um valor recíproco na mesma classe da distribuição empírica.

Em decorrência destas observações, o teste t deve ser visto mais como um balisador de tendências das médias simuladas do que como um teste de significância de médias. O seu valor, esporadicamente, pode variar entre -5 e 5, contudo, não deve se manter continuamente maior do que 2 e nem menor do que -2.

É importante ter sempre presente que o objetivo do sistema virtual é simular o comportamento de um dia que tenha as características essenciais do dia básico, e não reproduzir deterministicamente o dia básico. Os próprios dados coletados devem ser considerados resultados de um processo de amostragem, sujeito, portanto, a flutuações amostrais.

Para validação da rotina implementada para replicar o processo de chegada, extraiu-se a distribuição horária de chegadas dos dados empíricos e comparou-se com as distribuições horárias obtidas em quinze replicações obtidas com a execução da rotina (ver Figura VI.2).

O teste K-S, cujos resultados estão evidenciados na Tabela C.1 do Apêndice, não permite rejeitar qualquer das replicações a um nível de significância de 5%, o mesmo ocorrendo com a estatística t, apesar da ocorrência de um valor +4.0 na classe das 16 horas, compensado parcialmente por um -2.1 na classe seguinte. No geral, linha T (totais) coluna t (Student) da Tabela C.1, a prova t mostra uma tendência de geração acima da frequência total esperada de clientes no sistema (4028 clientes).

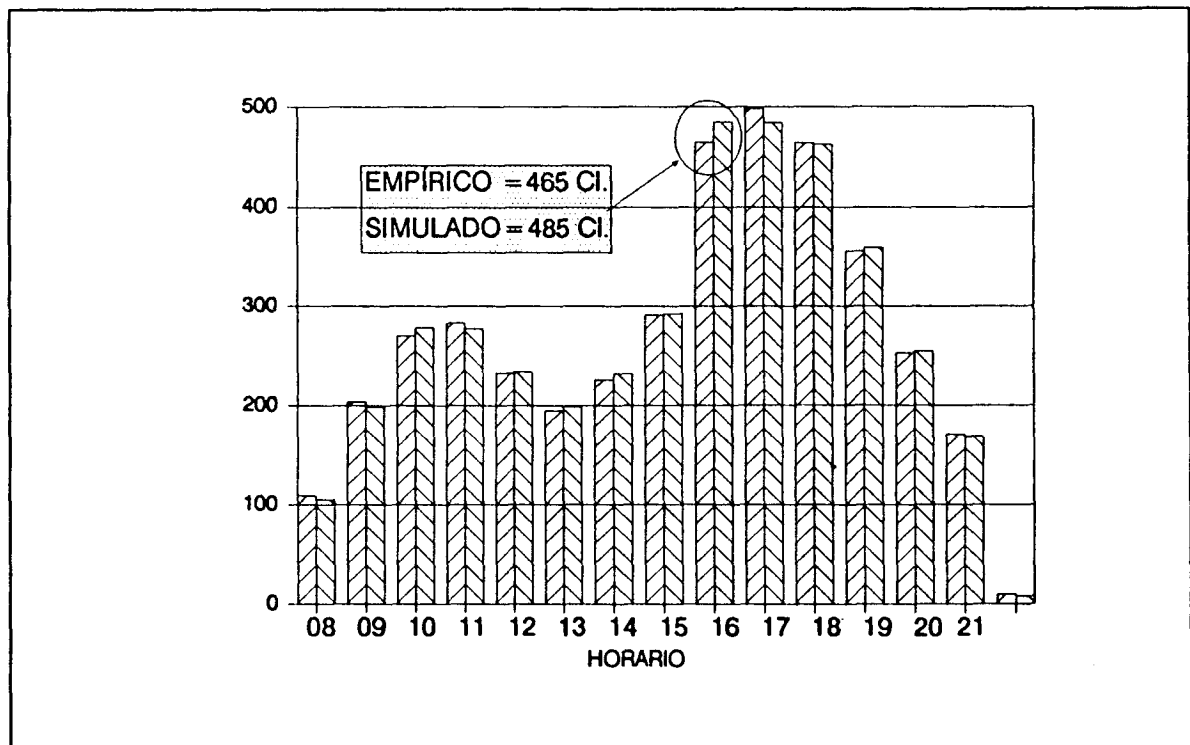


Figura VI.2 - Frequência de Clientes por Horário

### 3.2. Quantidade de Itens

#### 3.2.1. Definição

Por quantidade de itens entende-se o número de itens que o cliente traz consigo no momento em que chega no sistema de caixas, após efetuar seu passeio de compras na loja. O item representa a unidade básica de toda e qualquer mercadoria que um cliente possa adquirir e passar com ela pela frente de caixa, sem distinção física (volume, forma etc.) ou econômica (valor,

rotatividade etc.). Assim, são considerados itens, por exemplo: 1 cerveja, 1/2 cerveja, 1 caixa de cerveja em lata, 1 pacote com 200 gramas de carne, um pacote com 5 quilos de carne, 1 litro de vinho com um copo de brinde etc. Os conjuntos de mercadorias oferecidas a granel pelo supermercado (6 garrafas de cerveja, 5 latas de ervilha, cinco pacotes de açúcar de 1Kg, etc.), são consideradas individualmente por componente na contagem da quantidade de itens e os conjuntos oferecidos em embalagens especiais que não permitem a dissociação dos componentes, estes são considerados unitariamente por conjunto (uma caixa de cerveja em lata contendo 6, 12 ou 24 latas).

### 3.2.2. *Coleta de Dados, Condicionamento e Geração*

O arquivo básico de coleta contém o número de itens que cada cliente adquiriu e o horário em que se iniciou a digitação destes itens. Com estas duas informações, obteve-se a distribuição de frequência de cada categoria de itens por intervalo horário. A distribuição de probabilidades da quantidade de itens que cada cliente transporta é função do horário em que ele chega ao sistema de caixas. Cada horário tem uma distribuição peculiar e diferenciada até a quantidade de 30 itens. A tabela A.2 do Apêndice traz, horário a horário, a distribuição relativa acumulada da probabilidade de um cliente adquirir quantidades de 1 a 30 itens; já na Figura VI.3 estão descritas, como exemplo, 4 curvas típicas escolhidas. A curva mais alta no gráfico, a do intervalo das 9 horas, atinge níveis mais elevados de probabilidade com maior rapidez, demonstrando uma clara tendência dos clientes daquele intervalo de levarem conjuntos de menor quantidade de itens que os demais intervalos. Em destaque na Figura VI.3, e em detalhes na Tabela A.2 do Apêndice coluna dos 10 itens e linha das 13 horas, têm-se uma probabilidade de 90,77% do cliente levar até 10 itens, enquanto que na coluna dos 10 itens e linha das 19 horas esta mesma probabilidade cai para 78,93%, ou seja, no intervalo das 19 horas o cliente tem 11,84% a mais de probabilidade para levar conjuntos de mercadorias em quantidades superiores a 10 itens.

Acima de 30 itens, o conjunto de dados coletados não permite extrair inferências por intervalo horário, em virtude da dispersão que os dados sofrem. Como solução, optou-se por uma análise estacionária, como se pode ver na Figura VI.4, em relação ao tempo, projetando-se uma distribuição de probabilidade condicionada para todos os horários, baseada na distribuição de



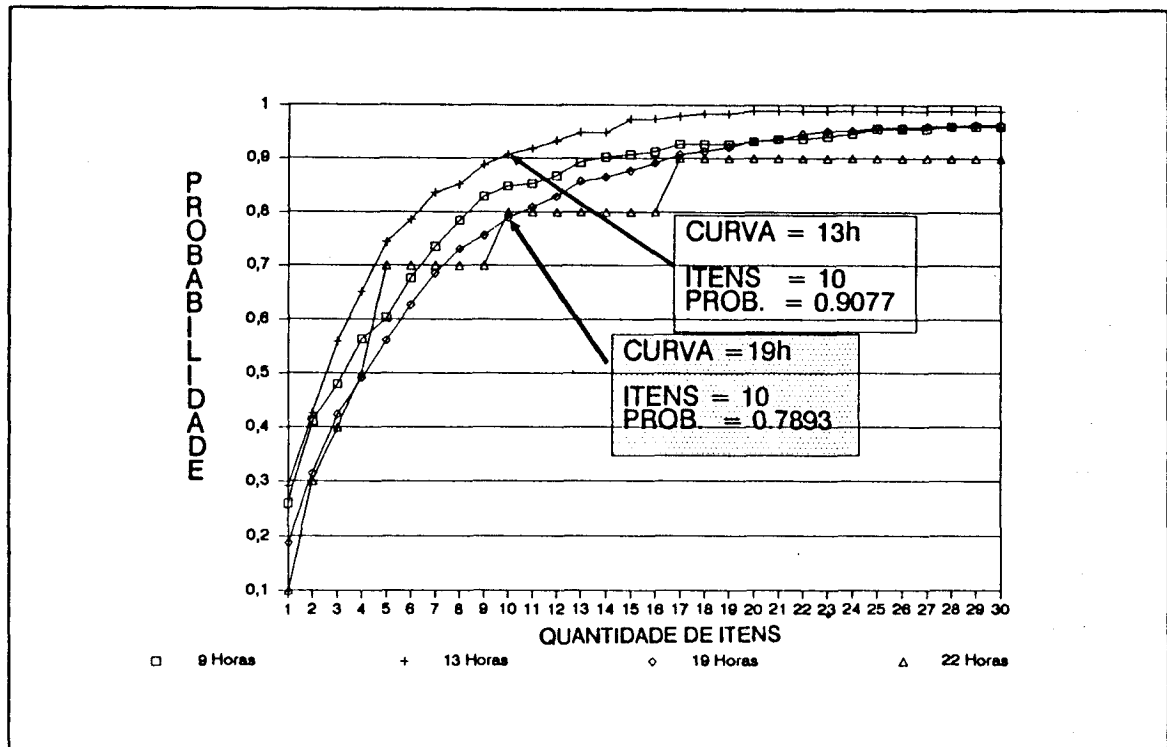


Figura VI.3 - Probab. da Qtde de Itens por Horário

freqüência das categorias entre 31 e 90 itens, tomados aos pares. O procedimento utilizado para obter esta distribuição condicional consistiu em isolar as ocorrências entre 31 e 90 itens obtendo a distribuição de probabilidade acumulada em categorias de 2 unidades de quantidades ( 31 e 32 itens, 33 e 34 itens etc.). Os valores resultantes estão detalhados na linha 23 da Tabela A.2 do Apêndice, onde as colunas de 1 a 30 correspondem às categorias de quantidades 31e 32, . . . , 89 e 90.. A distribuição condicional de probabilidades parte de zero, porém ela é a continuidade da probabilidade de 1 a 30 itens. Portanto, sua representatividade depende do horário em que o cliente chega no sistema. A figura VI.4 dá uma idéia do comportamento desta curva, que representa não mais do que 10% de probabilidade quando ela for excedente do horário das 22 horas, que de 1 a 30 itens chega a um máximo de 90% de probabilidade acumulada, e não menos do que 0,58% no intervalo das 21 horas, quando o acumulado de 1 a 30 itens chega a 99,42%. A exceção se faz no horário das 7 horas quando a probabilidade da ocorrência de quantidades maiores do que 6 itens foi aceita, assumindo-se um certo risco, como sendo zero.

Acima de 90 itens, apesar de o sistema real apresentar quantidades até um máximo de 100 itens, desenvolveu-se uma função exponencial para cobrir a área de probabilidade condicionada excedente. Esta função tem início no ponto de probabilidade da categoria 90 itens e segue para infinito até que a

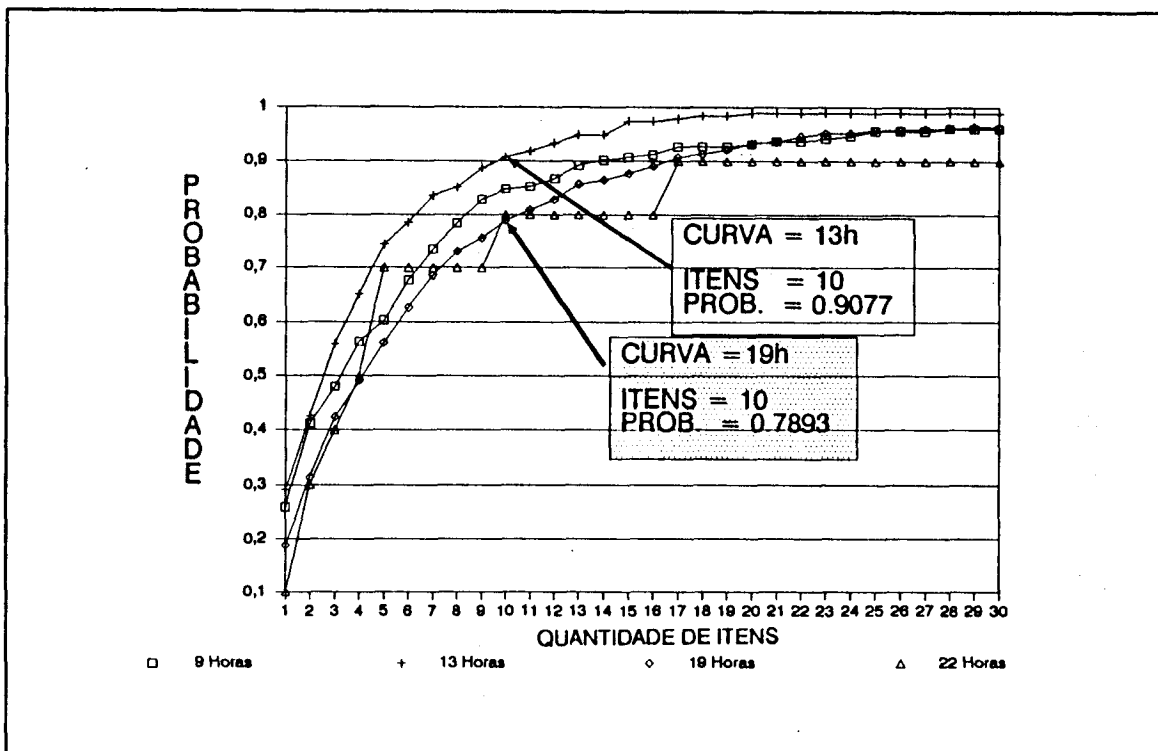


Figura VI.3 - Probab. da Qtde de Itens por Horário

freqüência das categorias entre 31 e 90 itens, tomados aos pares. O procedimento utilizado para obter esta distribuição condicional consistiu em isolar as ocorrências entre 31 e 90 itens obtendo a distribuição de probabilidade acumulada em categorias de 2 unidades de quantidades ( 31 e 32 itens, 33 e 34 itens etc.). Os valores resultantes estão detalhados na linha 23 da Tabela A.2 do Apêndice, onde as colunas de 1 a 30 correspondem às categorias de quantidades 31 e 32, . . . , 89 e 90.. A distribuição condicional de probabilidades parte de zero, porém ela é a continuidade da probabilidade de 1 a 30 itens. Portanto, sua representatividade depende do horário em que o cliente chega no sistema. A figura VI.4 dá uma idéia do comportamento desta curva, que representa não mais do que 10% de probabilidade quando ela for excedente do horário das 22 horas, que de 1 a 30 itens chega a um máximo de 90% de probabilidade acumulada, e não menos do que 0,58% no intervalo das 21 horas, quando o acumulado de 1 a 30 itens chega a 99,42%. A exceção se faz no horário das 7 horas quando a probabilidade da ocorrência de quantidades maiores do que 6 itens foi aceita, assumindo-se um certo risco, como sendo zero.

Acima de 90 itens, apesar de o sistema real apresentar quantidades até um máximo de 100 itens, desenvolveu-se uma função exponencial para cobrir a área de probabilidade condicionada excedente. Esta função tem início no ponto de probabilidade da categoria 90 itens e segue para infinito até que a

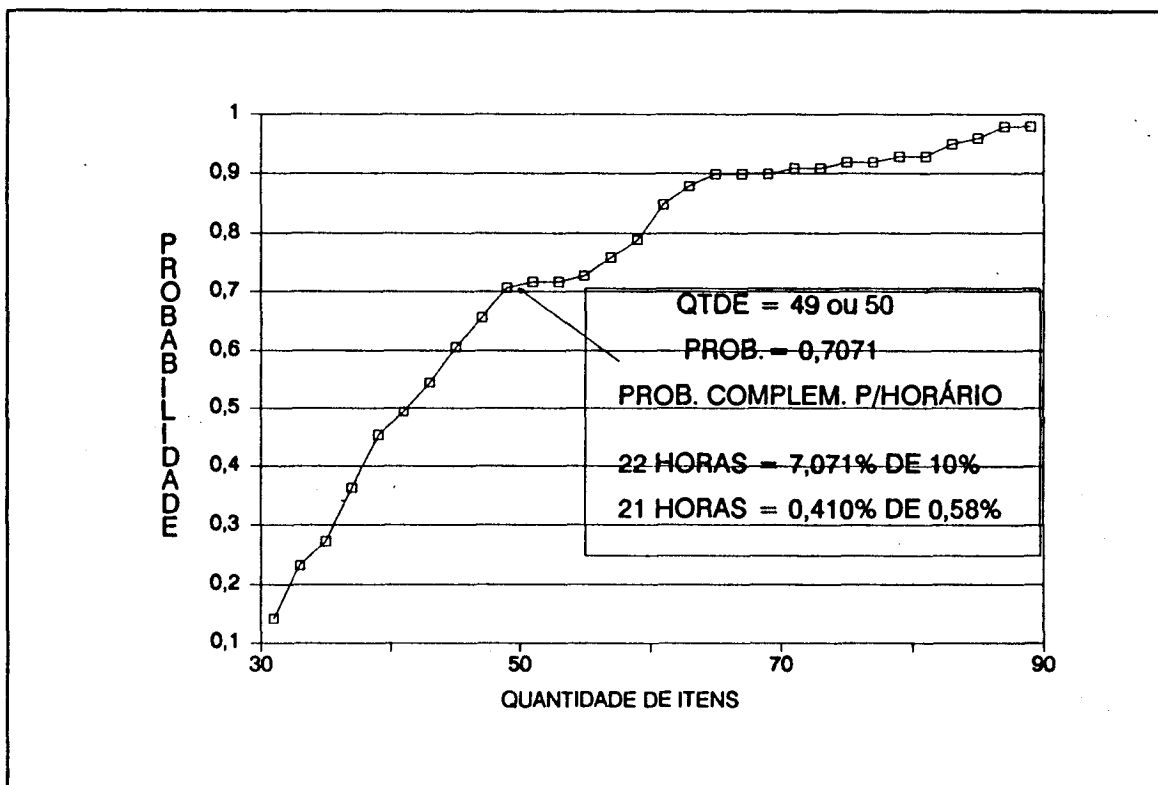


Figura VI.4 - Probab. Estacionária por Qtde Itens

área sob a curva atinja o valor inteiro. A área excedente à probabilidade de 90 itens varia de 0,202% a 0,011% no menor dos casos; porém, sua existência faz com que não se estabeleçam limites arbitrários para a quantidade de mercadorias.

Foram testadas, também, hipóteses de dependência da forma de pagamento. A hipótese de dependência resultou invertida, ou seja, o parâmetro forma de pagamento, que veremos adiante, é que depende da quantidade de itens transportada pelo cliente.

A rotina de obtenção do número de itens que um cliente adquire foi implementada com base no seguinte algoritmo:

- a) determinar a hora de chegada do cliente;
- b) gerar um número pseudo-aleatório (NPA) e verificar se seu valor é igual ou menor do que o valor da probabilidade relativa acumulada do cliente levar 30 itens. Caso seja menor ou igual, ir para "c"; senão, ir para "d";
- c) obter a quantidade de itens correspondente ao NPA gerado e fim da rotina;

- d) gerar um novo número pseudo-aleatório (NPA) e verificar se seu valor é menor ou igual ao valor da probabilidade de o cliente levar até 90 itens. Caso seja menor ou igual, ir para "e"; senão, ir para "f";
- e) se o 5 dígito do último NPA gerado for menor que 5, obter a quantidade de itens ímpar correspondente ao NPA gerado; senão, obter a quantidade de itens par correspondente ao NPA gerado e fim da rotina;
- f) obter a quantidade de itens através da função exponencial:

$$x = x_1 \left( \frac{\ln(1-y)}{\ln(1-y_1)} \right),$$

onde  $x$  é a quantidade adquirida,  $y$  é um NPA gerado  $U(0,1)$ ,  $x_1$  é a quantidade de itens no ponto de início da cauda exponencial e  $y_1$  é a probabilidade no ponto de início da cauda exponencial.

### 3.2.3. Validação

Para validação da técnica de geração do número de itens adquirido, foram desenvolvidas duas baterias de testes de aderência de distribuições. Em cada bateria foram feitas 15 replicações, com diferentes sementes nos geradores de números aleatórios.

O primeiro teste avalia a propriedade da aderência da distribuição de frequência por categorias de itens, como mostra a Figura VI.5. Os resultados, Tabela C.2 do Apêndice, foram agrupados em classes com intervalos de dez elementos, em virtude da grande dispersão das ocorrências, e comparados com a distribuição obtida nos dados empíricos. A prova K-S não permite a rejeição de nenhuma classe, o mesmo ocorrendo com a prova t nas classes de até 69 itens, perdendo, nas classes seguintes, a representatividade amostral.

No segundo teste, Tabela C.3 do Apêndice e Figura VI.6, comparou-se o total de itens que entraram no sistema em cada intervalo horário nas 15 replicações com o total empírico dos mesmos horários. Neste teste, tanto a prova K-S quanto a prova t foram incapazes de determinar inconsistências no processo de geração.

Como já foi explicitado anteriormente, estes dois testes estatísticos validam cumulativamente o processo de chegada e a geração de itens por

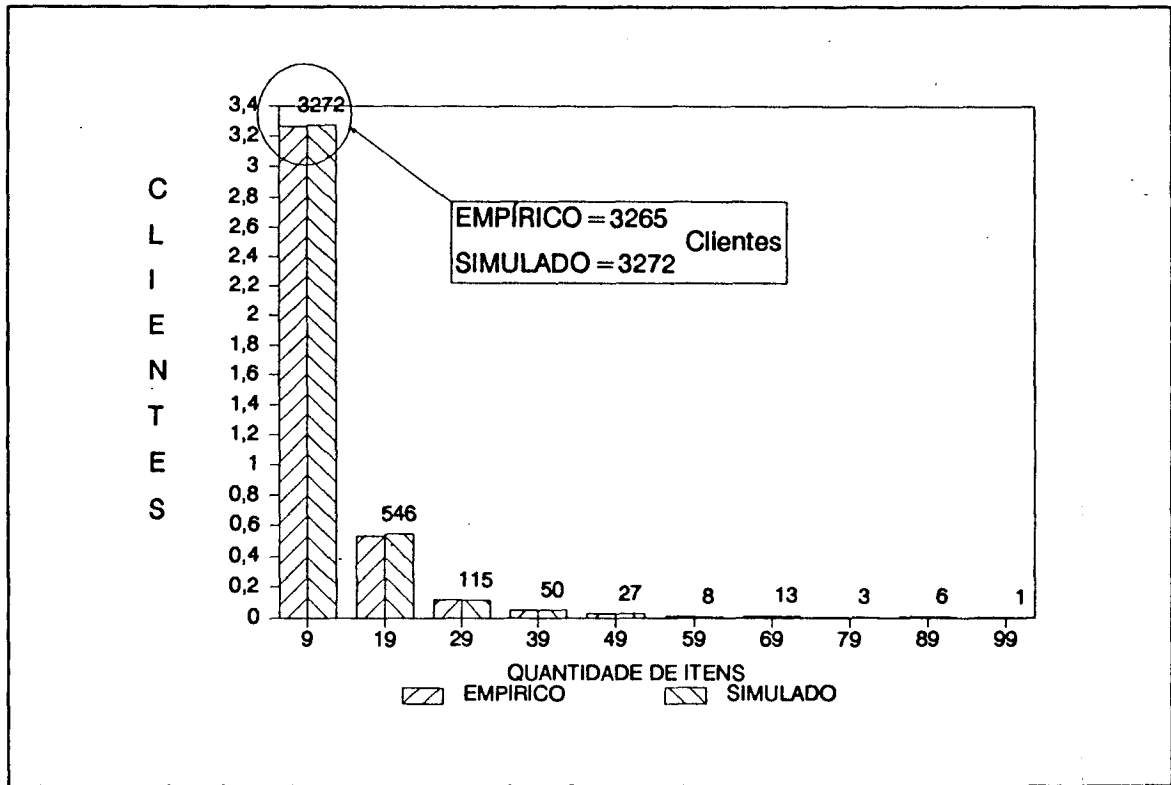


Figura VI.5 - Aderência Clientes por Qide de Itens

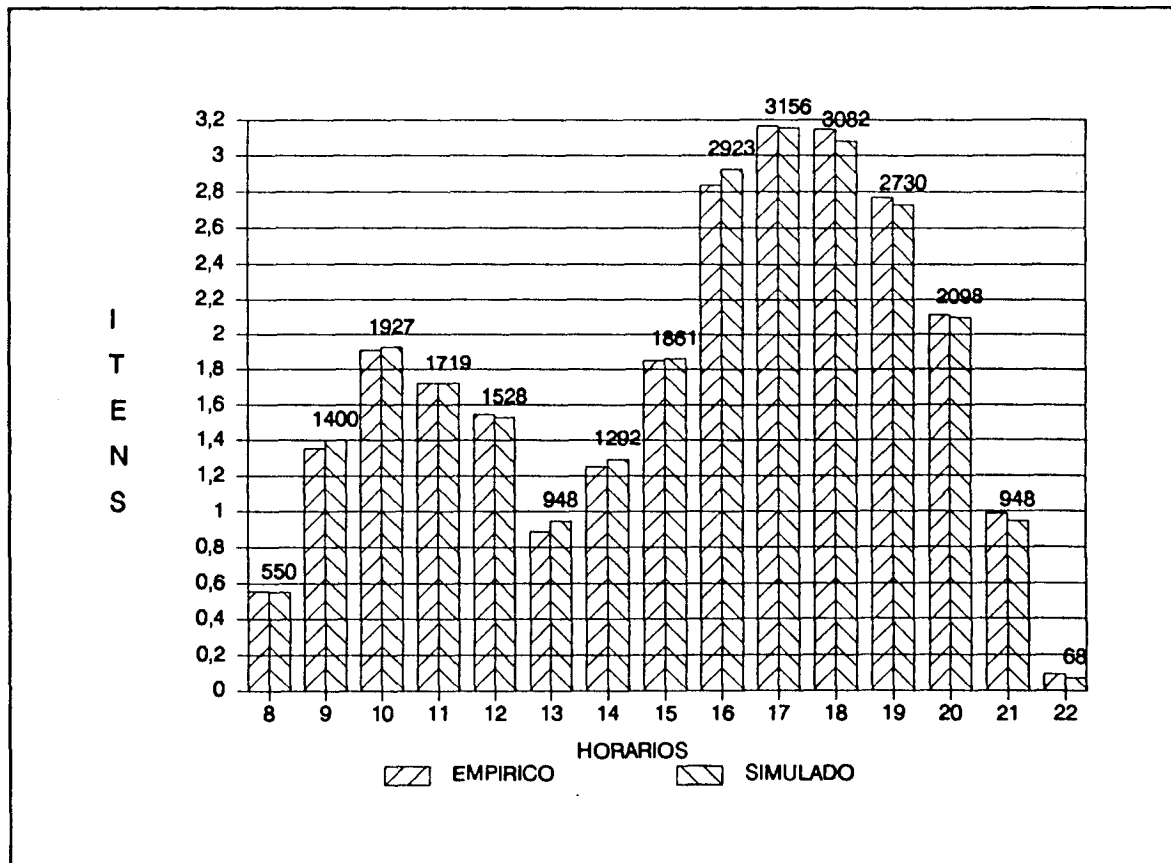


Figura VI.6 - Aderência Total de Itens por Horário

cliente, haja vista ser o processo de geração das quantidades de itens dependente do processo de chegada.

### 3.3. Velocidade de Digitação

#### 3.3.1. Definição

Velocidade de digitação é o quociente do número de itens digitado pelo tempo total gasto no processo de digitação destes itens. O tempo é obtido pela diferença entre o instante em que se inicia e que se encerra a digitação. Portanto, está embutido nesse tempo, como não poderia deixar de ser, o comportamento do indivíduo que está digitando. Paradas para eventuais trocas de mercadorias, conferência de preços ou outras atividades, que são pré-requisito para uma perfeita identificação dos itens, também estão englobadas.

#### 3.3.2. Coleta de dados, Condicionamento e Geração

As informações originais do arquivo de coleta, que posteriormente permitiram identificar o tempo de digitação, são: o instante em que se iniciou e que se encerrou a digitação e o número de itens digitados. O número de itens digitados é necessário no cálculo da velocidade média de digitação por item ou tempo médio de digitação que, posteriormente, teve sua frequência discretizada, e analisada a nível de segundo.

A utilização da média se deve ao fato de que a principal relação de dependência mantida pelo tempo de digitação é com a quantidade de itens digitados. Subsidiariamente, e de forma insignificante, mantém também relação de dependência com o horário em que se inicia o serviço. Esta segunda relação foi considerada como de efeito secundário à relação mantida pela quantidade de itens com o horário. O que se quer dizer é que há uma relação com o horário do período; porém, essa relação é compensada, na sua essência, pela relação que a quantidade de itens tem com o horário.

Para se obter o parâmetro, extraiu-se a média de tempo de digitação por item para cada cliente. Posteriormente, tabelou-se, Tabela A.3 do Apêndice, a distribuição de frequência do tempo médio de digitação por quantidade de itens. As quantidades de itens foram divididas em 20 classes, sendo 19 de análise individual, de 1 a 19 itens, das ocorrências de velocidade média de digitação e uma última agregando as ocorrências de velocidade correspon-

dentos a quantidades acima de 19 itens. A velocidade média (ou tempo médio) foi dividida em 30 classes individuais para médias de 1 a 30 segundos e em 30 classes agregadas de 2 em 2 segundos para médias de 31 a 90 segundos e, por fim, uma função exponencial cobrindo a área de probabilidade excedente, à semelhança do tratamento dado ao parâmetro quantidade de itens. A Tabela A.3 traz em detalhe a distribuição relativa acumulada de probabilidade da ocorrência das velocidades médias de digitação por classe de itens, e os gráficos Figura VI.7 e Figura VI.8 mostram a evolução da acumulação de probabilidade para 5 classes, no primeiro, e a curva única para o agregado de ocorrências de velocidades entre de 31 a 90 segundos, no segundo. Na figura VI.7, uma elipse destaca uma zona de intersecção de curvas de probabilidade. Esta inversão se deve à tendência centralizadora da média, de tal forma que nos pequenos conjuntos de mercadorias a variância é muito maior do que nos grandes conjuntos de mercadorias fazendo com que a probabilidade se distribua mais equanimente ao longo da curva. Nos grandes volumes de mercadorias, a probabilidade de se ter médias muito baixas ou muito altas é extremamente pequena.

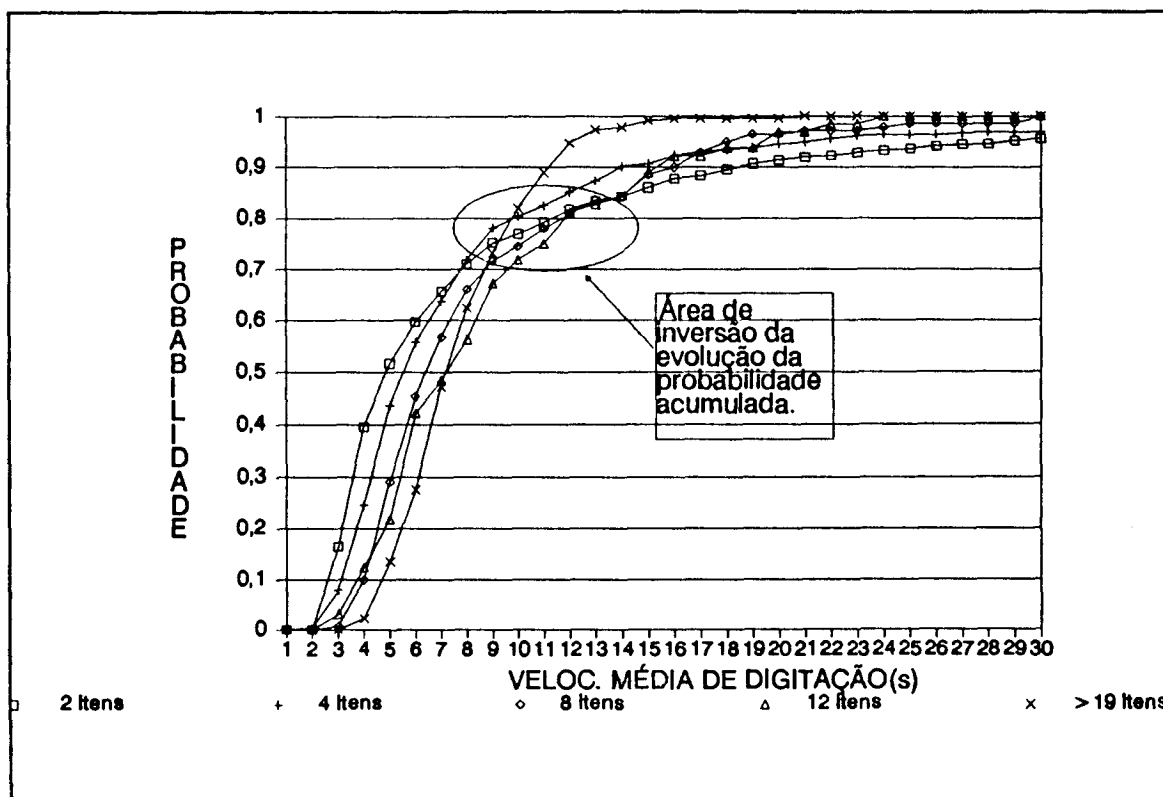


Figura VI.7 - Probab. Veloc. Digitação por Item

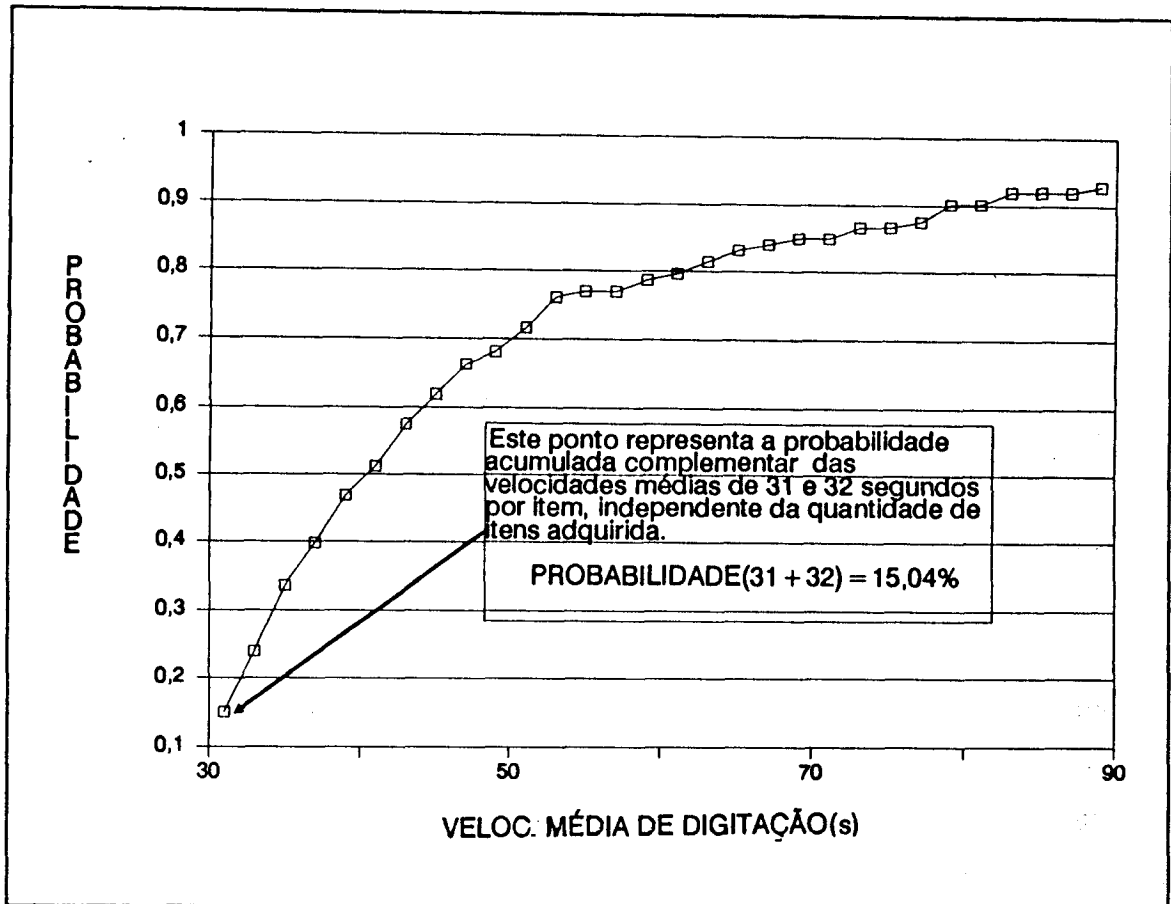


Figura VI.8 - Prob.Veloc.Média de Digitação(31-90s)

O algoritmo para se obter o tempo médio de digitação do cliente, é o seguinte:

- conhecer a quantidade de itens que o cliente porta;
- gerar um número pseudo-aleatório (NPA) e verificar se ele é menor ou igual à probabilidade estabelecida para a velocidade média de 30 segundos na classe de itens já conhecida. Caso seja menor ou igual, ir para "c"; senão, ir para "d";
- obter o tempo médio de digitação correspondente ao NPA gerado, multiplicar e fim da rotina;
- gerar um novo número pseudo-aleatório (NPA) e verificar se ele é menor ou igual à probabilidade estabelecida para a velocidade média de 90 segundos na classe de itens já conhecida. Caso seja menor ou igual, ir para "e", senão, ir para "f";
- se o 5º dígito do último NPA gerado for menor que 5, obter o tempo médio de digitação ímpar correspondente ao NPA gerado e fim da



rotina; senão, obter o tempo médio de digitação par, correspondente ao NPA gerado e fim da rotina;

f) obter o tempo médio de digitação através da função exponencial:

$$x = x1((\text{Ln}(1-y))/(\text{Ln}(1-y1))),$$

onde  $x$  é o tempo médio de digitação,  $y$  é um NPA gerado  $U(0,1)$ ,  $x1$  é tempo médio de digitação no ponto de início da cauda exponencial e  $y1$  é a probabilidade no ponto de início da cauda exponencial.

### 3.3.3. Validação

A validação da técnica de geração da velocidade de média de digitação por item segue a mesma rotina da validação da geração da quantidade de itens. Foram desenvolvidos dois testes de aderência de distribuições. Nos dois testes foram feitas 15 replicações, com diferentes sementes nos geradores de números aleatórios. Os resultados estão descritos nas Tabelas C.4, para o primeiro teste, e C.5, para o segundo.

O primeiro teste, Figura VI.9, avalia a propriedade da aderência da distribuição de frequência por categorias de velocidades médias de digitação por item. Os resultados foram agrupados em classes com intervalos de dez segundos, em virtude da grande dispersão das ocorrências, e comparados com a distribuição obtida nos dados empíricos. A prova K-S não permite a rejeição de nenhuma classe, o mesmo ocorrendo com o prova t nas classes de até 69 segundos por item, perdendo, nas classes seguintes, a representatividade amostral.

No segundo teste, Figura VI.10, comparou-se a média de tempo total, em segundos, gastos em digitação, nas 15 replicações, com o tempo total esperado (empírico). A comparação é feita por intervalo horário e no total do dia. Nesse teste, a prova K-S não permitiu a rejeição de nenhuma das replicações, enquanto que na prova t temos uma classe com 5.9 negativo, resultado que fica abaixo do desvio esperado, porém, compensado por um 3,6 positivo na classe seguinte. No total, o t resultou em 2,5 positivo, significando uma geração para cima da ordem de 1,26% do total real de tempo gasto em digitação. As demais classes estão dentro do valor esperado. Em parte, o resul-

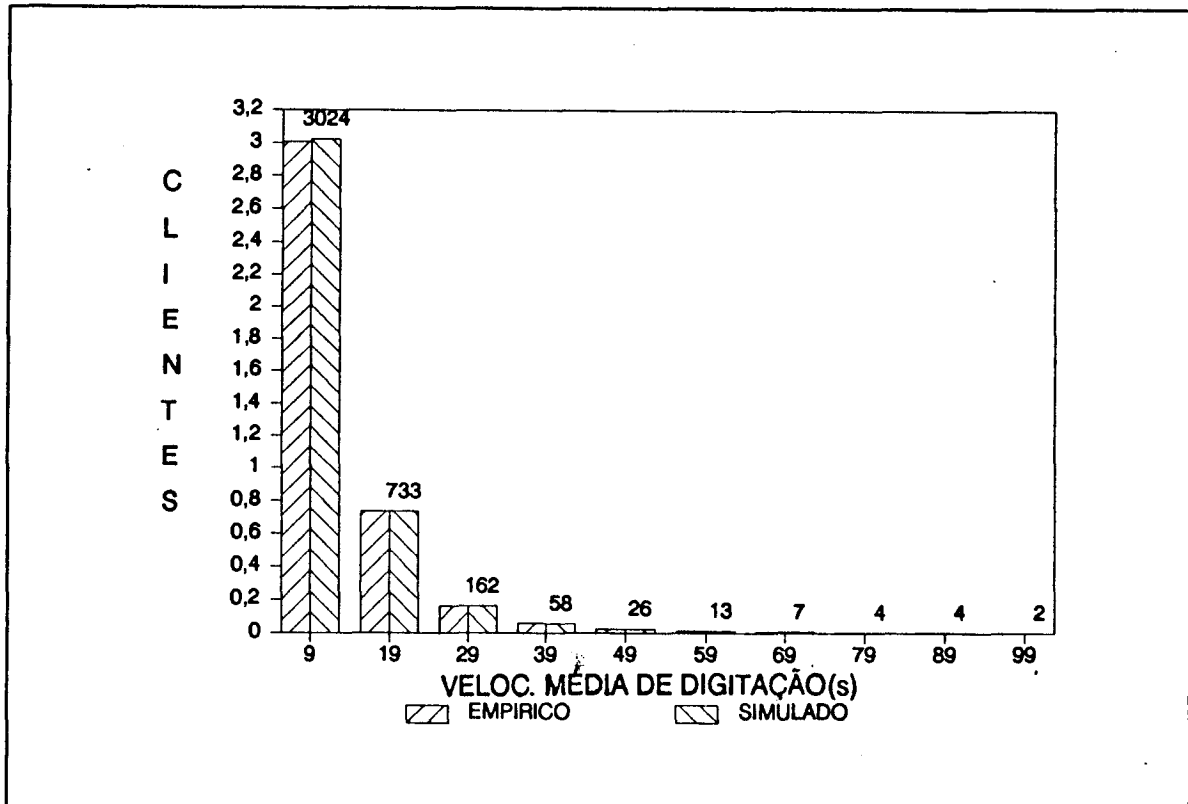


Figura VI.9 - Aderência da Veloc.Média de Digitação

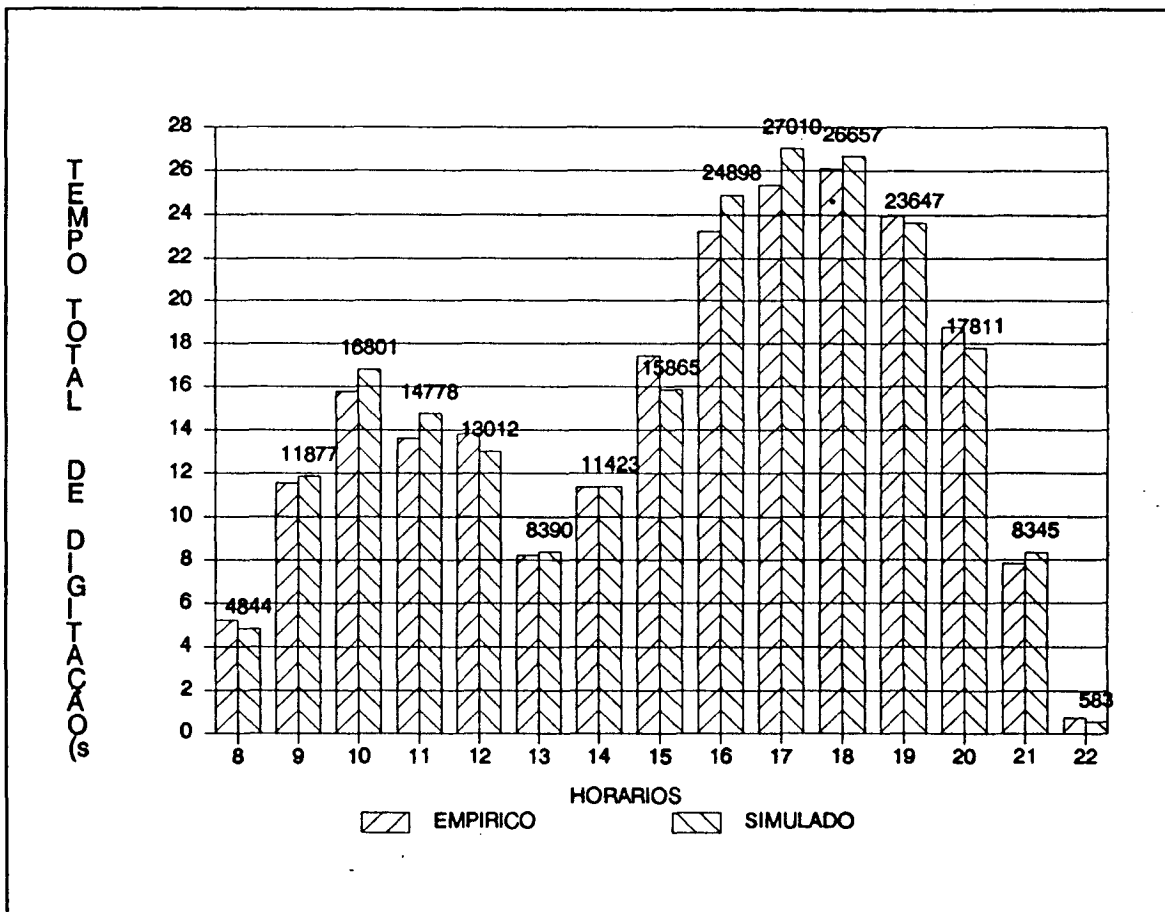


Figura VI.10 - Aderência do Tempo Total de Digitação

tado de  $t$  pode ser compreendido pela propagação da cumulatividade, já que tivemos uma geração de clientes maior do que o valor esperado (0,32%) e uma geração a maior (0,18%), também, na quantidade de itens. Esses percentuais foram calculados com base na linha de total (T) das Tabelas C.1 e C.3 do Apêndice..

### 3.4. Forma de Pagamento

#### 3.4.1. *Definição*

Este parâmetro trata da decisão sobre o meio utilizado pelo cliente para saldar seu débito. O meio utilizado pode ser qualquer dos admitidos pela administração do estabelecimento ou prescritos em lei. Na data da amostragem, eram admitidos como forma de pagamento : dinheiro, cheque, vales e outros (vales refeição, cupons de garrafas etc.) e meios mistos destas formas de pagamento. No pagamento em cheque, os procedimentos de conferência foram segregados por valor, e no pagamento em dinheiro foram incluídas outras formas de pagamento, que lhe são similares, tais como: cupons, vales etc..

No pagamento em dinheiro, não foram percebidas quaisquer anomalias em virtude do agregado, o que permite deduzir que os processamentos para vales, cupons e dinheiro não diferem de forma significativa.

Quanto ao pagamento em cheque, observou-se uma clara bimodalidade na curva de frequência do tempo de pagamento em cheque, talvez devido à existência de duas classes de pagamento em cheque. Tendo em vista que a coleta de dados não segrega as submodalidades, não foi possível estabelecê-las individualmente. Assim, quando se coloca modalidade cheque fica, desde já, entendido que se trata da união de dois conjuntos de procedimentos: o do cheque autorizado pelo caixa e o do cheque autorizado pelo fiscal de frente de caixas. Pesquisas posteriores devem atentar para as submodalidades e procurar distingui-las no momento da amostragem. A Figura VI.21 à página 70, que trata da aderência da velocidade de pagamento em cheque, mostra com propriedade a bimodalidade aqui tratada.

Tendo ficado patente que as formas de pagamento, nesta pesquisa, foram reduzidas às modalidades dinheiro e cheque, cabe ressaltar que, neste item, as análises foram sempre direcionadas sobre a modalidade dinheiro obtendo-se a modalidade cheque por complementaridade.

### 3.4.2. *Coleta de dados, Condicionamento e Geração*

A forma de pagamento, entre os demais parâmetros, é um dos que maiores dificuldades apresentou para o estabelecimento de um comportamento padrão, seja pela miscigenação de modalidades ou pela exigüidade dos dados amostrais, principalmente nas classes mais altas de itens. Como nos demais parâmetros, aqui também se optou pela técnica de divisão para melhor interpretação. A curva comportamental da proporção dinheiro/cheque foi dividida em 3 etapas de análise. A primeira etapa analisa a proporção de 1 a 5 itens; a segunda, a proporção de 6 e 16 itens; e a terceira, as proporções para quantidades superiores a 16 itens.

Foram também objeto de avaliação curvas clássicas de ajustamento, e as que mais se aproximaram de um resultado aceitável em termos de mínimos quadrados foram a exponencial, a Cauchy e a Log-Normal. Estas curvas, apesar de aceitáveis em termos de qui-quadrado, desvirtuavam-se na replicação das proporções nas quantidades maiores de itens. A incoerência entre o qui-quadrado aceitável e o fato real de que as funções clássicas não conseguiram replicar o comportamento esperado deve-se a perturbações no teste qui-quadrado causadas pela raridade da amostra e por compensação das distâncias nos dois lados da curva, base da metodologia de cálculo do qui-quadrado.

Uma análise mais detalhada na distribuição da forma de pagamento mostrou uma dependência pouco clara, porém significativa, do parâmetro com o horário de pagamento. Esta relação só pode ser isolada empiricamente nas quantidades inferiores a 17 itens, e ainda assim aplicando duas técnicas distintas de segregação. De 1 a 5 itens, Figura VI.11, determinou-se a distribuição de freqüência por faixa horária para as formas de pagamento, calculando-se as respectivas distribuições de probabilidades. De 6 a 16 itens, Figura VI.12, estabeleceu-se a proporção dinheiro para cada classe de item. Acima de 16 itens, a proporção é descrita por uma curva exponencial modificada para atender aos aspectos particulares inerentes ao processo. Esta curva é descrita pela função:

$$y(i) := A * e^{(B * i)},$$

onde  $y(i)$  é a probabilidade para a quantidade de itens ( $i$ ).

Os elementos  $A$  e  $B$  originam-se no processo de convergência linear:

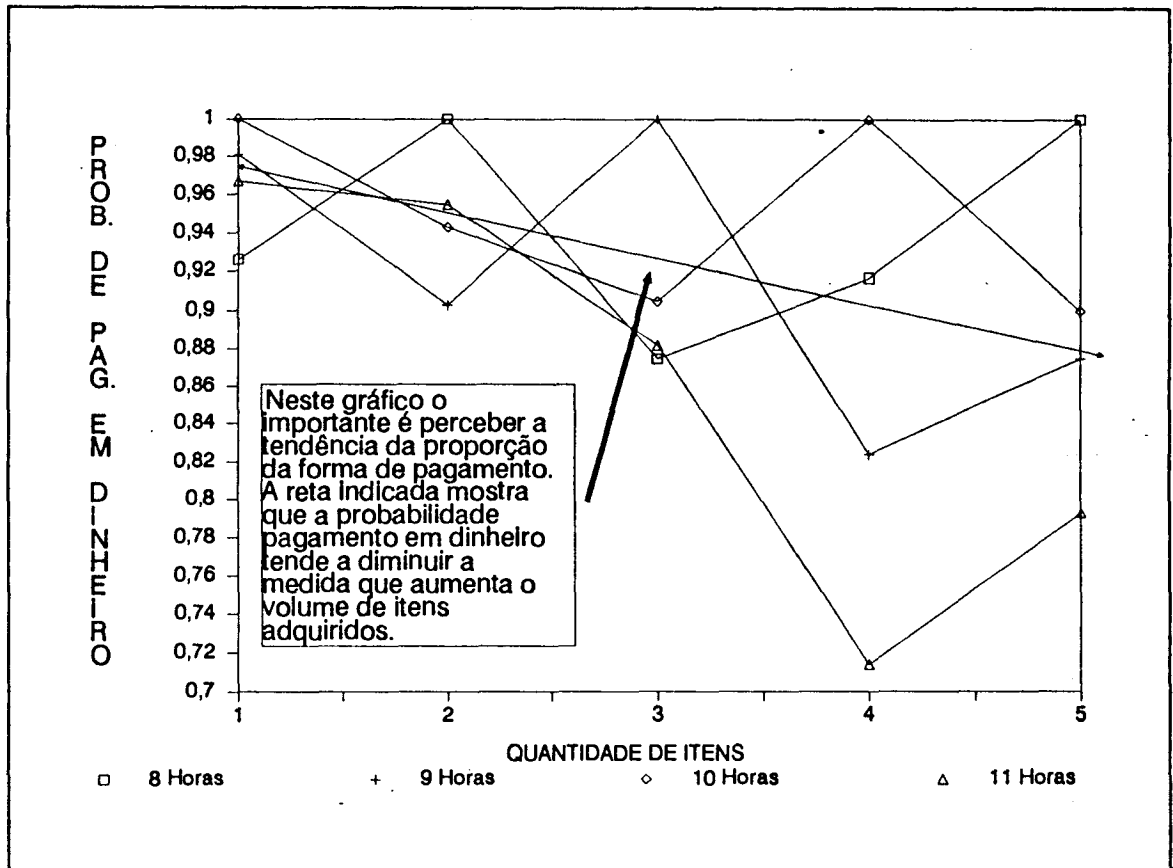


Figura VI.11 - Prop. de Pg. em Dinheiro por Itens

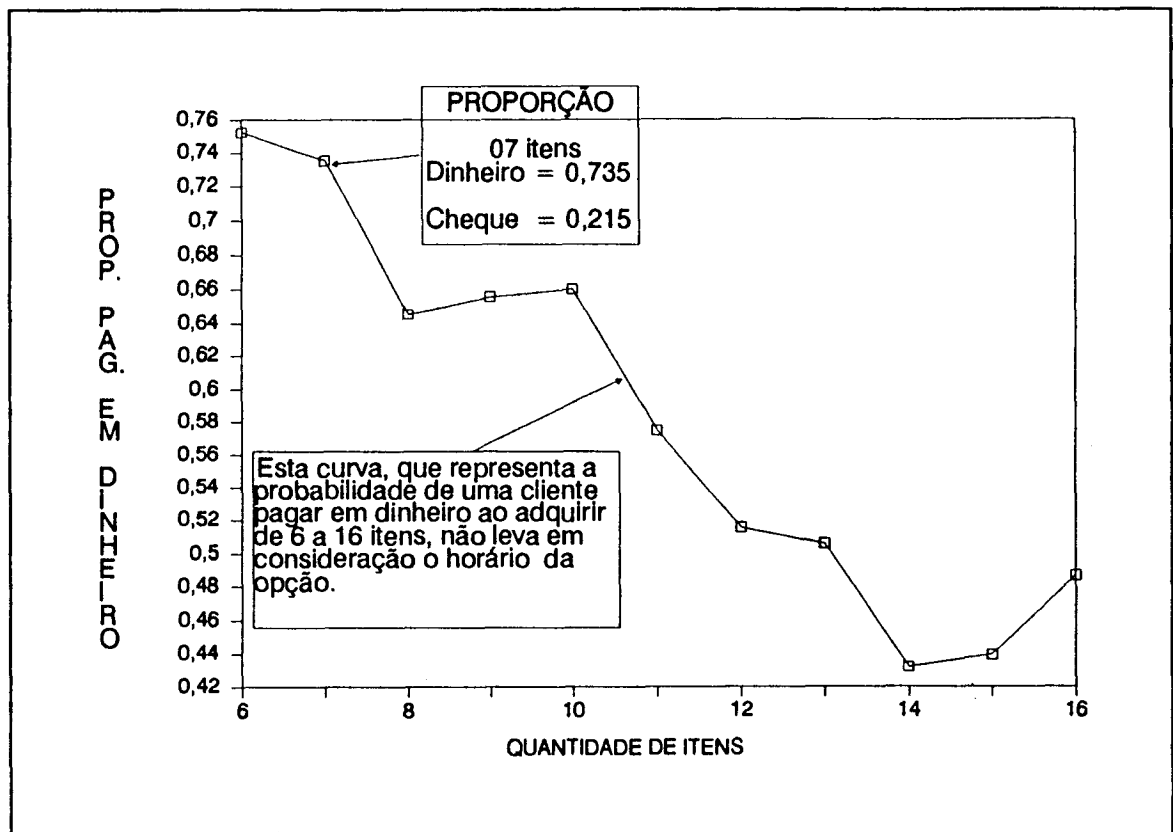


Figura VI.12 - Prop. Pg. Dinheiro para 6 a 16 Itens

$$B = ( \text{Ln} ( y_{16} ) . ( \sum N_i . e^{B_i} ) / k ) / 16$$

dado que  $y_{16} = A e^{16B}$ , então  $A = y_{16} / e^{16B}$  e tendo  $y_i = A e^{B_i}$ ,  
fazendo

$$f(A,B)_{i=17}^{\alpha} = 0, \text{ e } \sum y_i N_i = K,$$

onde  $K =$  Somatório das freqüências de pagamento em dinheiro de 17 itens até infinito e  $N =$  Freqüência de pagamento em dinheiro na quantidade (i) itens.

Como a primeira fase de cálculo de distribuição de probabilidade nas quantidades de itens superiores a 5 itens não considerou aspectos relativos à dependência com o horário criou-se, numa segunda fase, um coeficiente, Figura VI.13, para dar um caráter não-estacionário à forma de pagamento nesta faixa de volume de itens portados pelos clientes. Para tanto, isolou-se a proporção global e horária para a forma de pagamento em dinheiro, englobando as quantidades acima de 5 itens. Assim, o coeficiente resultou da redistribuição da proporção global em função das proporções horárias. Assim, se um cliente, por exemplo, entrar no sistema portando 10 itens, sua probabilidade de pagar em dinheiro será, a princípio, de 66,04%; no entanto, em função do coeficiente de não estacionaridade, o sistema consultará o relógio de simulação e se, este, continuando o exemplo, marcar 19 horas, então a probabilidade de pagar em dinheiro baixará para 55,08%, resultado da aplicação do coeficiente 0,834 correspondente ao horário. Os dados para os cálculos acima foram extraídos das colunas MULT. e PROBAB. da Tabela A.4 do Apêndice.

A rotina de obtenção da forma de pagamento que o cliente irá utilizar se baseia no seguinte algoritmo:

- a) conhecer hora de chegada do cliente;
- b) se o cliente porta uma quantidade de itens inferior a 6 itens, ir para b.1; senão, ir para c;
- b.1) gerar um número pseudo-aleatório (NPA) e verificar se seu valor é menor ou igual ao valor da proporção em dinheiro estabelecida para

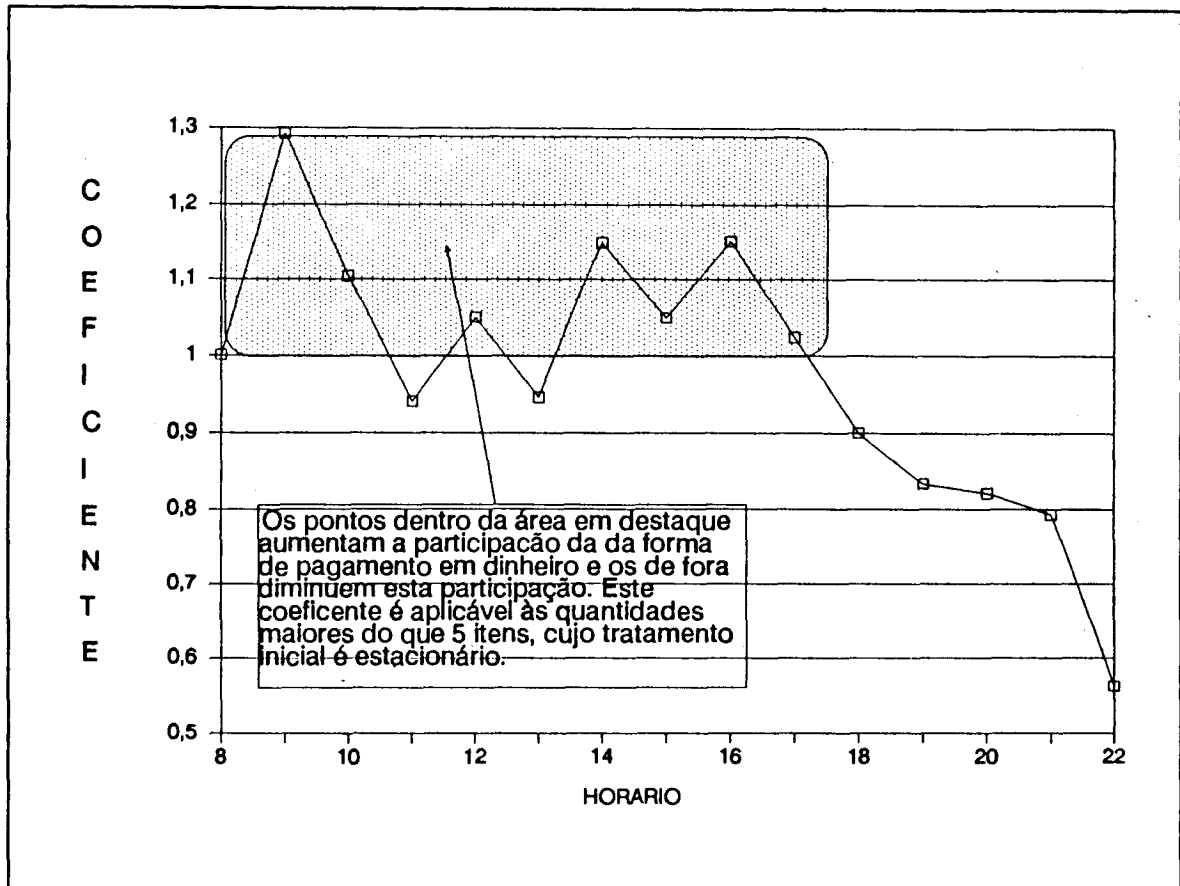


Figura VI.13 - Coeficiente de Não-Estacionaridade

a quantidade que o cliente adquiriu no horário em que ele está sendo atendido. Caso este valor seja menor ou igual ir para b.2; senão, ir para b.3;

b.2) atribuir ao cliente a forma de pagamento em dinheiro e fim da rotina;

b.3) atribuir ao cliente a forma de pagamento em cheque e fim da rotina;

c) se a quantidade de itens que o cliente porta for inferior a 17 itens, ir para c.1; senão, ir para d;

c.1) gerar um número pseudo-aleatório (NPA) e verificar se seu valor é menor ou igual à proporção estabelecida para quantidade de itens que o cliente porta multiplicada pelo coeficiente de não-estacionaridade. Caso seja menor ou igual ir para c..2; senão, ir para c.3;

c.2) atribuir ao cliente a forma de pagamento em dinheiro e fim da rotina;

- c.3) atribuir ao cliente a forma de pagamento em cheque e fim da rotina;
- d) obter a proporção para pagamento em dinheiro através da função exponencial:

$$y_i = A \cdot e^{B \cdot i}$$

onde  $y_i$  é a probabilidade para a quantidade de itens ( $i$ ), e ( $i$ ) é a quantidade de itens que o cliente adquiriu;

d.1) gerar um número pseudo-aleatório (NPA) e verificar se seu valor é menor ou igual proporção encontrada através da função multiplicada pelo coeficiente de não-estacionaridade. Caso seja menor ou igual ir para d.2; senão ir para d.3;

d.2) atribuir ao cliente a forma de pagamento em dinheiro e fim da rotina;

d.3) atribuir ao cliente a forma de pagamento em cheque e fim da rotina;

### 3.4.3. Validação

Para validar a técnica de geração do parâmetro, assim como nos demais, foram estabelecidos 2 testes de aderência de distribuições com 15 replicações cada um. No primeiro, comparou-se a distribuição do número de clientes com pagamento em dinheiro em 17 classes de itens, individuais de 1 a 16 itens e no agregado na 17ª classe. O segundo teste verifica a aderência da quantidade de clientes com pagamento em dinheiro por faixa horária. O resultado dos dois testes estão detalhados na Tabela C.6 do Apêndice.

Em ambos os testes tanto a prova K-S quanto a prova t não configuraram a necessidade de rejeição de qualquer das replicações. Na aderência por horário, Tabela C.6 do Apêndice, pode-se observar algumas ocorrências do teste t acima de 2 positivo, logo compensadas por classes ou soma de classes contíguas. Quanto ao total de clientes que pagaram em dinheiro, o teste t resultou em 0.5 positivo, significando uma frequência média de pagamento em dinheiro, a maior, de 0.06%. As Figuras VI.14 e VI.15 mostram o grau de ajustamento conseguido com a técnica de geração aplicada. Deve-se recordar



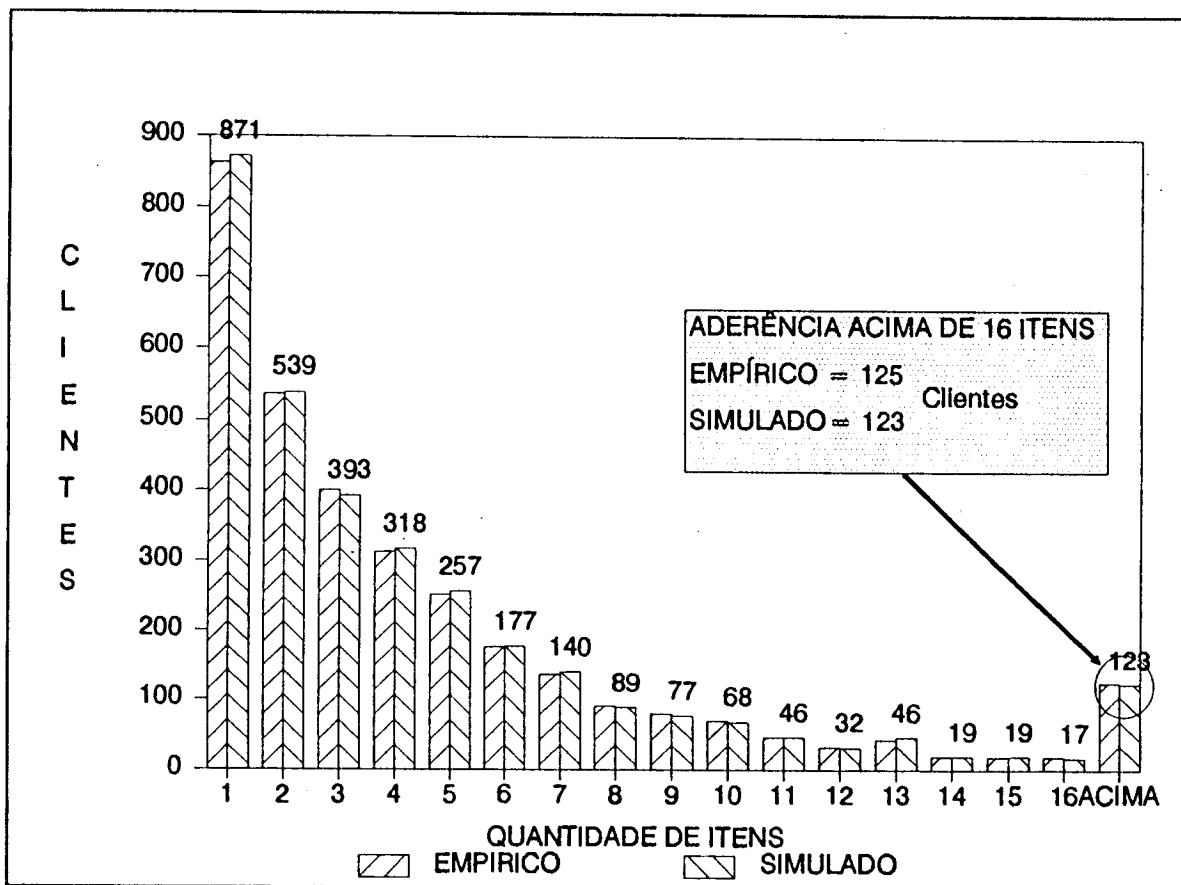


Figura VI.14 - Aderência da Forma Pg.Dinheiro p/Item

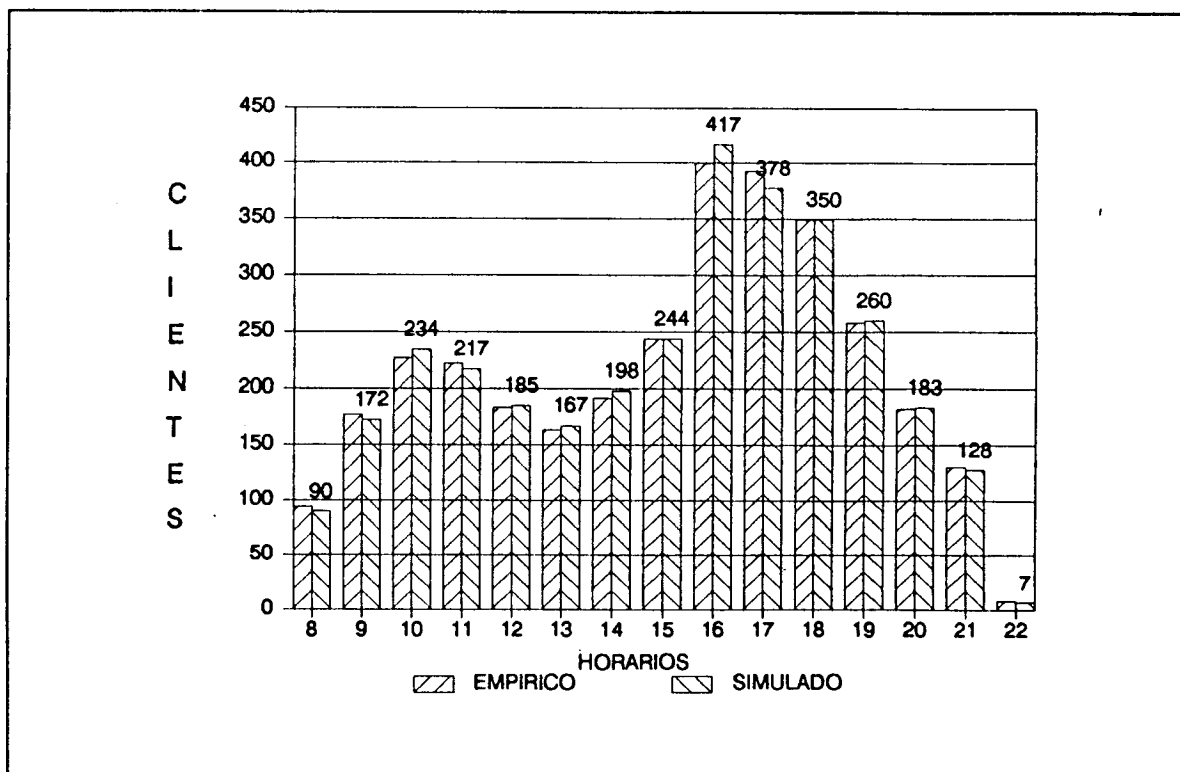


Figura VI.15 - Aderência da Forma Pg.Dinheiro por H.

que todos os procedimentos de geração são aplicados em função da forma de pagamento em dinheiro, ajustando-se por diferença a forma de pagamento em cheque.

### 3.5. Velocidade de Pagamento

#### 3.5.1. *Definição*

A velocidade de pagamento é o tempo necessário para que o cliente entregue ao operador do caixa, após conhecer o valor de suas compras, o meio de pagamento escolhido adicionado do tempo gasto pelo operador para executar os procedimentos de registro e controle da operação. Neste tempo, estão contidos os procedimentos de conferência e de segurança do meio de pagamento utilizado pelo cliente. A velocidade de pagamento se apresenta como processo diferenciado em função de cada forma de pagamento utilizada e, independentemente da forma utilizada, mantém relação de dependência com o horário em que o cliente inicia a utilização do serviço de atendimento. A dependência do horário está provavelmente muito mais ligada à pressão psicológica exercida pela fila sobre o cliente que está sendo atendido (em serviço) do que propriamente com o horário. O horário é somente a expressão dos momentos de pressão que se repetem diariamente em dias semelhantes.

#### 3.5.2. *Pagamento em Dinheiro*

A velocidade de pagamento em dinheiro é a atividade cuja amostra vem empiricamente melhor ajustada em termos de performance, seja pela liquidez do meio utilizado ou pela experiência milenar que o ser humano tem de lidar com esta forma de pagamento. É possível obter-se alguma melhora na performance da velocidade de pagamento em dinheiro, só que o custo/benefício desta melhora poderá inviabilizar os esforços. O esforço administrativo deve ser canalizado no sentido de aumentar a participação da forma de pagamento em dinheiro no conjunto das formas de pagamento ou tornar as demais tão líquidas e velozes quanto ela.

### 3.5.2.1 Coleta de Dados, Condicionamento e Geração

A técnica utilizada para isolar e medir este parâmetro é idêntica à aplicada para determinar o comportamento do parâmetro quantidade de itens. Dos clientes que pagaram em dinheiro extraiu-se a distribuição de freqüência por classe de velocidade (em segundos) nas faixas horárias. As classes são tratadas individualmente de 1 a 30 segundos, em pares de 31 a 90 segundos e acima de 90 segundos, foi definida uma classe especial que cobre o restante da área de probabilidade.

O comportamento do parâmetro é afetado em toda sua extensão pela posição temporal do sistema, o que lhe impõe uma característica não-estacionária, conforme é possível perceber nas 4 curvas horárias da Figura VI.16. Em função da exigüidade das amostras nas velocidades de pagamento em dinheiro superiores a 30 segundos por cliente, o processo foi considerado como estacionário; assim, nesta faixa, a distribuição de probabilidade independe do

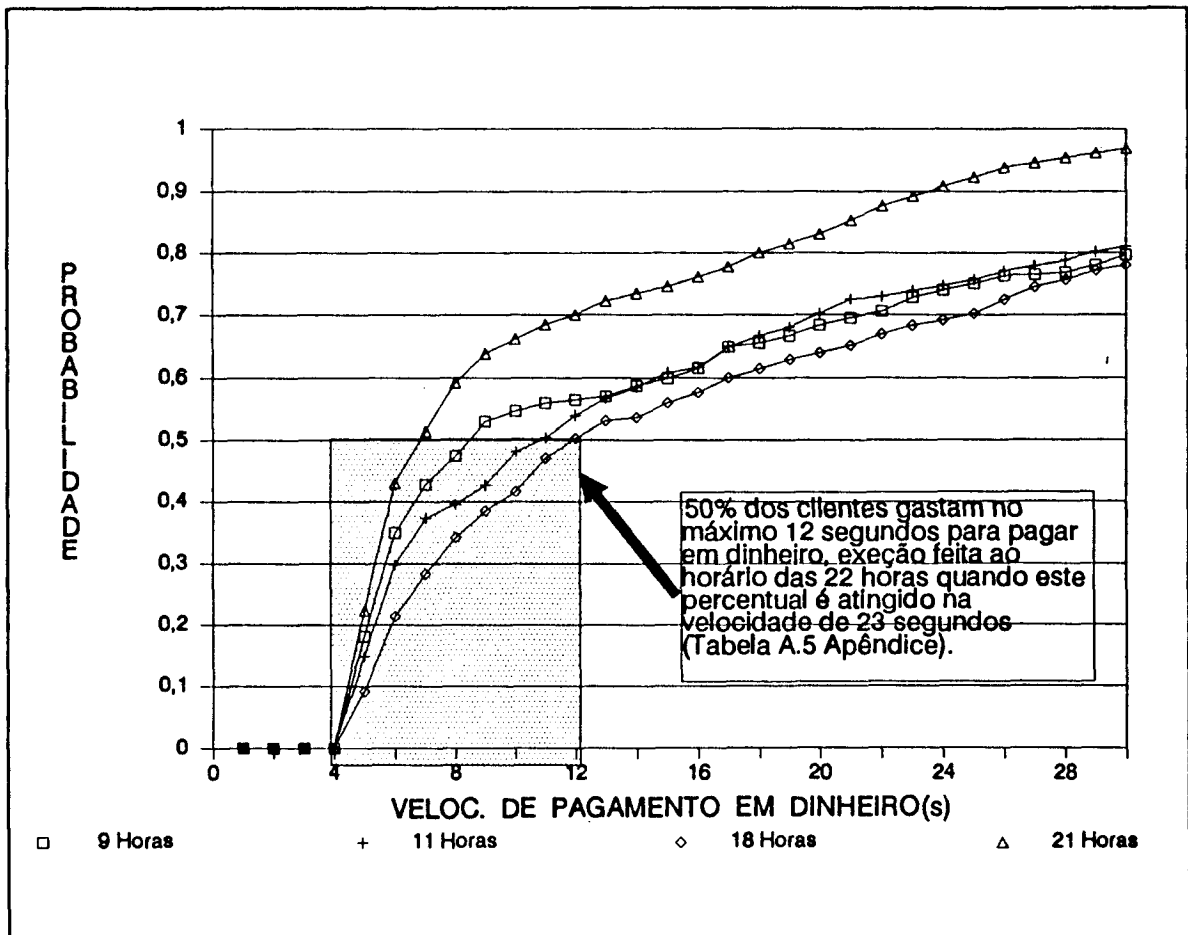


Figura VI.16 - Probab.da Veloc.de Pg.Dinheiro por H.

horário e é expressa por uma curva única, Figura VI.17, de probabilidade para todos os horários.

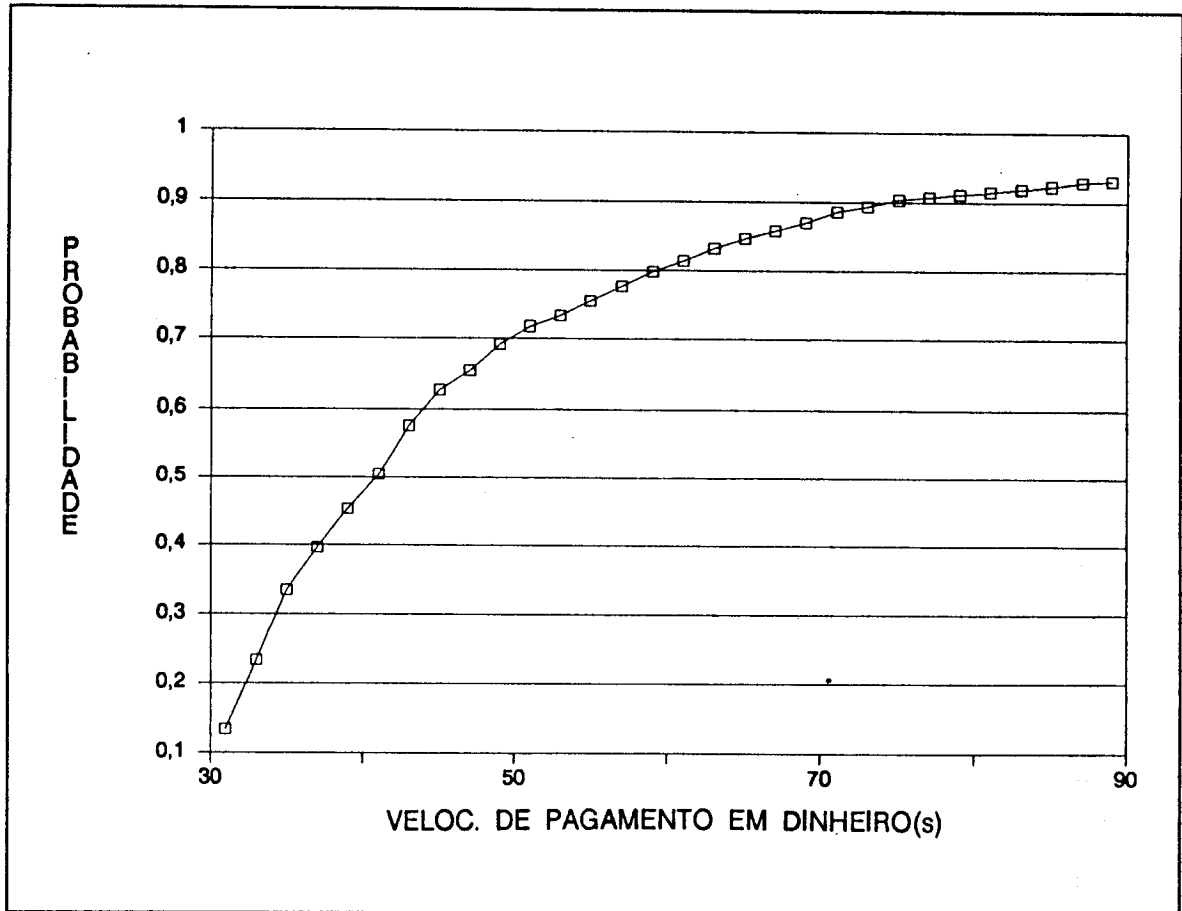


Figura VI.17 - Probab. Pg. Dinheiro de 31 a 90 s

A rotina implementada para obtenção da velocidade de pagamento em dinheiro segue o seguinte algoritmo:

- a) conhecer a forma de pagamento utilizada pelo cliente;
- b) conhecer horário de atendimento do cliente;
- c) gerar um número pseudo-aleatório (NPA) e verificar se seu valor é menor ou igual à probabilidade de ocorrência de uma velocidade de 30 segundos por cliente. Caso seja menor ou igual ir, para "d"; senão, ir para "e";
- d) obter a velocidade de pagamento em dinheiro correspondente ao NPA gerado e fim da rotina;
- e) gerar um novo número pseudo-aleatório (NPA) e verificar se seu valor é menor ou igual à probabilidade da velocidade 90 segundos por cliente. Caso seja menor ou igual, ir para "f"; senão, ir para "g";

- f) se o 5 dígito do último NPA gerado for menor que 5, obter a velocidade de pagamento em dinheiro ímpar correspondente ao NPA gerado e fim da rotina; senão, obter a velocidade par de pagamento em dinheiro correspondente ao NPA gerado e fim da rotina;
- g) obter a velocidade de pagamento em dinheiro através da função exponencial:

$$x = x1 * ((\text{Ln}(1- y))/(\text{Ln}(1-y1)))$$

onde  $x$  é a velocidade de pagamento em dinheiro,  $y$  é um NPA gerado  $U(0,1)$ ,  $x1$  é a velocidade de pagamento em dinheiro no ponto de início da cauda exponencial e  $y1$  é a probabilidade no ponto de início da cauda exponencial.

### 3.5.2.2 Validação

A validação da técnica de geração do tempo de pagamento em dinheiro segue a mesma rotina da validação da geração da quantidade de itens. Foram desenvolvidos dois testes de aderência de distribuições. Nos dois testes foram feitas 15 replicações com diferentes sementes nos geradores de números aleatórios.

O primeiro teste, Figura VI.18, avalia a propriedade da aderência da distribuição de freqüência por classes de velocidade de pagamento em dinheiro por cliente. Os resultados foram agrupados em classes com intervalos de dez segundos e comparados com a distribuição obtida nos dados coletados. O teste K-S não permite a rejeição de nenhuma classe, o mesmo ocorrendo com o prova t nas classes de até 99 segundos por cliente, perdendo, nas classes seguintes, a representatividade amostral. No segundo teste, Figura VI.19, comparou-se a média do total de segundos gastos com pagamento em dinheiro em cada intervalo horário nas 15 replicações com o total empírico dos mesmos horários. A Figura VI.19 mostra algumas discrepâncias não-significativas. Estas diferenças são esperadas em função da característica de reprodução comportamental e não de reprodução determinística do ocorrido no dia objeto da simulação. Neste teste, a prova K-S não permitiu a rejeição de nenhuma das replicações, enquanto que na prova t temos duas classes com valores abaixo de 5.0 negativo, resul-

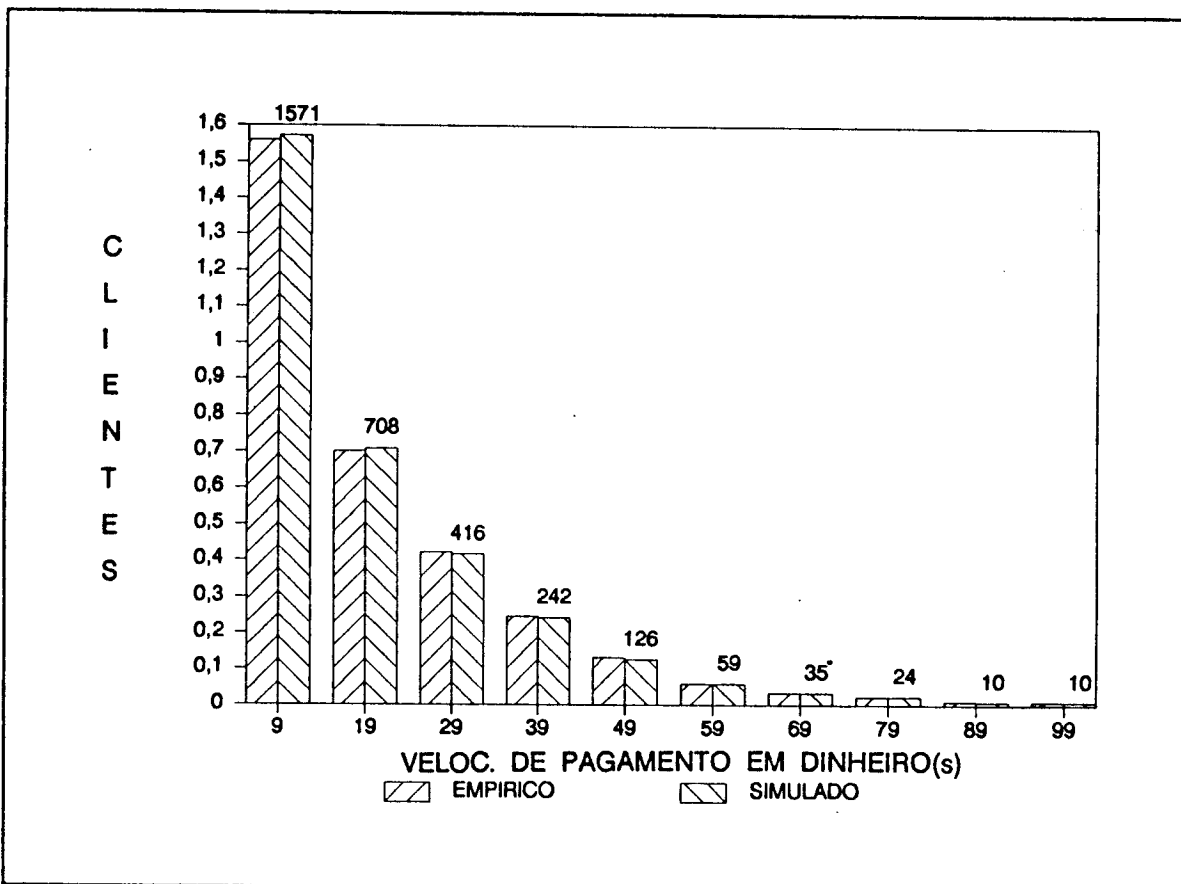


Figura VI.18 - Aderência da Veloc. de Pg. Dinheiro

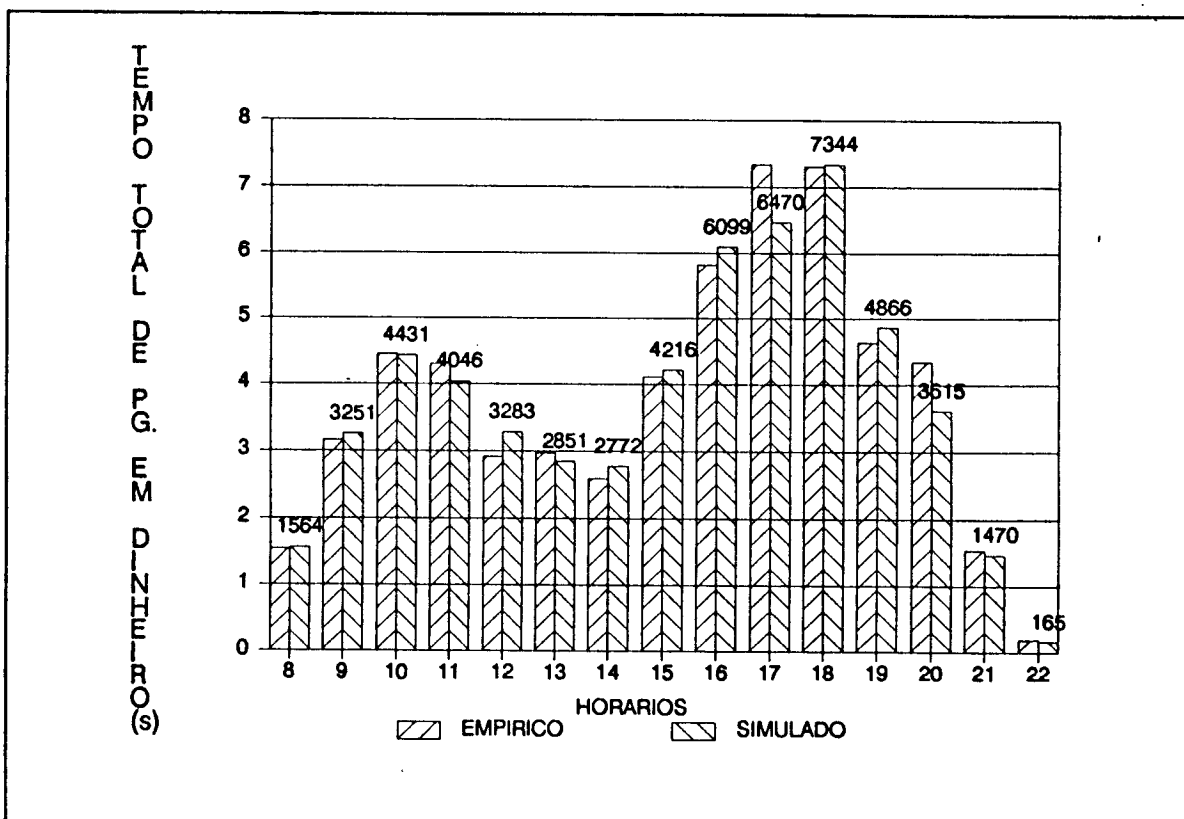


Figura VI.19 - Aderência do Tempo Total Pg. Dinheiro

tado que fica abaixo do desvio esperado porém, compensado no total, que resultou t de 2,1negativo, significando uma geração a menor de 1,35% no total de tempo gasto com pagamento em dinheiro. As demais classes estão dentro do valor esperado. Os dados para os cálculos acima podem ser encontrados na Tabela C.7 do Apêndice.

### 3.5.3. *Pagamento em Cheque*

A velocidade de pagamento em cheque é uma das variáveis mais férteis para a pesquisa de técnicas que possam melhorar sua performance. Dependendo do sistema em estudo, o aumento na velocidade de pagamento em cheque, ou a introdução de tecnologias de substituição que possam aumentar a velocidade de pagamento, podem significar ganhos extremamente importantes. Tão importantes que, em uma situação de concorrência onde as concessões econômicas chegaram ao extremo, qualquer aumento significativo na velocidade de pagamento em cheque, produzindo um melhor nível de atendimento ao cliente por redução nos tempos de espera em filas, pode transferir um significativo contingente de clientes ao agente inovador.

#### 3.5.3.1 Coleta de Dados, Condicionamento e Geração

A velocidade de pagamento em cheque depende, como a velocidade de pagamento em dinheiro, do horário em que o cliente inicia a utilização do serviço. Voltamos a frisar que nas velocidades de pagamento o horário significa muito mais intervalos de pressão sobre o sistema do que propriamente hora do dia.

Os dados amostrais têm um campo de variação entre 10 segundos e 500 segundos. Para dar representatividade e operacionalidade à distribuição relativa acumulada, o tempo de pagamento em cheque foi agregado em classes de 10 segundos, Figura VI.20, e obtida uma distribuição de freqüência das velocidades de pagamento em cheque para cada faixa horária. Com o agregado decimal, ficou excluída a necessidade da curva estacionária complementar característica nos demais parâmetros, porém, não desapareceu a necessidade de uma cauda exponencial de cobertura nos horários em que a área de probabilidade ficou incompleta e, também, para dar liberdade de expansão à velocidade de pagamento.

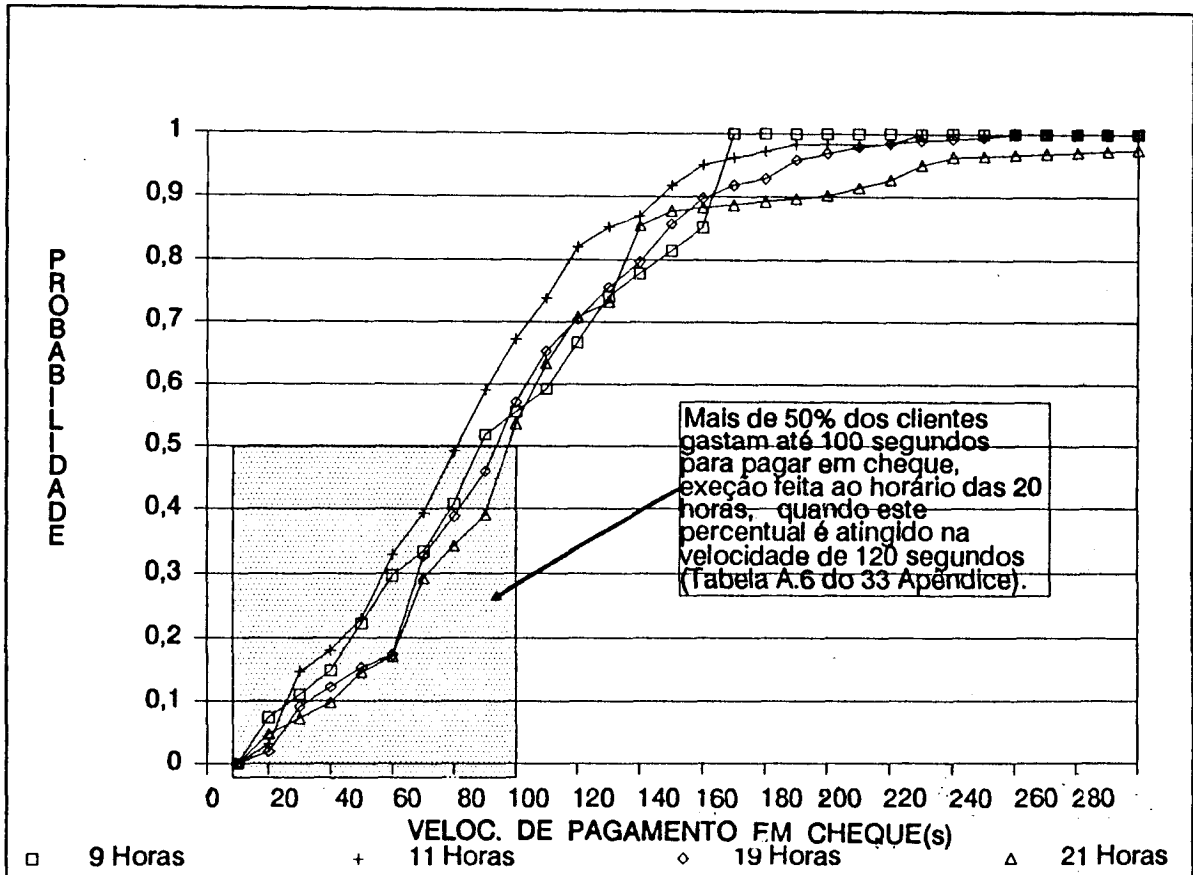


Figura VI.20 - Probab. da Veloc. de Pg. em Cheque

Como no parâmetro pagamento em dinheiro, no pagamento em cheque a rotina para obtenção da velocidade de pagamento em cheque segue o seguinte algoritmo:

- conhecer a forma de pagamento utilizada pelo cliente;
- conhecer o horário de atendimento do cliente;
- gerar um número pseudo-aleatório (NPA) e verificar se seu valor é menor ou igual ao valor da probabilidade de ocorrência de uma velocidade de 300 segundos. Caso esteja abaixo, ir para "d"; senão, ir para "e";
- obter a velocidade de pagamento em dinheiro correspondente ao NPA gerado e adicionar a este valor o valor do quinto dígito deste NPA e fim da rotina;
- obter a velocidade de pagamento em dinheiro através da função exponencial:

$$x = x_1 \cdot ((\ln(1 - y)) / (\ln(1 - y_1)))$$



onde  $x$  é a velocidade de pagamento em cheque,  $y$  é um NPA gerado  $U(0,1)$ ,  $x_1$  é a velocidade de pagamento em cheque no ponto de início da cauda exponencial e  $y_1$  é a probabilidade no ponto de início da cauda exponencial.

A adição do valor do quinto dígito do NPA gerado decorre da necessidade de compensar a perda de uma decimal no agrupamento em classes de dez quando da obtenção da distribuição relativa acumulada por faixa horária. Com este procedimento, atribui-se a característica uniforme ao complemento decimal imputado. Assim, por exemplo, se o NPA gerado for menor do que a probabilidade acumulada da ocorrência de uma velocidade de pagamento em cheque de 100 segundos, significa que a velocidade poderia ser qualquer uma no intervalo de 90 a 99 segundos, pois a referência escalar imediatamente anterior é de 90 segundos. Com a adição do quinto dígito do NPA gerado pode-se obter, de maneira uniforme, todos os elementos escala unitária (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99).

### 3.5.3.2 Validação

A validação da técnica de geração do tempo de pagamento em cheque segue a mesma rotina da validação da geração da quantidade de itens. Foram desenvolvidos dois testes de aderência de distribuições. Nos dois testes foram feitas 15 replicações com diferentes sementes nos geradores de números aleatórios.

O primeiro teste avalia a propriedade da aderência da distribuição de frequência por categorias de tempo de pagamento em cheque, Figura VI.21. Os resultados foram agrupados em classes com intervalos de dez segundos, em virtude da grande dispersão das ocorrências, e comparados com a distribuição obtida nos dados empíricos. No segundo teste, Figura VI.22, comparou-se o total médio de segundos gastos com pagamento em cheque em cada intervalo horário nas 15 replicações com o total empírico dos mesmos horários.

Em ambos os testes, tanto a prova K-S quanto a prova  $t$  não permitem a rejeição de nenhuma replicação. A Tabela C.9 do Apêndice detalha os resultados obtidos. O total, que resultou um  $t$  de 0.50, significa uma geração a maior da ordem de 0.66% no total de tempo gasto com pagamento em cheque.

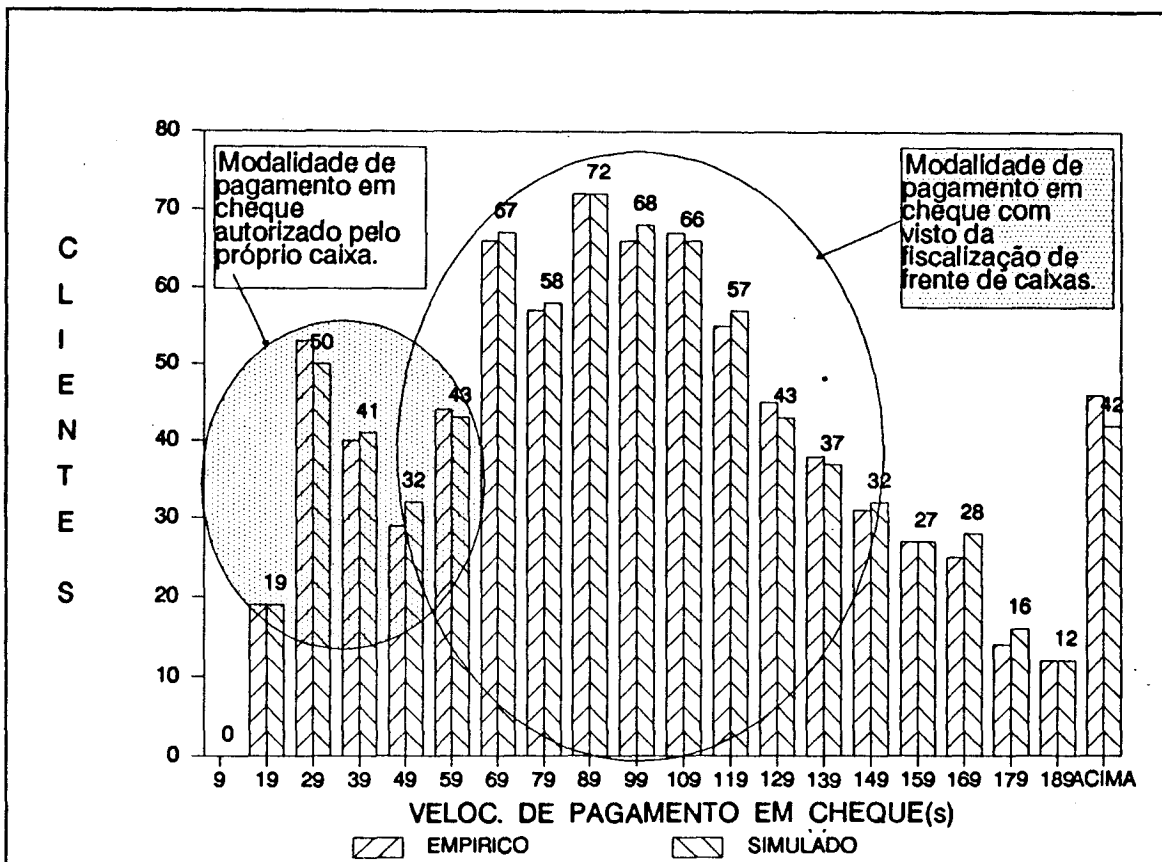


Figura VI.21 - Aderência da Veloc. de Pg. em Cheque

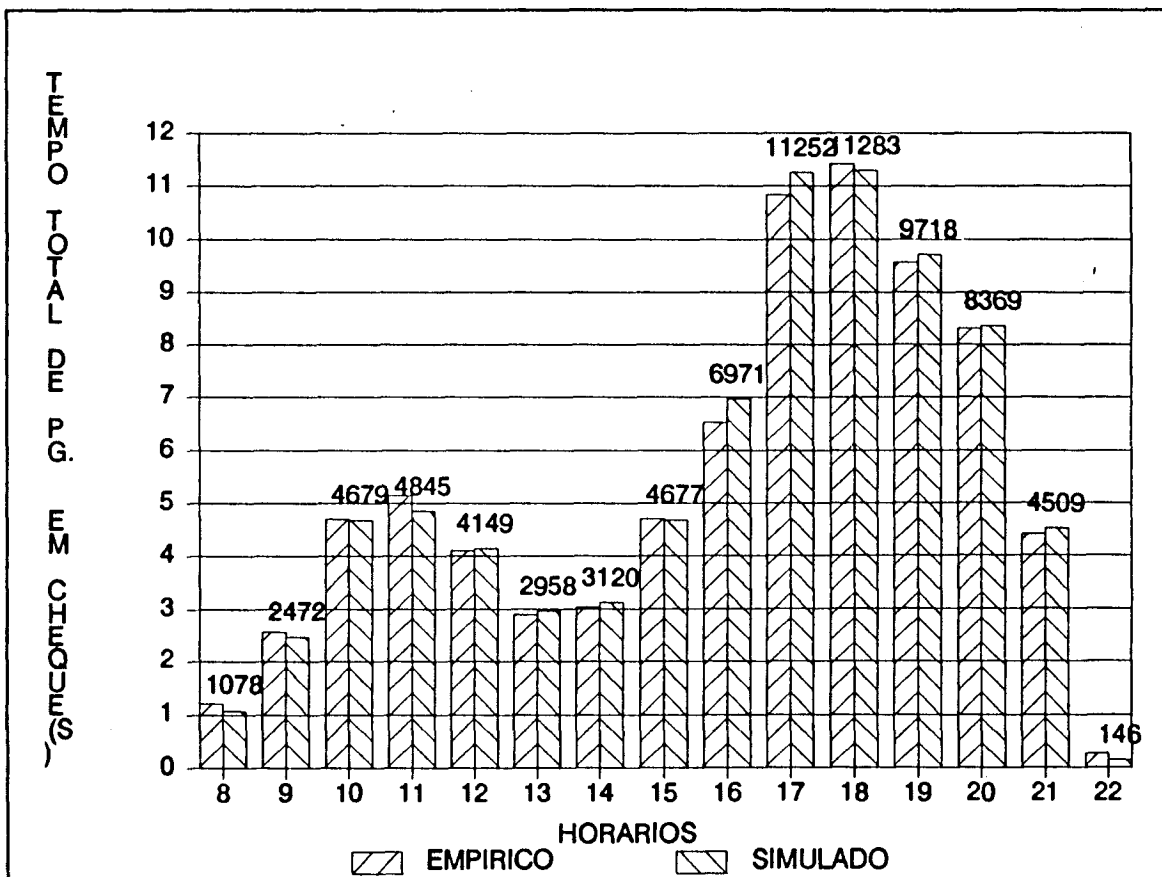


Figura VI.22 - Aderência do Tempo Total Pg. Cheque

### 3.6. Intervalo entre Atendimentos

O intervalo entre atendimentos é o tempo em que, existindo fila, o cliente que está em fase de pré-atendimento é obrigado a aguardar após o cliente em serviço ter sido liberado. Este tempo é devido a atividades de controle e limpeza no ambiente da frente de caixas. É importante reforçar que este tempo só se aplica como custo do sistema quando houver um cliente esperando em decorrência dele. Pode ocorrer que o cliente chegue no caixa e o tempo "intervalo entre atendimentos", conforme definido acima, já esteja em andamento; neste caso, só será considerado custo do sistema o tempo de espera imputado ao cliente.

O intervalo entre atendimentos constitui-se num tempo muito importante, principalmente quando estamos diante de um sistema que está pressionado, ou seja, um sistema onde as filas são constantes.

As informações colhidas junto ao sistema, na amostragem, não permite distinguir claramente este parâmetro. Na coleta dos dados obteve-se o instante de fim de atendimento de um cliente e o início de atendimento do seguinte, em cada caixa, o que permite obter o tempo que cada caixa permanece parada entre dois clientes. Contudo, "caixa parada" não representa somente os tempos de espera entre atendimentos (conforme foi definido), mas representa também as paradas pela inexistência de clientes ou as paradas por encerramento temporário de atividades. Assim sendo, percebe-se a presença da espera entre atendimentos dentro do banco de dados, porém, uma presença não perfeitamente identificada e significativamente contaminada.

A inclusão deste parâmetro na descrição desta pesquisa tem o fito de alertar futuros trabalhos na área para que atentem para o problema e, se possível, estabeleçam as regras para sua determinação. Muitas horas de estudo foram gastas na tentativa de estabelecê-las; porém, a imprevidência na coleta dos dados iniciais não permitiu a formação de uma teoria consistente e defensável.

## 4. Política de Administração da Frente de Caixas

Além da perfeita determinação do comportamento dos parâmetros, é necessário que se estabeleça claramente a política que será utilizada na administração da frente de caixa. As variáveis mais fortes em qualidade decisória

(espera em fila, necessidade de caixas, número de atendimentos, etc.) dependem fundamentalmente da política administrativa de frente de caixa anteriormente estabelecida.

A política de administração da frente de caixas começa a ser definida já no projeto de instalação de uma loja, quando a administração decide a que tipo de público ela pretende servir. Nesse âmbito são estabelecidas características como: luxo, nível tecnológico, ocupação de espaço, e quantidade de caixas. Na fase operacional são estabelecidas regras relativas à quantidade de caixas em operação em cada horário, à qualidade da mão-de-obra em atividade nesses caixas e ao condicionamento dos cliente por forma de atendimento.

A política de frente de caixas tem como objetivo, em princípio, reduzir ônus de espera aos clientes ou reduzir custos à empresa. A administração do equilíbrio entre esses dois fatores deve ser a principal atividade do administrador de frente de caixas.

Como base na previsão das necessidades para o estabelecimento das futuras políticas de frente de caixa, extraiu-se dos dados coletados o conjunto de variáveis independentes, que definiram o comportamento da frente de caixas no dia e a política aplicada no atendimento dos clientes. Na verdade, as variáveis que se pode visualizar diretamente no banco de dados foram o tempo de caixa aberto, por horário, e total e o número médio de caixas abertos, por horário e total. As demais variáveis (momento de abertura de novo caixa, intervalo mínimo de operação de um novo caixa, intervalo mínimo ocioso para fechamento de um caixa) e a política de atendimento foram obtidas através da observação visual no dia e em discussões com os administradores da loja.

O somatório do tempo de caixa aberto e o número médio de caixas abertos decorrem de anotações, feitas no dia, juntamente com os saldos das filas a respeito do estado de cada caixa (aberto ou fechado). Como as anotações eram feitas de 5 em 5 ou de 15 em 15 minutos é forçoso salientar que os resultados podem conter distorções razoáveis. Assim mesmo, como se trata de identificar uma política e não de estabelecer valores, não acreditamos que as distorções possam prejudicar o padrão geral obtido na data da coleta. Esta crença é reforçada por testes feitos, com o próprio simulador, para verificar as aderências da distribuição horária da quantidade média de caixas abertos. A Tabela B do Apêndice identifica a quantidade média de caixas abertos nos diversos intervalos horários.

O tempo mínimo de operação de um caixa, após a abertura, é de 30 minutos, ou seja, qualquer caixa que venha a abrir, exceto no final do período, é obrigado a permanecer aberto, independentemente da existência de clientes para atender pelo tempo mínimo de 30 minutos. Este parâmetro está posto para evitar que o sistema produza uma rotina de "fecha e abre" que, na verdade, não ocorre no sistema real.

O tempo de ociosidade necessário para fechamento é de 10 minutos; assim, os caixas abertos só poderão ser fechados decorridos 10 minutos do último atendimento.

As duas variáveis de controle acima substituem a escala de serviço que em um simulador produziria, além de uma enorme dificuldade de operação, uma rigidez comportamental desnecessária e contraproducente. Esta escala de serviço contempla as paradas necessárias, dos operadores, para satisfazerem necessidades legais e naturais.

Outra variável de controle importante é a que define o momento em que o sistema deve abrir um novo caixa. Esta variável resulta da relação número de clientes na fila pelo número de caixas abertos. Na data da coleta dos dados a relação foi de 0.1, ou seja, a abertura de um novo caixa se dá toda vez que houver um número de clientes nas filas que seja superior 10% do número de caixas abertos. Este padrão demonstra que houve, na data, uma política bastante pródiga, proporcionando ao cliente um atendimento extremamente facilitado. É bem verdade que o dia da coleta, uma terça feira, 07 de junho, foi um dia comum com atendimento de 4.028 clientes para uma estrutura preparada para atender acima de 10.000, obviamente não com a mesma folga.

Os caixas podem ter seu padrão de atendimento restrito ao atendimento de clientes com certo número de itens, o que estabelece a entidade padrão chamada de cesto. O cesto padrão é fixado em 8 itens. Desta forma, os caixas que são definidos como cesto só podem atender a clientes portadores de, no máximo, 8 itens, enquanto que os demais caixas atendem a cliente com qualquer quantidade de itens, inclusive com menos de 9 itens.

A política de atendimento dos clientes estabelecida é a seguinte: a) o cliente chega no sistema; b) o cliente escolhe e se dirige a um dos caixas; c) o cliente é atendido imediatamente ou, se houver alguém sendo atendido, aguarda na fila do caixa que escolheu.

O cliente chega no sistema portando consigo todas as informações relativas aos parâmetros básicos (hora de chegada, quantidade de itens adquiridos, tempo de digitação, forma de pagamento e o tempo de pagamento).

Ele escolhe a fila com base: primeiro, no tipo de caixa (normal ou cesto); em segundo, pelo número de clientes que estão em cada caixa; e em terceiro, pelo número de itens que estão em cada caixa. A idéia é a de que o cliente ao chegar na frente de caixa procede uma varredura visual no sistema e baseado na percepção instantânea das 3 regras acima ele escolhe o caixa para ser atendido. Mudanças de fila e desistências não estão consideradas nesta versão do sistema. Em termos gerais, as distorções provocadas por sua ignorância não são substanciais e sua inclusão está impossibilitada pela falta de informações consistentes.

## 5. Descrição do Sistema Simulador

O simulador é o sistema objeto final da pesquisa. Ele é a junção harmônica dos parâmetros de entrada com a política de administração de frente de caixa, e com uma série de rotinas de controle dos componentes e de emissão de relatórios das informações estatísticas produzidas.

Ele é composto de um módulo gerenciador de operações, uma unidade de carga das diversas matrizes básicas dos parâmetros, uma unidade de geração de eventos, uma unidade de administração da frente de caixas, uma unidade de coleta de dados, uma unidade de produção de informações estatísticas e uma unidade de geração de arquivos e relatórios. Além destas unidades, ele dispõe, ainda, de uma unidade de tipificação e de implementação de dados.

A unidade de tipificação e de implementação de dados estabelece as constantes, variáveis e arranjos com respectiva nomenclatura para utilização nas demais unidades.

A unidade de carga de matrizes busca no disco e leva para a memória os dados básicos para a identificação do comportamento de cada parâmetro (matrizes de distribuição de probabilidade, distribuição de proporções etc.).

A unidade de geração dos eventos produz os atributos do cliente (intervalo entre chegadas, quantidade de itens, velocidade de digitação, forma de pagamento, velocidade de pagamento) com base nas informações básicas de

cada parâmetro, nas relações de dependência entre parâmetros e na localização temporal da geração do evento.

A unidade de administração da frente de caixa aplica a política administrativa estabelecida e controla o processamento de cada cliente e a organização e processamento de cada fila.

A unidade de coleta de dados obtém os somatórios necessários à posterior análise estatística.

A unidade de produção de informações estatísticas avalia o comportamento das diversas variáveis de interesse.

A unidade de geração de arquivos e relatórios apresenta as informações na forma mais acessível ao usuário final.

## 6. Interface com o Usuário

A interface consiste em uma tela gráfica que na sua metade superior, permite a intervenção do administrador no sistema, modificando ou restabelecendo o processo de chegada, a quantidade de itens, a velocidade de digitação, a velocidade de pagamento em dinheiro, a velocidade de pagamento em cheque, a política de administração da frente de caixas e o horário de encerramento da simulação. Na metade inferior é apresentado em tempo real de simulação uma série de informações estatísticas, por caixa e por total dos caixas, de interesse do usuário. Entre as informações destacam-se: relógio de simulação, clientes atendidos, clientes na fila, tempo médio de espera, itens na fila, tipo de caixas e outras.

Além da interface de vídeo, o usuário pode obter, a qualquer tempo, de modo impresso, as informações que obtém no vídeo e mais outras de menor expressão.

É necessário salientar que uma boa tomada de decisão carece de um apoio cientificamente embasado. No caso de simulação, é necessário que se replique uma série de vezes o mesmo período e que se registrem as informações desejadas para posteriormente submetê-las a rigorosos testes estatísticos. Só então deverão ser utilizados na tomada de decisão. O simulador com interface é um instrumento lento para executar um número elevado de replicações; em função disto, ele foi desenvolvido para executar uma única replicação. Assim sendo, ele serve somente como um instrumento de entendimento do sistema proposto ou como um instrumento educacional voltado ao ensinamento de

simulação. É forçoso frisar que o simulador com interface não é um instrumento que deva ser usado para gerar informações essenciais na tomada de decisão; para tanto, deve-se utilizar a versão original, que emite uma série de relatórios com uma análise estatística completa.

## 7. Outras Experiências Decorrentes da Pesquisa

No desenvolvimento da pesquisa, foram trilhados diversos caminhos que ou redundaram em fracasso total ou foram abandonados em detrimento de outros melhores sobre eles contruídos. De modo geral, das incursões frustradas, foi possível extrair ensinamentos que permitiram melhorar a visão do sistema. Esta seção visa mostrar, dos caminhos abandonados, os que maior contribuição deixaram para a pesquisa e descrever algumas das experiências que posteriormente implicaram modificações no sistema.

A mais marcante, em função do tempo consumido, foi a de que em determinado momento da pesquisa postulou-se que os parâmetros seriam representados por funções clássicas estacionárias, as de melhor aderência em cada parâmetro. Assim, escreveram-se as rotinas computacionais necessárias à validação de cada ajuste. Ao final, todos os ajustes redundaram inválidos e perdido um tempo valioso de pesquisa. De uma total frustração momentânea, posteriormente recuperou-se, além de uma lição a respeito do apressamento danoso, a estrutura básica para validação dos parâmetros e a seqüência das operações no sistema.

Outro procedimento adotado, e posteriormente abandonado, que dificultou o processo inicial de validação, foi a intenção de testar as variáveis através de pacotes estatísticos fechados. Na fase de depuração dos dados brutos, estes pacotes foram de uma ajuda muito significativa. Sua rigidez operacional entretanto foi paulatinamente colocando elementos complicativos até que na fase de validação seu uso se tornou impraticável, obrigando o desenvolvimento de rotinas específicas de análise estatística no interior do sistema. Estas rotinas permitiram a geração e a validação concomitante dos parâmetros facilitando a evolução das rotinas de geração.

Um fator de retardamento inicial, com compensação qualitativa posterior, foi a opção de desenvolver o sistema utilizando uma linguagem de uso geral. Esta opção exigiu o consumo de algum tempo no estudo detalhado da linguagem. Contudo, posteriormente permitiu a inclusão de rotinas, cuja qualidade



e velocidades de operação dificilmente poderiam ser obtidas com a utilização de linguagens específicas de simulação.

Por último, apesar do dispêndio de esforços significativos, a pesquisa foi desenvolvida, na sua maior parte, com uma grande dificuldade de comunicação entre pesquisador e usuário. Além de discussões informais, foram preparados 2 relatórios minuciosos descrevendo os procedimentos adotados e os resultados parciais alcançados. Porém, nada mostrava qualquer indício convincente de entendimento do que estava sendo feito. O usuário recebia os relatórios ou participava das discussões sem que surgissem, de sua parte, questionamentos relevantes que demonstrassem alguma abertura maior em sua capacidade de percepção do sistema. Houve questionamentos e posicionamentos; contudo, eles se referiam a um sistema, não perfeitamente estruturado, que estava na cabeça do usuário. Ou seja, usuário e pesquisador pensavam, discutiam e projetavam sobre um simulador, contudo, o simulador não era o mesmo.

Percebida esta disfunção, passou-se a desenvolver um simulador que dispusesse, além das características usuais, de uma interface direta com o usuário, onde ele pudesse intervir modificando e restabelecendo os parâmetros e as políticas de administração do sistema. Quando o trabalho de desenvolvimento da interface gráfica ainda estava em andamento, ela foi apresentada ao usuário. Em menos de 20 minutos de apresentação, o usuário fez mais perguntas e contribuições para modificações e melhoramentos no sistema do que havia feito nos dois anos, desde que se havia iniciado a pesquisa. Além de sugerir modificações, o usuário solicitou encarecidamente pela conclusão urgente do sistema baseado na interface. Duas semanas após, foi fornecida uma cópia com o sistema em plena operação. Já no instante da explicação sobre o modo de operação, o usuário demonstrava uma percepção completa sobre o funcionamento do sistema, inclusive dissertando espontaneamente sobre elementos conceituais mais complexos.

A alteração de comportamento do usuário em relação ao sistema, para melhor, é claro, aguçou a curiosidade sobre como reagiriam os responsáveis pela administração de frentes de caixas em outras redes de supermercados. A partir desta questão, o sistema, já com a interface, foi colocado ao público alvo, apresentando este público alto nível de compreensão em um intervalo de tempo nunca superior a 2 horas.

O capítulo seguinte faz um relatório detalhado de duas aplicações operacionais do sistema simulador em duas situações diferentes de política de administração de frente de caixas. Um enfoque especial, com representação gráfica, é dado à análise do comportamento das variáveis mais significativas envolvidas nas aplicações.

## CAPÍTULO - VII

# **APLICAÇÕES DO SISTEMA SIMULADOR**

## 1. Desenho Experimental

Com o objetivo de dar uma visão prática ao sistema desenvolvido, foram projetadas e analisadas duas aplicações do sistema simulador. Cada uma das aplicações foi dividida em duas situações de política de administração de frente de caixas distintas. Ambas as aplicações procuram satisfazer a duas questões que se fazem presentes nas discussões que antecedem decisões sobre a implantação de sistemas automatizados em lojas de auto-serviço.

A primeira aplicação refere-se ao aumento da velocidade de digitação, simulando a utilização de "scanners" para leitura de código identificador de mercadorias (códigos de barras) ou pela utilização de códigos especiais desenvolvidos, pela própria empresa, para utilização interna. O aumento na velocidade de digitação depende do desempenho dos meios utilizados e, principalmente, das condições propiciadas pelo meio em que são implantados. Os fatores inerentes ao meio, tais como: a) densidade, volume e forma das mercadorias; b) proporção de mercadorias já codificadas no conjunto total de mercadorias comercializadas; c) grau de instrução e treinamento dos servidores, podem modificar substancialmente o desempenho da frente de caixas no que tange à digitação. Partindo-se, por exemplo, de um sistema misto, onde a participação das mercadorias com código de barras impresso é reduzida, situação comum no mercado nacional, tem-se a seguinte situação: o servidor (caixa) que opera um ponto de venda dotado de "scanners" é forçado, para dar utilidade ao equipamento, a manusear todas as mercadorias para verificar a existência do código de barras impresso em alguma das diversas faces desta mercadoria. Quando a participação das mercadorias com código é muito baixa, o servidor pode controlar de memória; pela experiências, porém quando esta participação começa a crescer, a capacidade de controle mnemônico diminui substancialmente. Além da pesquisa na mercadoria, o servidor é forçado também a, constantemente, escolher entre as técnicas de digitação disponíveis e a proceder a um conjunto distinto de operações. Estas constantes trocas de comportamento implicam readequação da lógica à nova sequência de operações implicando perda de preciosas unidades de tempo.

Os fabricantes de "scanners" anunciam aumentos na velocidade de digitação de até de 30%, dependendo do ramo de atividade do usuário e da participação das mercadorias com o código de barras no conjunto total de mer-

cadornas comercializadas no sistema. A velocidade resultante da implantaçãõ de cõdigos especiais também depende do tipo de mercadoria comercializada. Portanto, não há um número fixo para quantificação desse aumento de velocidade. Assim, para superar esse embaraço, e com o intuito de proporcionar uma amplitude máxima às aplicações, as variáveis de interesse, foram analisadas, em níveis de velocidade, que partem da velocidade normal com aumentos de 10% até atingir um aumento de 90% da velocidade original, mesmo sabendo antecipadamente que os aumentos superiores a 30% podem ser utópicos. Apesar da utopia, a variação se presta para apresentar a tendência do comportamento das variáveis dependentes.

A segunda aplicação trata da questão do aumento da velocidade de pagamento em cheque, para o que existem, além de technicalidades operacionais como cartões, caixas especiais, redução de vistos etc., equipamentos especialmente desenvolvidos para imprimir no cheque do cliente o valor numérico, o valor por extenso, o local e data do pagamento, restando ao cliente, somente, o ato de assinar. Tal como na primeira aplicação, nesta também não se conhece o índice exato de aumento da velocidade no pagamento. Portanto, utilizou-se o mesmo expediente, analisando os aumentos de velocidade em acréscimos de 10% partindo do normal, sem acréscimo, até um acréscimo de 90%.

Nos duas aplicações há implicações de ordem econômica resultantes de modificações na performance dos sistemas, o que, em última análise, resulta da mudança na relação entre o sistema e o cliente. Esta mudança pode ser para melhor ou, até, para pior, dependendo do resultado da simbiose estabelecida entre os instrumentos, as técnicas e o fator humano.

Cada uma das aplicações foi analisada para duas políticas distintas de administração de frente de caixa, haja vista ser ela o principal fator determinante da imputação de ônus tanto ao sistema quanto aos seus usuários. A primeira, chamada de POLITICA 1, procura replicar a situação encontrada originalmente no sistema objeto; e, na segunda, chamada de POLITICA 2, estabelecem-se condições de maior pressão sobre o sistema. Na POLITICA 2, com o objetivo de reforçar o efeito da pressão no sistema, foi modificado o processo de chegada duplicando a taxa original de chegada, duplicando, por conseguinte, o número de clientes que ingressaram no sistema, sem alterar a distribuição do processo.

As regras das duas políticas para as duas aplicações estão descritas, nos subitens próprios, juntamente com os resultados e as respectivas análises.

Cada conjunto de dados estatísticos representativos do acréscimo de 10 unidades percentuais de velocidade é resultado da análise das médias de 30 replicações de um dia semelhante ao dia de operação em que foi efetuada a coleta dos dados. O dia original começou às 7h 57min 30s, fechando as portas da loja para entrada de clientes às 22h 12min, encerrando as atividades no atendimento do último cliente. Cada replicação é iniciada por uma semente de geração de números aleatórios controlada. Os conjuntos de 30 replicações independentes que formam as médias operam sobre a mesma seqüência de números pseudo-aleatórios o que garante a identidade dos elementos independentes nos vários conjuntos. A seqüência é iniciada pela semente 7777 e pode ser reimplementada a qualquer tempo. Para execução de cada aplicação foram necessárias 600 replicações, 300 para cada política, perfazendo um total de 1200 replicações de um dia semelhante ao original. A decisão de replicar 30 vezes para obter cada média deve-se a uma avaliação preliminar que demonstrou ser 30 uma quantidade boa para se obter um nível de significância de 95% e um erro amostral de, no máximo, 2,5% em torno da média dos diversos parâmetros estudados. Os resultados dos dois testes em cada aplicação estão tabulados em cinco tabelas no Apêndice D (D.1 a D5).

O quadro abaixo apresenta um resumo das regras aplicadas em cada aplicação para cada política de administração de frente de caixas:

ELEMENTOS DE POLÍTICA	VELOCIDADE DE DIGITAÇÃO		VELOCIDADE DE PAGAMENTO EM CHEQUE	
	POLÍTICA 1	POLÍTICA 2	POLÍTICA 1	POLÍTICA 2
Número de caixas	Livre	Livre	Livre	Livre
Quantidade de clientes na fila para abertura de novo caixa	> 1	> 3	> 1	> 3
Tempo mínimo de caixa aberto	30 m	30 m	30 m	30 m
Ociosidade mínima para fechamento de caixa	10 m	10 m	10 m	10 m
Encerramento das atividades da frente de caixas	Últ. cliente	Últ. cliente	Últ. cliente	Últ. cliente
Processo de chegada	Normal	Duplicado	Normal	Duplicado
Semente de inicialização	7777	7777	7777	7777
Número de replicações	300	300	300	300

## 2. Aumento na Velocidade de Digitação

A primeira política de administração da frente de caixas (POLÍTICA 1), na aplicação relativa ao aumento da velocidade de digitação, tem como base as seguintes regras:

- a) o número de caixas é livre;
- b) a abertura de um novo caixa se dará quando houver mais de um cliente, na média dos caixas abertos, na fila;
- c) o caixa aberto deve permanecer, no mínimo, 30 minutos aberto;
- d) o fechamento de um caixa só pode ocorrer após o 10º minuto de ociosidade;
- e) no fechamento da loja interrompe-se somente o ingresso de novos clientes, permanecendo o sistema em operação até o atendimento do último cliente no sistema.

Na segunda política de administração da frente de caixas (POLÍTICA 2), ainda na aplicação relativa ao aumento da velocidade de digitação, as regras básicas estabelecidas são:

- a) o número de caixas é livre;
- b) a abertura de um novo caixa se dará quando houver mais de 3 clientes, na média de caixas abertos, na fila;
- c) o caixa aberto deve permanecer, no mínimo, 30 minutos aberto;
- d) o fechamento de um caixa só pode ocorrer após o 10º minuto de ociosidade;
- e) no fechamento da loja interrompe-se somente o ingresso de novos clientes, permanecendo o sistema em operação até o atendimento do último cliente no sistema.

Volta-se a colocar, em função da importância do fato, que na POLÍTICA 2 foi alterado o processo de chegada, duplicando-se a taxa de chegada, o que implica a duplicação do número de usuários.

Nos resultados obtidos tem-se, nas duas políticas de administração de frente de caixas, variáveis de interesse com comportamento fixo, ou seja, que não variam com os aumentos na velocidade de digitação, e temos outras que são a expressão dessa variação.

Entre as variáveis que não dependem da velocidade de digitação, temos:

VARIÁVEIS	POLÍTICA 1	POLÍTICA 2	CRESCIMENTO
Clientes no sistema	4.046	8.080	2,00
Clientes atendidos	4.046	8.080	2,00
Clientes com pagamento em dinheiro	3.235	6.466	2,00
Clientes com pagamento em cheque	811	1.614	1,99
Intervalo de simulação(h)	14,22	14,24	1,01
Itens digitados	26.455	52.445	1,99
Intervalo médio entre chegadas(s)	12,66	6,35	0,50
Itens por cliente	6,54	6,49	1,00
Veloc. média de pag.em dinheiro(s)	17,55	17,40	1,00
Veloc. média de pag. em cheque(s)	99,33	98,78	0,99

Obs: Estes valores são médias de conjuntos de trinta replicações.

A variação de 100%, de uma política para a outra, deve-se ao acréscimo desse percentual na taxa de chegada, o que produz a duplicação de todas as variáveis que dela dependem, exceto o somatório dos intervalos, que deve ser igual ao período que a loja permanece aberta, as médias que não devem variar significativamente e o intervalo médio entre chegadas, que deve ficar reduzido a 50%, em virtude de ser ele o inverso da taxa de chegada.

As alterações das variáveis dependentes da velocidade de digitação, permitem inúmeras análises particulares e de conjunto. A atenção principal será dada às variáveis: espera na fila e número de caixas necessários para atender o sistema. O critério de seleção das variáveis a serem analisadas leva em conta aspectos decisórios e didáticos.

Sob os efeitos da POLÍTICA 1 (resultados na Tabela D.1 do Apêndice D), o tempo de espera na fila para quem realmente espera e no geral reduz-se menos que proporcionalmente a cada aumento na velocidade de digitação e em valores pouco significativos. A distância entre as duas curvas, Figura VII.1, é reflexo da baixa participação, dos clientes que esperam, no volume total de clientes que passam pelo sistema de caixas. O ganho de tempo proporcionado pelo aumento na velocidade de digitação proporciona uma importante redução no tempo total de caixa aberto, o que resulta em um significativo aumento no valor relativo da ociosidade do sistema de caixas, em virtude da baixa demanda de serviço, baixo índice de intensidade de tráfego, Figura VII.8, e da prodigalidade na política de atendimento (Regra "b" da POLÍTICA 1). Na Figura VII.2, pode-se perceber claramente o aumento



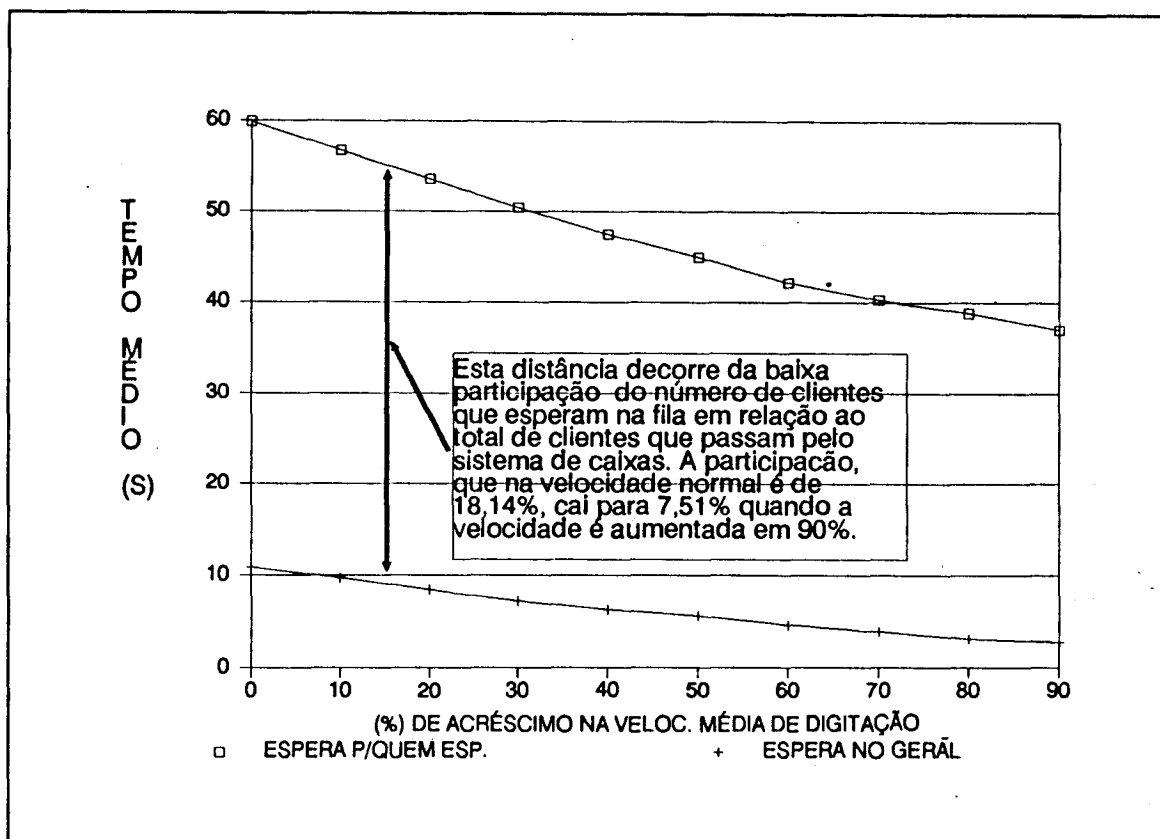


Figura VII.1 - Decréscimo nos Tempos de Espera.

contínuo da ociosidade relativa. Isto ocorre pelo fato do sistema estar com tendência à oferta de serviço. Nestas condições, a não ser que o administrador esteja projetando uma redução no tamanho de sua frente de caixas, os eventuais ganhos produzidos pela introdução de novas tecnologias acabam se refletindo no aumento da ociosidade do sistema. Assim, a automação do sistema de caixas só terá influência, na melhora da performance do sistema em termos de atendimento aos usuários, nos intervalos horários em que o sistema estiver em situação de pressão. No que tange a empresa, os resultados mostram a necessidade de uma reavaliação da política de administração da frente de caixas ou a necessidade de redimensionamento da frente de caixas.

Quanto à quantidade mínima de caixas necessárias para o atendimento aos clientes, tamanho mínimo da frente de caixa, o aumento na velocidade de digitação resulta em uma redução de aproximadamente 1 caixa a cada aumento de 10%. Essa redução é importante em sistemas com frentes limitadas pelo espaço físico disponível. A redução no número máximo de caixas não significa redução idêntica no tempo de caixa aberto. A necessidade de caixas para atender o tempo de caixa aberto, no nível normal de operação, é de 10,6 caixas abertos todo o dia. A cada aumento de 10% na velocidade de

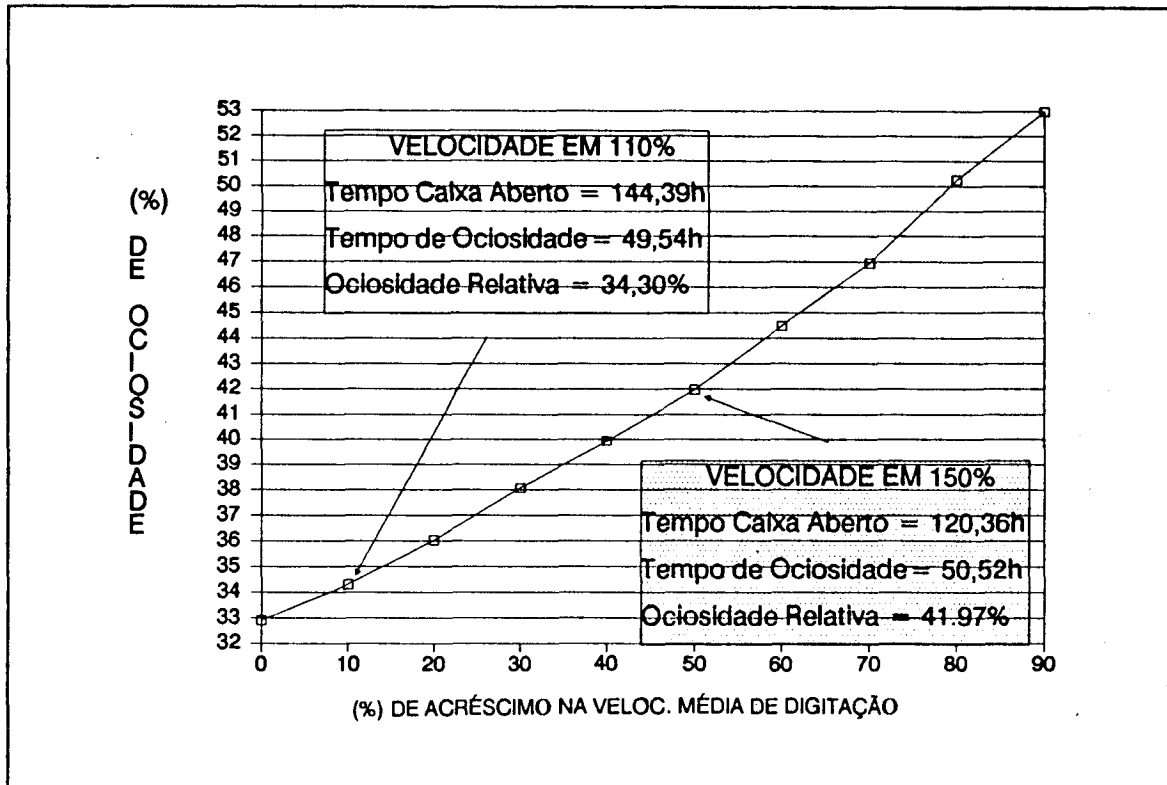


Figura VII.2 - Participação da Ociosidade.

digitação esse número reduz-se em, aproximadamente, 0,45 caixas, como mostra o gráfico da Figura VII.3. A variável número de caixas abertos o dia todo é posta com o objetivo de melhorar a percepção a respeito do tempo de caixa aberto do qual ela se origina pelo quociente deste tempo por um caixa teórico que permaneceria aberto durante todo o período de simulação ou de operação.

Com a adoção da POLÍTICA 2 (resultados na Tabela D.2 do Apêndice), o sistema fica relativamente pressionado e as variáveis modificam sensivelmente seu comportamento. Primeiramente, é importante perceber, como mostra a Figura VII.4, que apesar da duplicação do número de clientes a necessidade de horas-caixas aumentou em apenas 2/3. O 1/3 restante foi compensado pela redução relativa de ociosidade do sistema que passou de 33% para 20% do tempo de caixa aberto. Esta redução é consequência da aplicação de uma política de atendimento menos pródiga forçando a melhor utilização dos recursos adicionais. Porém, é preciso atentar ao fato de que assim como uma política menos pródiga melhora a performance do sistema, reduzindo custos econômicos, ela também pode atribuir maior ônus de tempos de espera aos clientes, de tal sorte que o ganho inicial pode resultar em perda econômica significativa com a fuga de clientes.

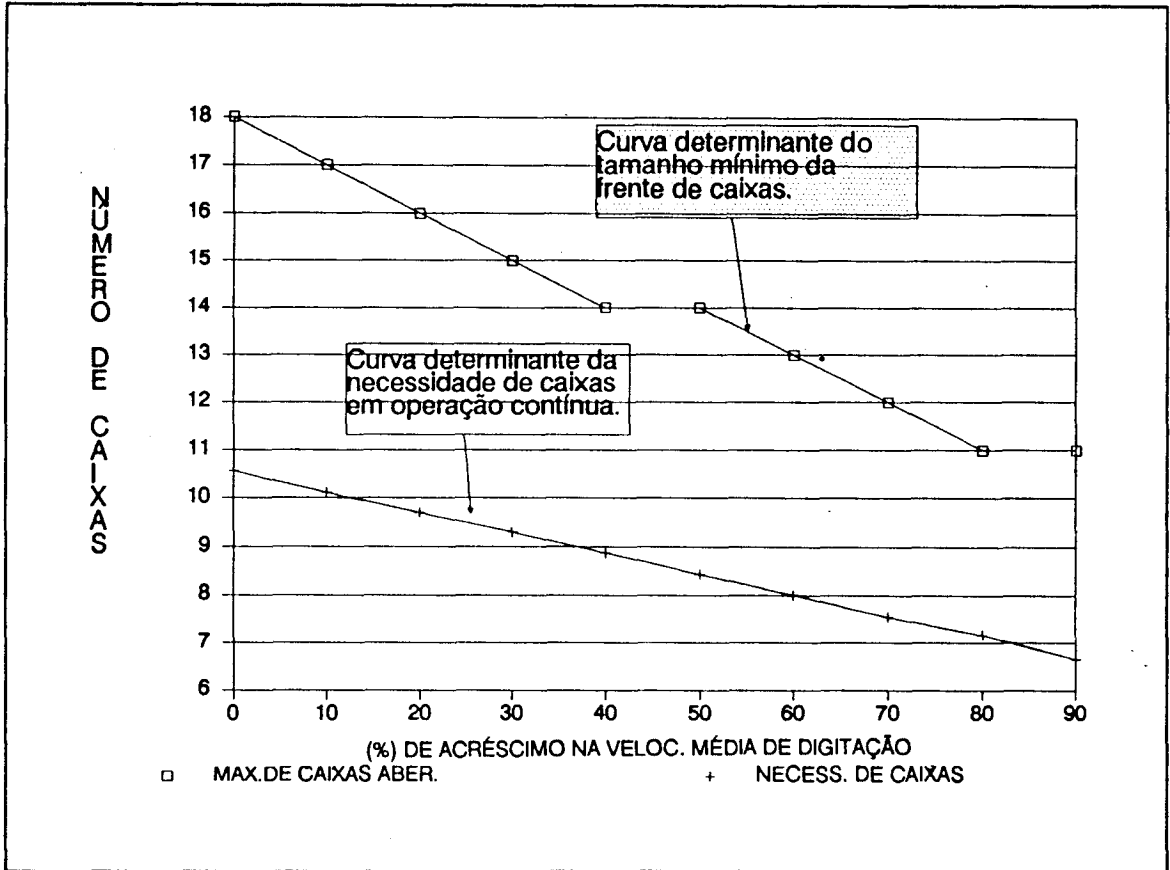


Figura VII.3 - Necessidade de Caixas.

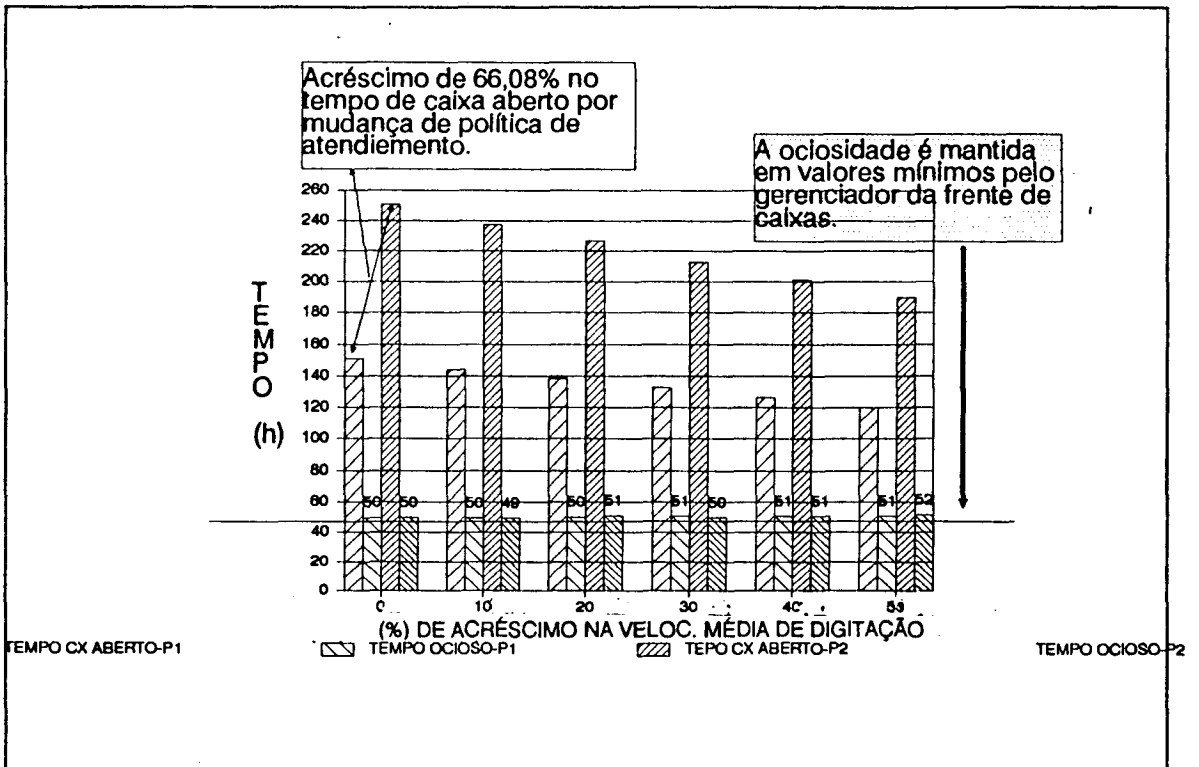


Figura VII.4 - Comparativo da Partic. da Ociosidade.

A figura VII.5, em contraste com a Figura VII.1, resalta o custo em tempo de espera, assumido pelo usuário do sistema, e seu abrandamento na medida em que a velocidade de digitação aumenta. No caso da POLÍTICA 1, Figura VII.1, o aumento de 10% na velocidade de digitação proporcionou uma redução no tempo de espera na fila para quem realmente esperou de 3,2 segundos para uma espera anterior de 59,88 segundos, ou seja, uma redução de 5,35%, enquanto que na POLÍTICA 2 essa redução, para um tempo anterior de 93,63 segundos, é de 7.39%. As situações de pressão do sistema provocam um aumento significativo nos tempos de espera e é nesses momentos que as novas tecnologias têm sua melhor performance. O declínio médio conseguido com a aplicação da POLÍTICA 2, em um aumento de velocidade de digitação de 30%, é de 19.11 segundos para os clientes que esperam e de 11.19 segundos para os clientes em geral. Esses valores, no caso da POLÍTICA 1 são respectivamente 9.43 e 3.62 segundos.

As variações na ociosidade, na aplicação da POLÍTICA 2, são de maior intensidade do que na POLÍTICA 1. A tendência da ociosidade relativa é de aumentar com o aumento da velocidade de digitação, a partir de uma

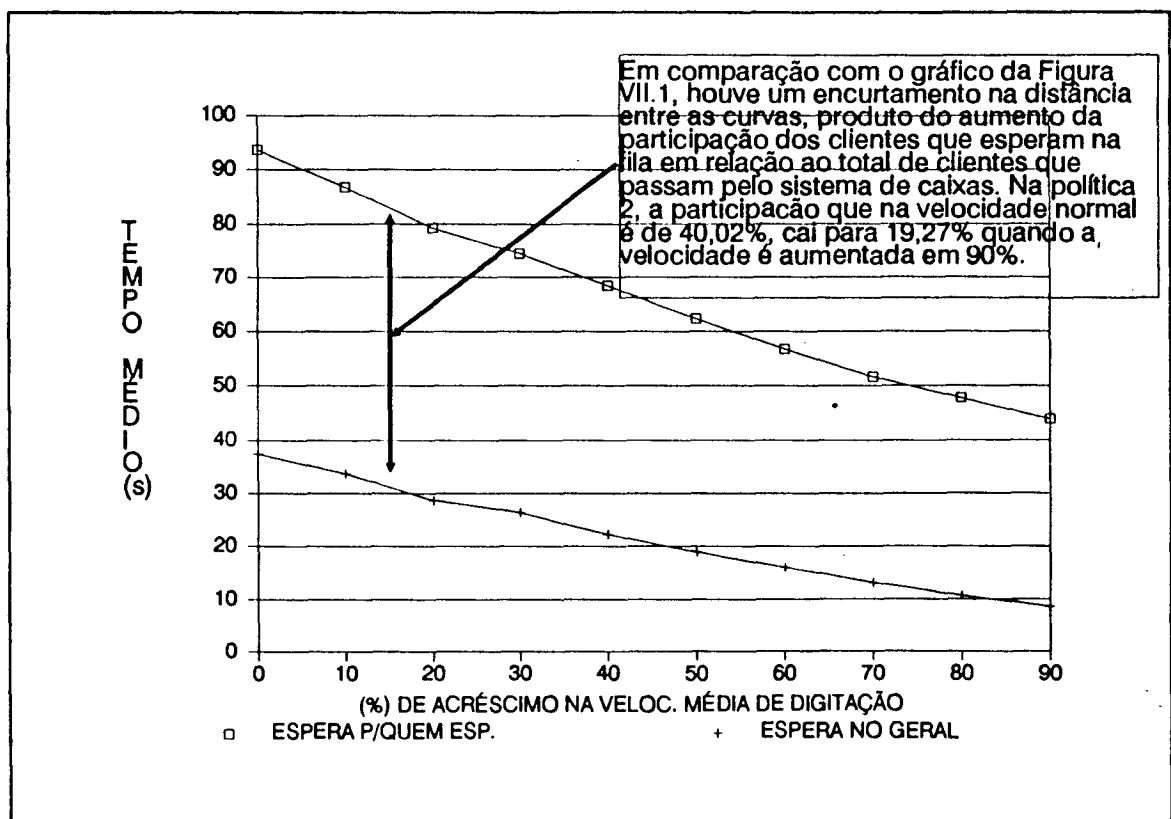


Figura VII.5 - Decréscimo dos Tempos de Espera

ociosidade mínima que decorre da operacionalidade do sistema. No caso da POLÍTICA 1, a ociosidade está muito próxima desse limite e, portanto, ela varia com menor intensidade. Já na POLÍTICA 2 há uma maior liberdade de variação cuja intensidade depende da maximização do relacionamento das variáveis resultantes diante da política de administração de frente de caixa aplicada, Figura VII.6. A convergência entre a política de administração de frente de caixas e a velocidade aplicada à digitação produzem situações interessantes de análise por pesquisa operacional, que deve merecer uma atenção especial quando o sistema estiver sendo utilizado em aplicações reais.

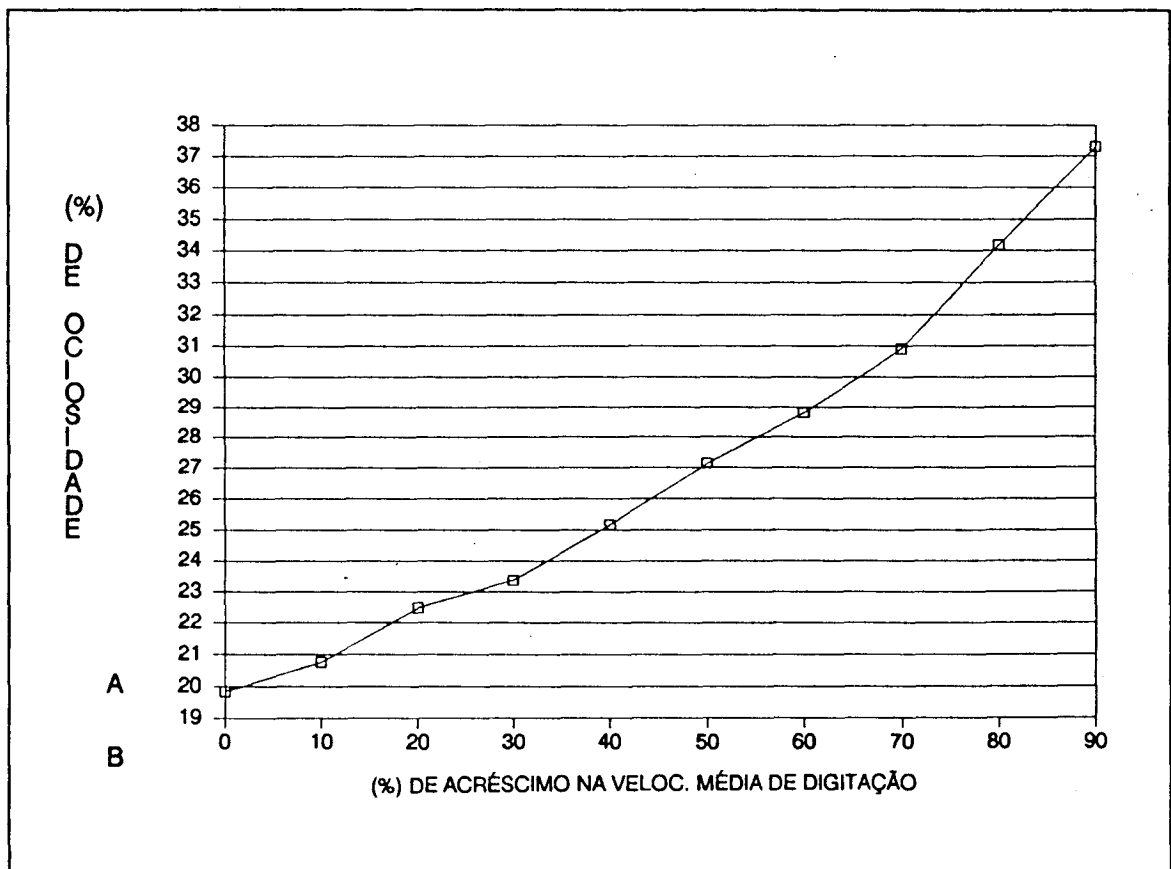


Figura VII.6- Participação da Ociosidade

O tamanho mínimo da frente de caixas e o número de caixas abertos o período todo, para atender a demanda, se altera sensivelmente com a mudança da política de atendimento. No caso, a mudança é ainda maior, porque além de alterar a política, foi modificado também o processo de chegada, duplicando-se a taxa de chegada.

Sob o impacto da POLÍTICA 2, Figura VII.7, o tamanho mínimo da frente de caixas resultou em 29 caixas para a velocidade normal de digitação, reduzindo-se esta necessidade em 1,33 unidades, em média, a cada aumento de

10% na velocidade de digitação. O número de caixas abertos o período todo para atender a demanda resultou em 17,53, com uma redução de 0,85 unidades, em média, a cada 10% de incremento na velocidade.

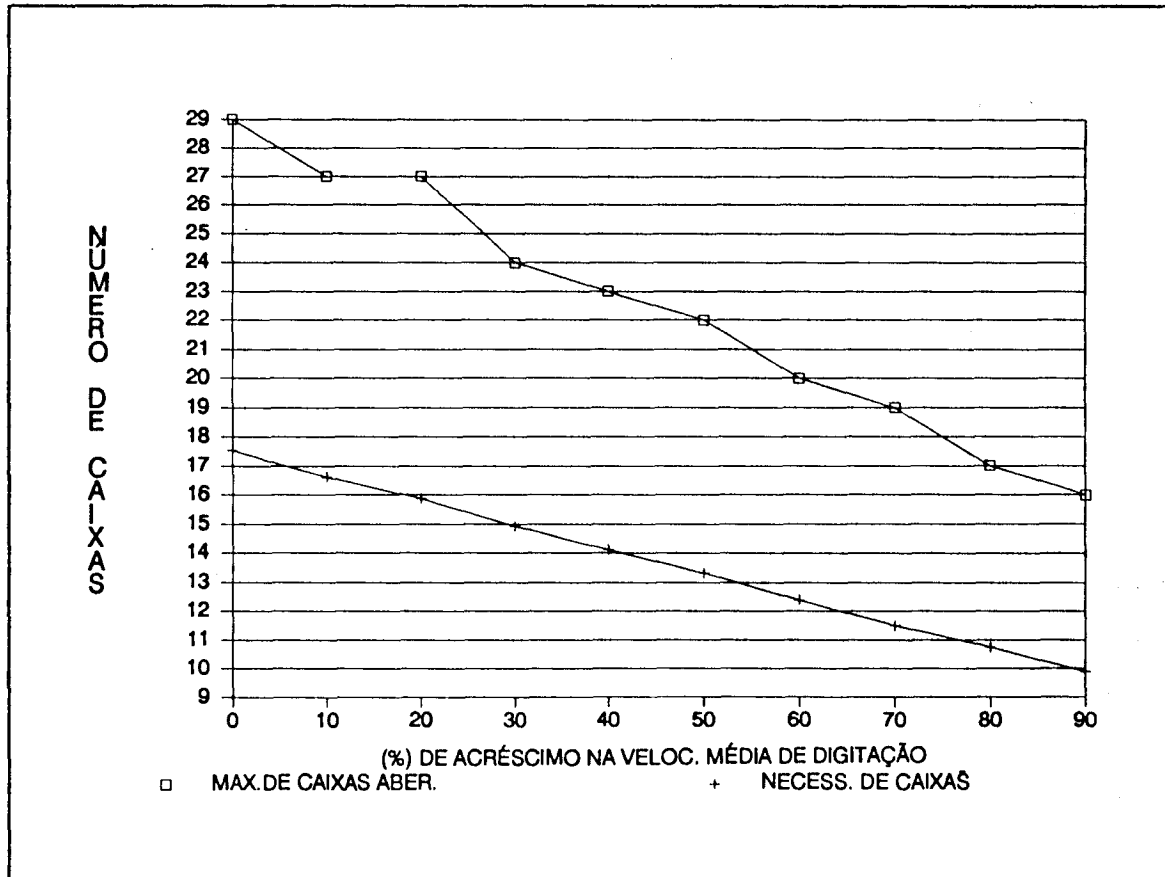


Figura VII.7 - Necessidade de Caixas.

A intensidade de tráfego pode ser entendida como a expressão da fluência do sistema. Ela resulta da relação existente entre as taxas de chegada e a taxa de serviço. Um sistema em equilíbrio perfeito, uma utopia, tem como intensidade de tráfego a unidade, ou seja, a soma das taxas de serviço resulta igual a taxa de chegada. Em função da variabilidade tanto da taxa de chegada quanto da taxa de serviço, neste trabalho, a intensidade de tráfego foi calculada computando-se os tempos totais gastos em cada processo, o que a descaracteriza em relação ao processo clássico de cálculo mantendo porém, o poder informativo da relação existente entre o processo de chegada e o processo de serviço. A figura VII.8 mostra o comportamento da intensidade de tráfego comparando as duas políticas aplicadas e sua evolução em função do acréscimo na velocidade de digitação.

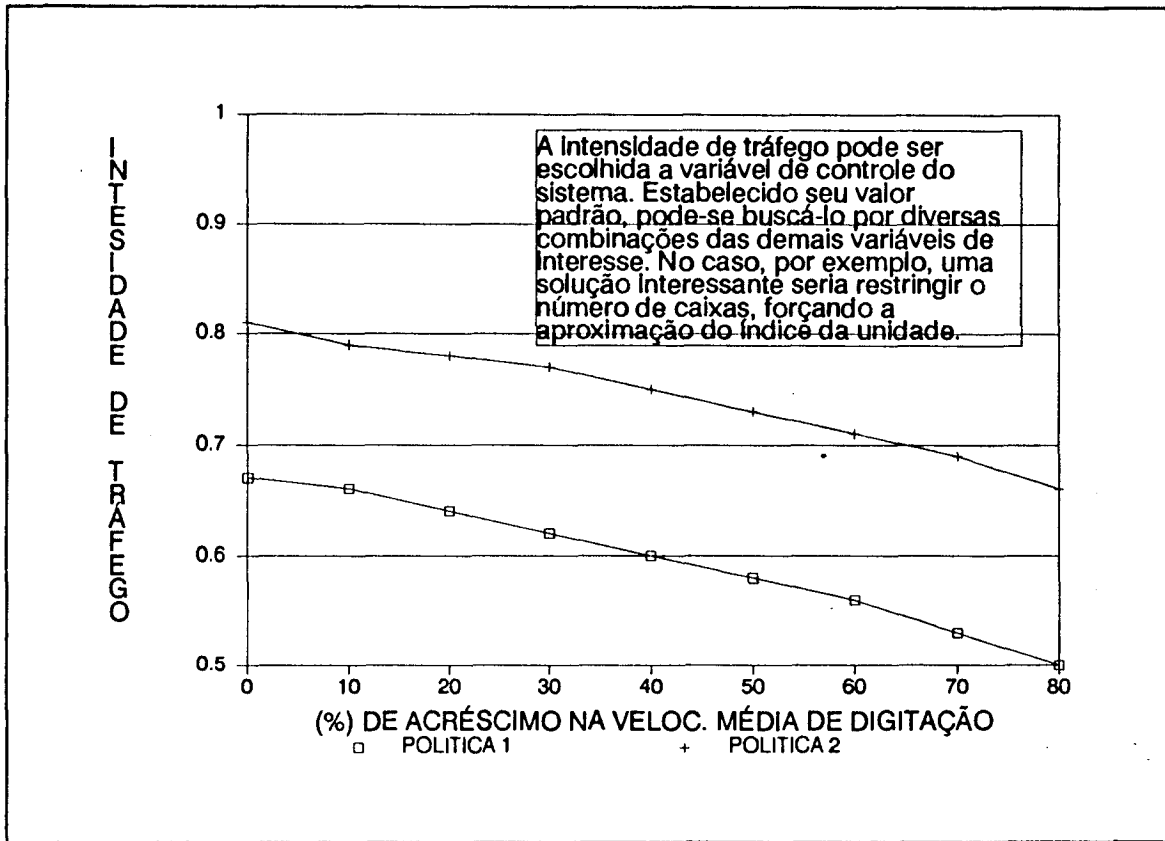


Figura VII.8 - Intensidade de Tráfego

É importante voltar a frisar que são inúmeras as possibilidades de análise que podem ser realizadas; para tanto, podem ser encontradas no Apêndice D as tabelas D.1 e D.2 contendo as variáveis mais importantes extraídas do simulador no processo de simulação aqui descrito.

### 3. Aumento na Velocidade de Pagamento em Cheque

Na aplicação relativa ao aumento na velocidade de pagamento em cheque, assim como na aplicação relativa ao aumento de velocidade de digitação, também são estabelecidas duas políticas de administração de frente de caixas.

As regras da primeira política de administração de frente de caixas (POLÍTICA 1) são as seguintes:

- a) o número de caixas é livre;
- b) abertura de um novo caixa se dará quando houver mais de um cliente, na média dos caixas abertos, na fila;

- c) o caixa aberto deve permanecer, no mínimo, 30 minutos aberto;
- d) o fechamento de um caixa só pode ocorrer após o 10º minuto de ociosidade;
- e) no fechamento da loja interrompe-se somente o ingresso de novos clientes permanecendo o sistema em operação até o atendimento do último cliente no sistema.

Para a segunda política de administração da frente de caixa (POLÍTICA 2), foram estabelecidas as seguintes regras:

- a) o número de caixas é livre;
- b) abertura de um novo caixa quando houver mais de 3 clientes, em média, na fila;
- c) o caixa aberto deve permanecer, no mínimo, 30 minutos aberto;
- d) o fechamento de um caixa só pode ocorrer após o 10º minuto de ociosidade;
- e) no fechamento da loja interrompe-se somente o ingresso de novos clientes, permanecendo o sistema em operação até o atendimento do último cliente no sistema.

Além das regras para administração da frente de caixas, outra modificação importante é a duplicação da taxa de chegada, com o intuito de avaliar o desempenho do sistema sob pressão.

Como ocorreu na aplicação relativa ao aumento da velocidade de digitação, nesta aplicação também existem variáveis que não dependem da velocidade de pagamento em cheque. Entre as variáveis de interesse controladas pelo sistema simulador, temos:

VARIÁVEIS	POLÍTICA 1	POLÍTICA 2	VARIAÇÃO
Clientes no sistema	4.046	8.080	2,00
Clientes atendidos	4.046	8.080	2,00
Clientes com pagamento em dinheiro	3.235	6.466	2,00
Clientes com pagamento em cheque	811	1.614	1,99
Intervalo de simulação(h)	14,22	14,24	1,01
Itens digitados	26.455	52.445	1,99
Tempo gasto em digitação	63,09	125,21	1,99
Intervalo médio entre chegadas(s)	12,66	6,35	0,50
Itens por cliente	6,54	6,49	1,00
Veloc. de digitação p/cliente(s)	56,13	55,79	1,00
Veloc. de digitação p/item(s)	8,59	8,60	1,01
Veloc. média de pag.em dinheiro(s)	17,55	17,48	1,00

Obs: *os valores são médias de conjuntos de trinta replicações.*



Ressalta-se que as variáveis fixas, em relação à política de administração, são fixas em ambas as aplicações. Isto decorre da manutenção, no total, dos demais elementos do sistema. É importante salientar que, quanto menor o número de elementos modificados, mais facilmente se chegará a uma avaliação das relações de causa e efeito. Sempre que possível, sugere-se a modificação de uma única variável independente a cada aplicação. A análise conjunta de variáveis, além de ser mais complexa, pode ser fonte de interpretações errôneas das relações existentes entre as variáveis ou do produto dessas relações.

As variáveis dependentes, particularmente, tempo de espera geral e tempo de espera na fila para quem esperou, têm nas duas situações de POLÍTICA, uma variação menos sensível nesta aplicação do que na anterior. A menor sensibilidade deve-se a menor representatividade do tempo gasto com pagamento em cheque de 22,37 horas contra 63,09 horas do tempo gasto com digitação na POLÍTICA. O tempo gasto com pagamento em cheque é menor em decorrência da baixa participação da forma de pagamento em cheque, 20%, no total das formas de pagamento escolhidas pelos clientes. As Tabelas D.3 e D.4 do Apêndice D trazem em detalhes os resultados obtidos no experimento.

O tempo médio de espera para quem esperou, Figura VII.9, reduz-se de 59,88 segundos, velocidade normal, para 48,40 segundos, velocidade acrescida de 90%, representando um ganho de 11,48 segundos ou 19,2% do tempo de espera original, o que resulta em uma melhora média de 2% a cada aumento de 10%, observado o comportamento marginal decrescente de ganho. O tempo de espera médio geral tem a mesma tendência porém em volumes significativamente menores. A redução é de 10,85 segundos, velocidade normal, para 6,79 segundos, velocidade com 90% de acréscimo, correspondendo a um ganho de 4,06 segundos por cliente, 6,8% do tempo de espera original, o que se traduz numa redução média de 0,0889% a cada esforço de aumento de 10% na velocidade de pagamento em cheque. Desta análise depende-se a necessidade da presença de 3 circunstâncias fundamentais para a implantação de sistemas redutores do tempo de pagamento em cheque: a) a participação significativa da forma de pagamento em cheque no conjunto das formas de pagamento permitidas no sistema; b) a ocorrência de pressão continuada, motivada principalmente por limitações físicas da frente de caixa; c) a existência de interesse em melhorar em qualidade ou em quantidade a prestação do serviço. A baixa

declividade das curvas da Figura VII.9 mostram o reduzido rendimento em termos de ganhos em tempo de espera; já na Figura VII.11, a declividade é maior denotando a melhora do desempenho destas variáveis em situação de pressão.

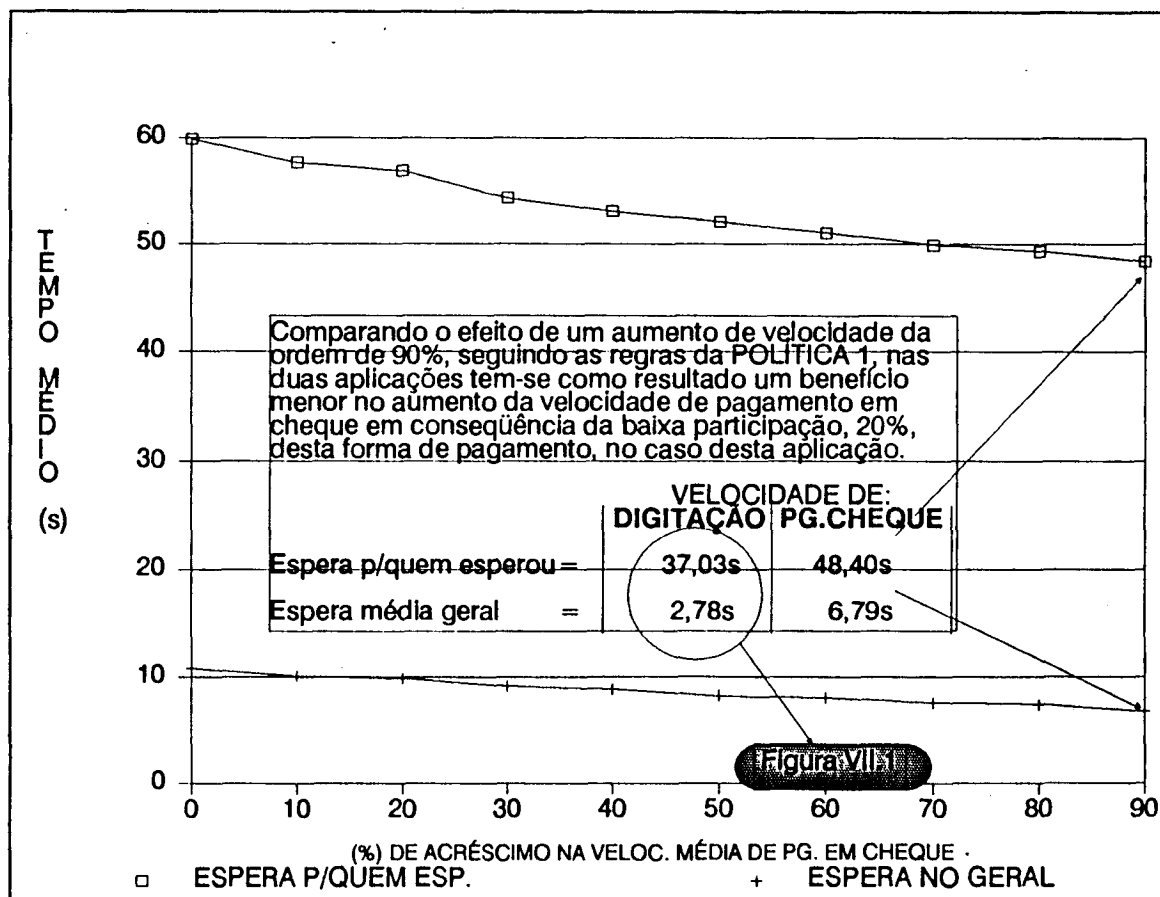


Figura VII.9 - Decréscimo nos Tempos de Espera.

Ainda que os ganhos de tempo sejam mínimos, eles reduzem o tempo total de caixa aberto aumentando, consequentemente, a ociosidade relativa. Como se pode perceber na Figura VII.10, ocorre o aumento da participação relativa da ociosidade, em virtude da folga com que opera a frente de caixas produto da benevolência estabelecida nas regras da POLÍTICA 1.

A questão da avaliação do volume ideal de ganho depende essencialmente das necessidades e da política de atendimento estipulada em cada sistema. Ganhos de qualquer quantidade de tempo, por cliente, significam: a) a possibilidade de atendimento de mais clientes sem perda do equilíbrio do sistema, quando o sistema estiver, inicialmente, em equilíbrio; b) a possibilidade de se oferecer um melhor atendimento, quando o sistema estiver continuamente pressionado; c) a possibilidade de melhora de atendimento, nos períodos de

pressão; d) a possibilidade de redução do número de caixas em operação, quando houver excesso de ociosidade na frente de caixas.

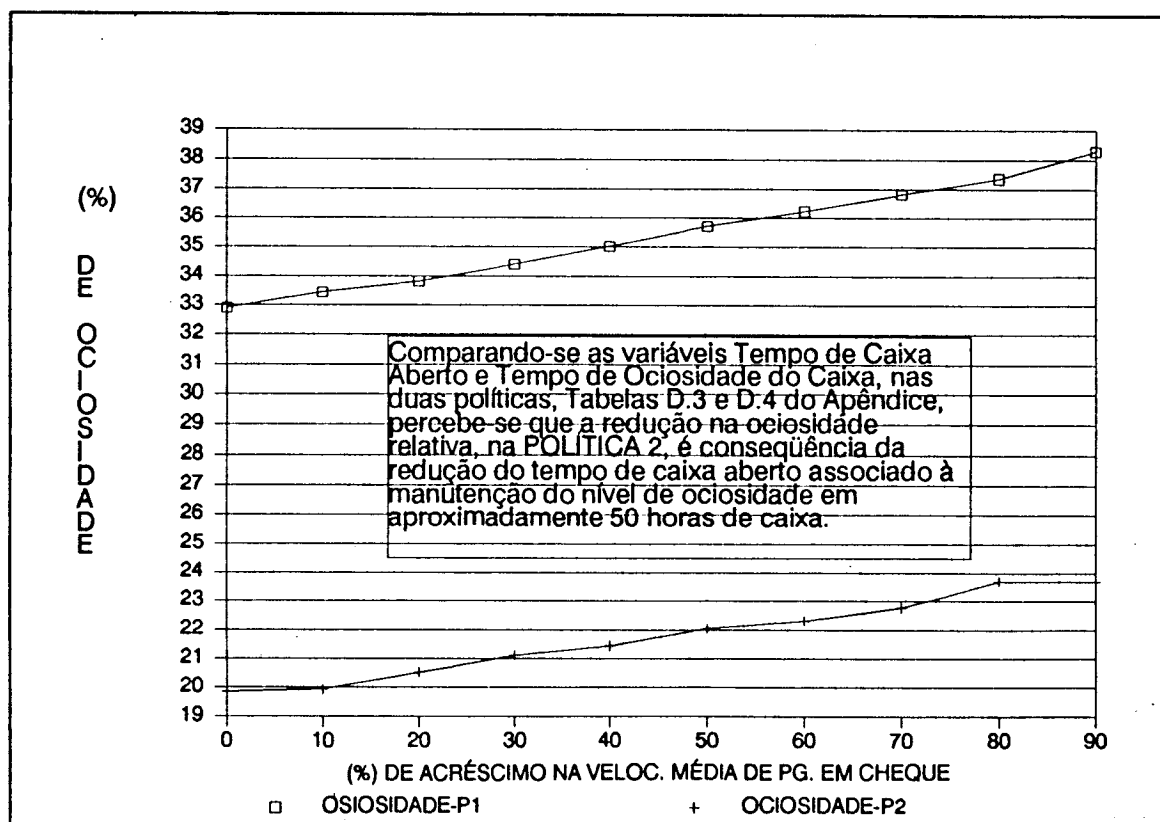


Figura VII.10 - Comparativo de Partic. da Ociosidade

Na POLÍTICA 1, Figura VII.11, a necessidade de caixas abertos o dia todo para atender a demanda, com a velocidade normal de pagamento em cheque, é de 11 caixas, caindo para 9 quando a velocidade é aumentada em 90%. O número máximo de caixas abertos ao mesmo tempo, tamanho mínimo da frente de caixas, revela-se um pouco mais sensível ao mesmo esforço, reduzindo a quantidade de caixas de 18, na velocidade normal, para 15, na velocidade aumentada em 90%, o que representa um ganho médio de 0,33 caixas a cada esforço de 10%. A mesma linha de raciocínio aplicada à POLÍTICA 2, Figura VII.14, resulta em um ganho médio de 0,67 caixas a cada aumento de 10%, numa redução de necessidade de 29 caixas, velocidade normal, para 23, quando a velocidade é aumentada em 90%. É importante perceber que à duplicação do processo de chegada, da POLÍTICA 1 para a POLÍTICA 2, correspondeu uma demanda adicional de somente 61% no tamanho mínimo da frente de caixas e de 55% na quantidade de caixas abertos o dia todo, para atender ao novo processo de chegada, o que demonstra um melhor aproveitamento da frente de

caixas e se traduz, como já foi visto, numa significativa redução na ociosidade relativa, Figura VII.10.

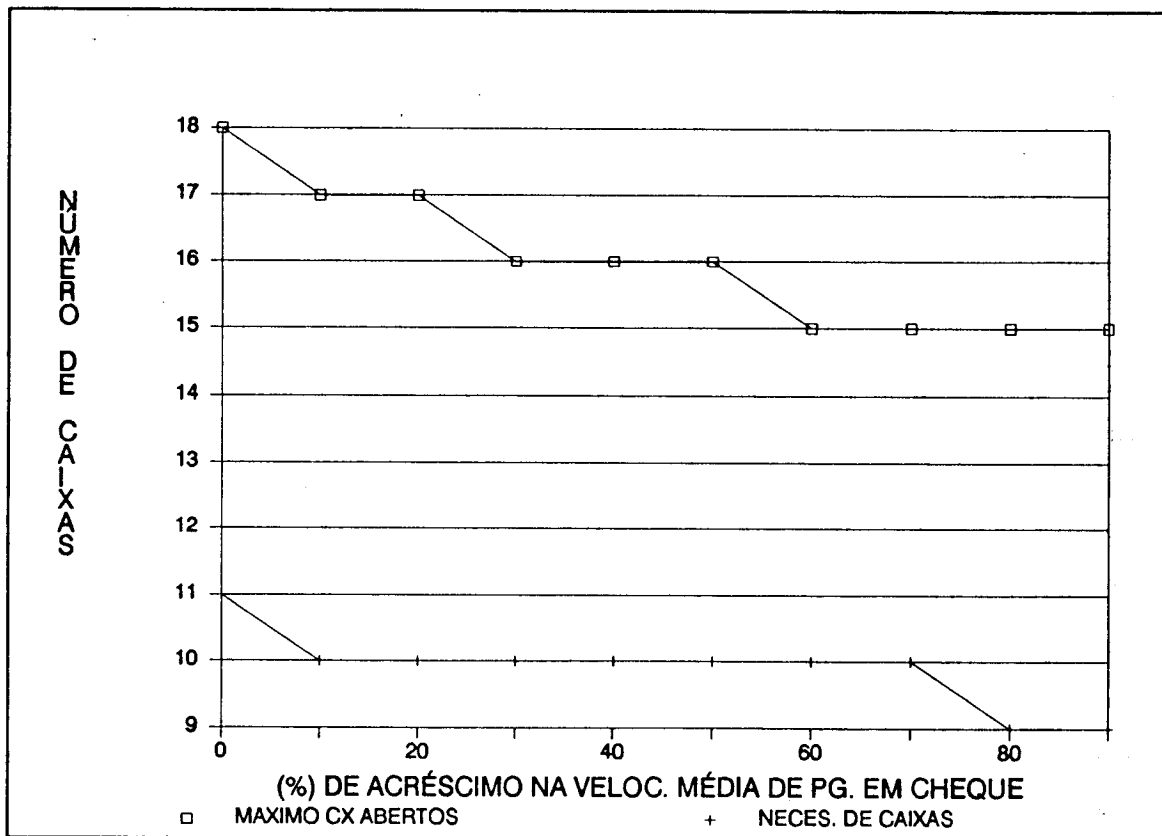


Figura VII.11 - Necessidade de Caixas.

Na aplicação do tempo de digitação foi possível perceber, e agora confirma-se a existência de uma carga mínima de ociosidade do sistema. Essa ociosidade é resultante da própria operacionalidade do sistema. Em valores absolutos, temos aproximadamente 50 horas de ociosidade, não importando a política adotada ou a variação aplicada à velocidade de digitação ou de pagamento em cheque. Contudo, em valores relativos, a ociosidade cresceu significativamente, aumentando sua participação de 32,91%, na velocidade normal, para 38,29%, na velocidade aumentada em 90%, na POLÍTICA 1 e, respectivamente, de 19,85% para 23,68% na POLÍTICA 2, Figura VII.10. Note-se um importante ganho relativo, na ociosidade, na mudança de política de administração da frente de caixas. Este ganho decorre da perspicácia do administrador, no caso a rotina de política de administração de frente de caixas do sistema simulador, aplicada no gerenciamento das necessidades e dos recursos, só permitindo a abertura e o fechamento dos caixas em sintonia com a demanda. Este raciocínio permite explicar a constância da ociosidade a despeito das modificações na

política ou na modificação do comportamento de um parâmetro dentro de determinada política mostrada na Figura VII.12.

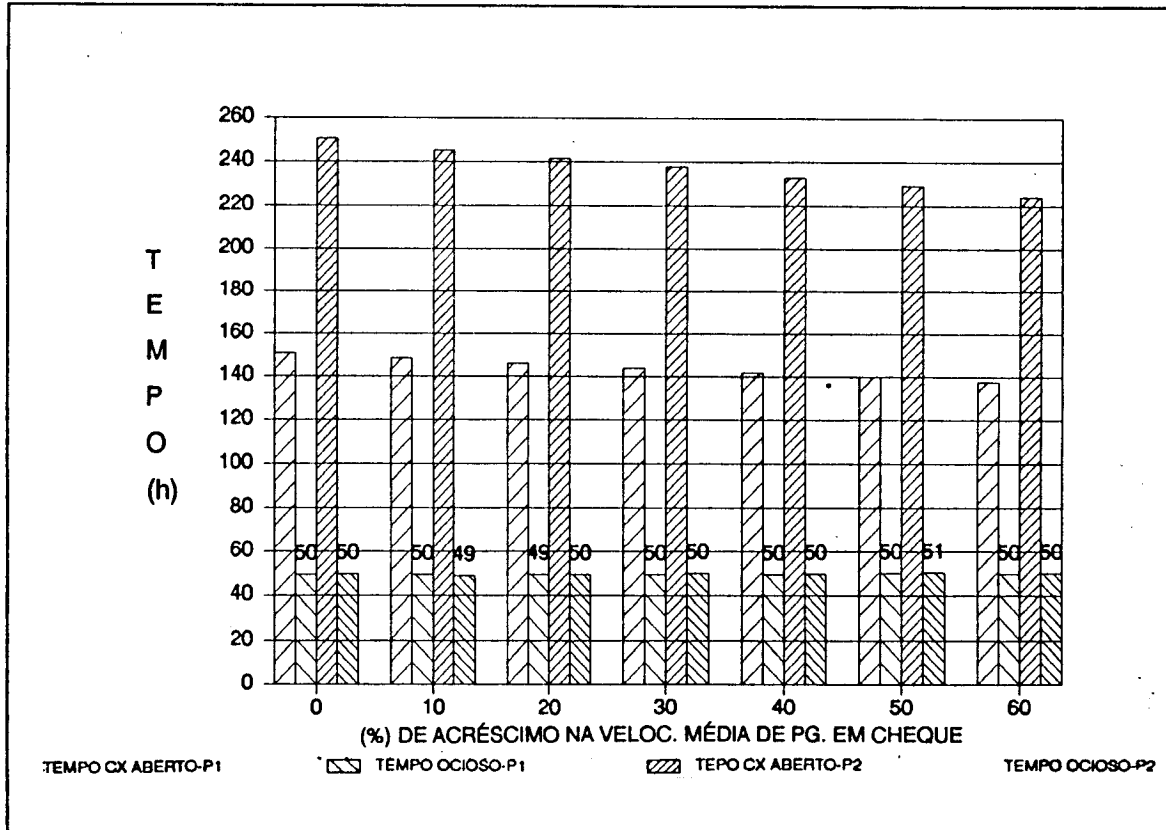


Figura VII.12 - Comparativo da Partic. da Ociosidade.

A reduzida participação da forma de pagamento em cheque, 20% do total de clientes, é, como já se citou, o principal fator da baixa performance do esforço aplicado no aumento da velocidade de pagamento em cheque. Um aumento de 90% na velocidade de pagamento em cheque na POLÍTICA 2, Figura VII.13, reduziu o tempo de espera de quem esperou em 21,89 segundos partindo de uma espera de 93,63 segundos, na velocidade normal, baixando para 71,74 segundos, representando um decréscimo de 23,38%, enquanto que o mesmo esforço aplicado sobre a velocidade de digitação produziu uma redução no tempo de espera para quem esperou de 47,06% partindo do mesmo tempo de espera de 93,63 segundos, para a velocidade normal. Já a espera média geral foi reduzida em 13,18 segundos partindo de uma espera de 37,47 segundos, na velocidade normal, baixando para 24,29 segundos, representando um decréscimo de 48,04% enquanto que no aumento de 90% na velocidade de digitação, na mesma política, o decréscimo foi de 77,34%, para o mesmo valor de tempo de espera inicial. Modificações na proporção entre pagamento em cheque e di-

nheiro alteram diferentemente a importância de cada forma de pagamento no sentido da produtividade do esforços tecnológicos a elas aplicados.

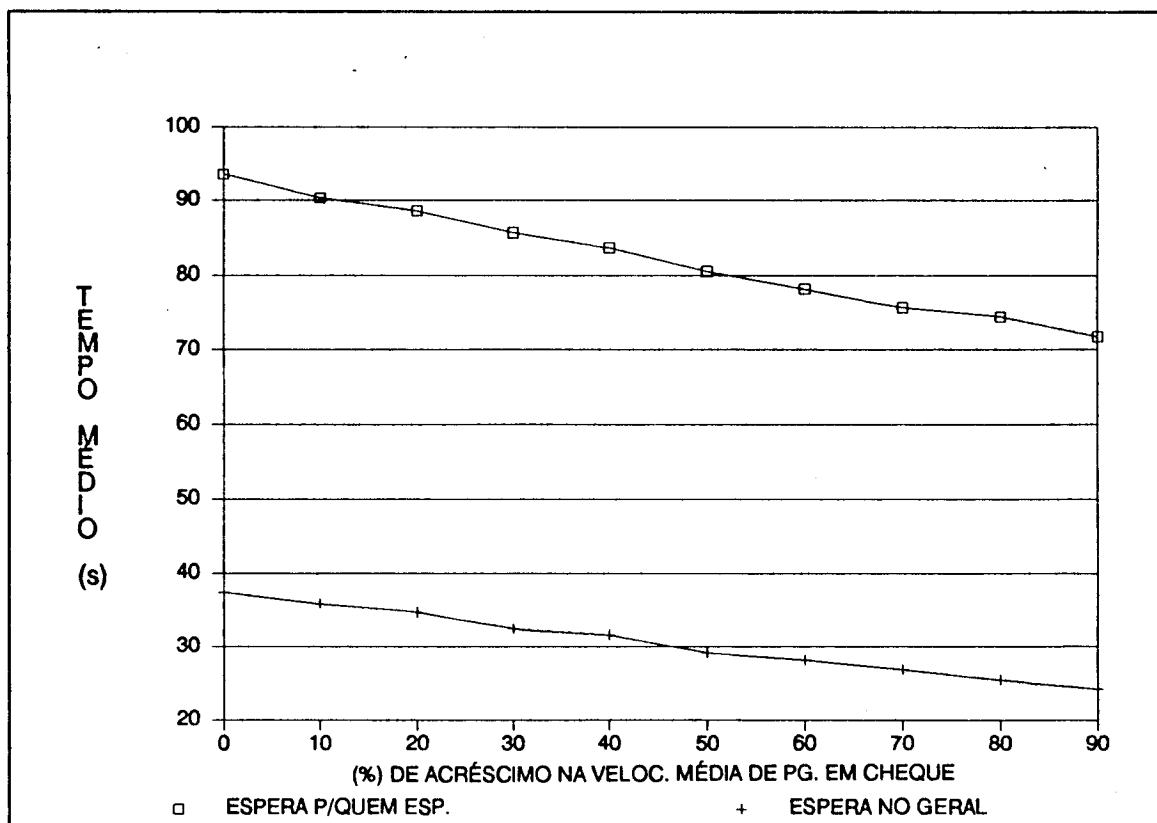


Figura VII.13 - Decréscimo nos Tempos de Espera.

Considerando-se que na POLÍTICA 1 o mesmo aumento de velocidade de pagamento em cheque produziu reduções de 19,17% no tempo de espera para quem esperou e de 37,42% no tempo de espera médio geral para esperas iniciais de 59,88 e 10,85 segundos, respectivamente, tem-se, novamente, a constatação lógica de que é nas situações de maior pressão dos sistemas que se pode obter um melhor desempenho dos fatores tecnológicos da automação.

O tamanho mínimo da frente de caixas, na aplicação relativa ao aumento na velocidade de pagamento em cheque, Figura VII.14, também reflete a baixa participação dessa forma de pagamento. Nas condições da POLÍTICA 1, Tabela D.3, o número mínimo de caixas necessários para atender a demanda ficou em 18 caixas, na velocidade normal, reduzindo-se esse número em 3 unidades ao se aumentar a velocidade de pagamento em cheque em 90%. Na POLÍTICA 2, a necessidade cresce, em relação à POLÍTICA 1, em 11 unidades passando de 18 para 29 caixas, na velocidade normal, caindo 6 unidades na velocidade acrescida em 90%.

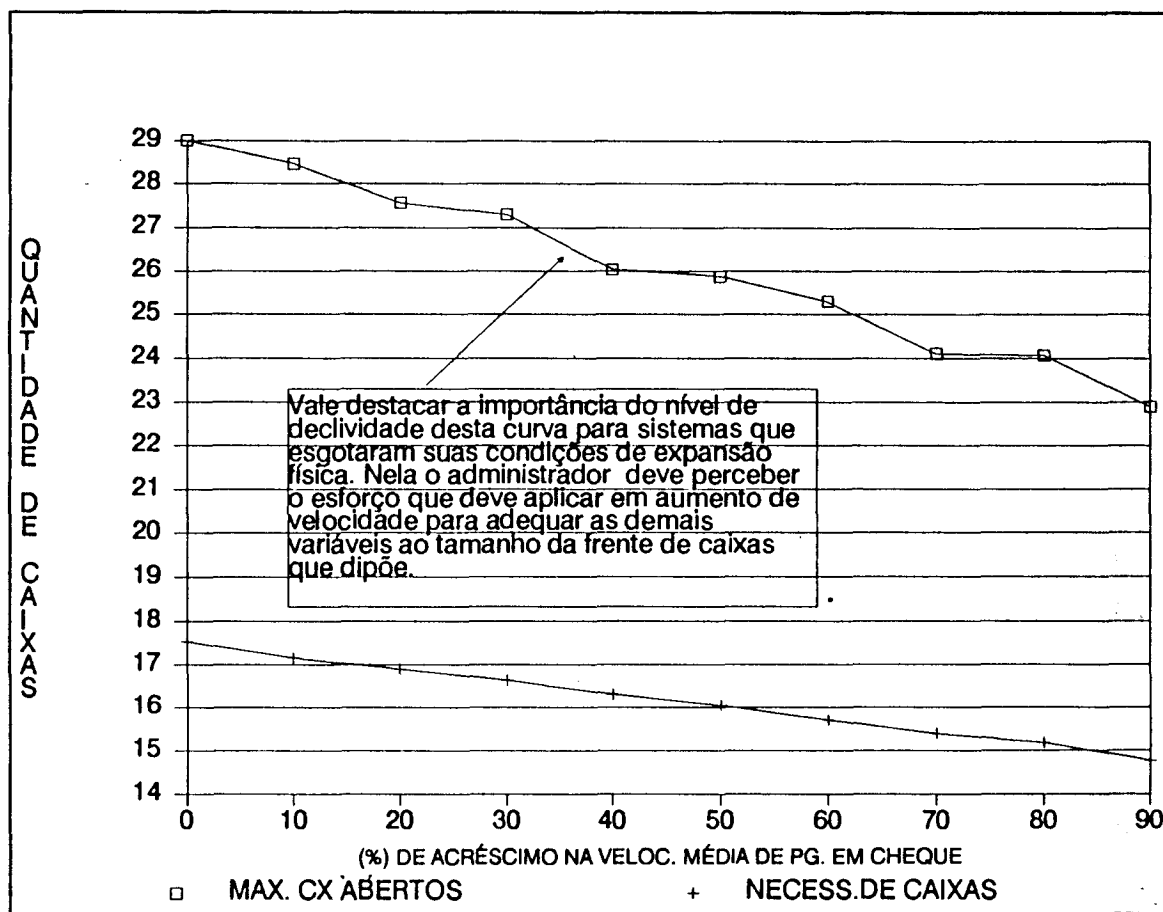
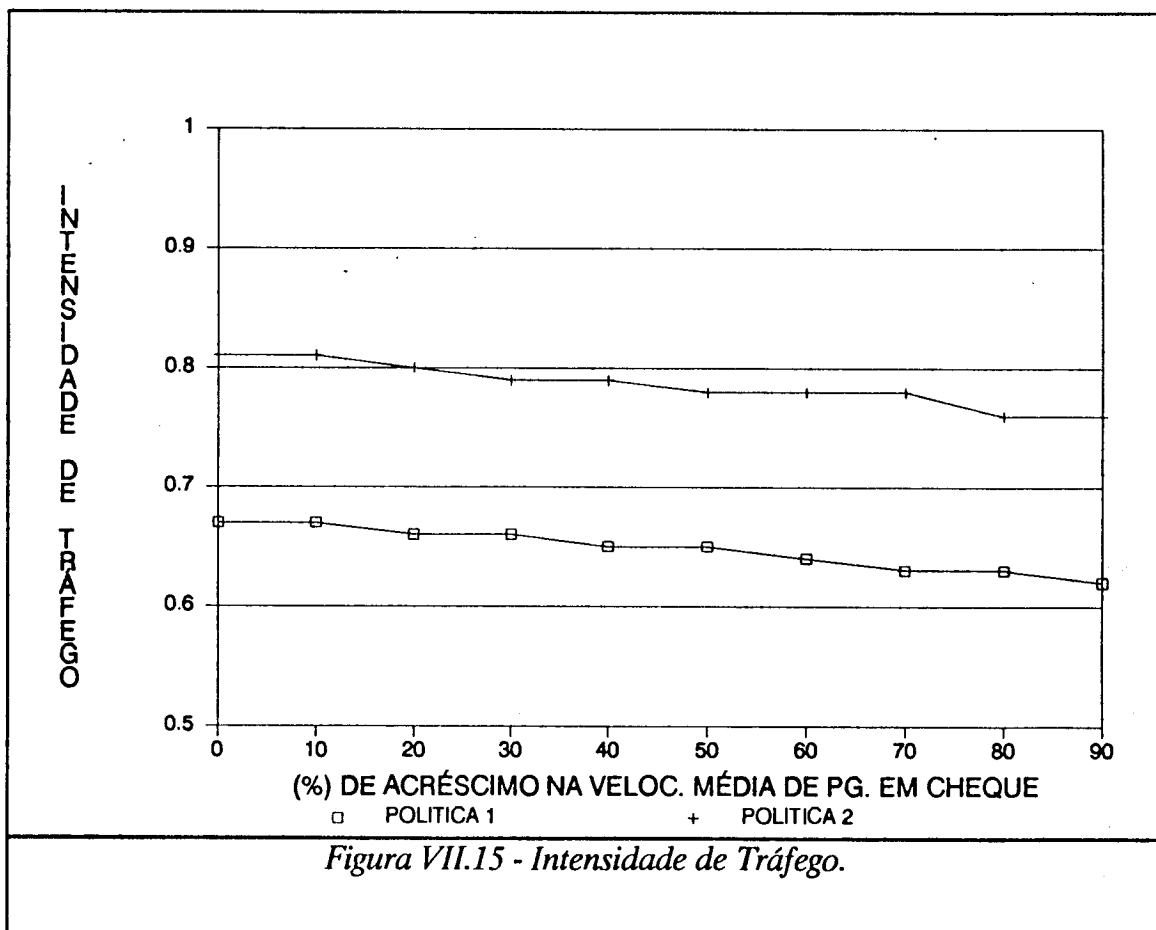


Figura VII.14 - Necessidade de Caixas.

As curvas dos índices que medem a intensidade de tráfego em ambas as políticas mostra um comportamento marginal semelhante, Figura VII.15, apesar de partirem de patamares distintos. Na POLÍTICA 1, a intensidade de tráfego com velocidade de pagamento em cheque normal tem um índice de 0,67 chegando a 0,45 quando esta velocidade é aumentada de 90%, o que significa que a capacidade de atendimento é de 2,2 vezes o intervalo médio entre chegadas. Na POLÍTICA 2, o índice, para velocidade normal, é de 0,80, passando para 0,76 quando a velocidade de pagamento em cheque é aumentada em 90%. O crescimento sensivelmente menor da intensidade de tráfego na POLÍTICA 2 deve ser atribuído, principalmente, à melhor utilização dos recursos na duplicação da taxa de chegada.



#### 4. Conclusões Genéricas a Respeito do Resultado das Aplicações

Da análise levada a efeito nos itens 2 e 3 deste capítulo cabe extrair algumas conclusões ou voltar a comentar conclusões já explicitadas anteriormente sobre tópicos que tendem a se sobressair:

Quanto à ociosidade operacional do sistema pode-se dizer que ela está estritamente ligada ao processo de chegada e à sistemática de funcionamento usual do sistema; para alterá-la significativamente é necessário modificar o processo de chegada. Caso o administrador consiga, por exemplo transferir uma parte da massa de clientes que tem o hábito de fazer suas compras no intervalo das 17 às 20 horas para o intervalo das 11 às 14 horas, a ociosidade cairá imediatamente e de forma muito significativa. Contudo, sabe-se que a modificação do hábito dos consumidores é uma tarefa muito complexa e de custos econômicos muito elevados, que tendem a inviabilizar as iniciativas neste setor. A ociosidade derivada das diversas técnicas de trabalho aplicadas no sistema,



via de regra, é suscetível de alteração pela mudança ou por reorganização dos procedimentos que compõem essas técnicas.

Quanto a avaliação da performance do sistema em função das duas variáveis analisadas, velocidade de digitação e velocidade de pagamento em cheque, considerados os aspectos ambientais que as cercam, pode-se dizer que as incursões de análise feitas sobre a velocidade de digitação se mostraram mais produtivas do que àquelas levadas a efeito sobre a velocidade de pagamento em cheque.

A tabela D.5 do Apêndice traz um resumo da distribuição das horas de caixa aberto consumidas para atender as demandas, respeitadas as políticas previamente estabelecidas. Com o aumento da velocidade de digitação, consegue-se reduções muito superiores de tempo do que com o aumento da velocidade de pagamento em cheque. Porém, há uma condição ambiental que age de forma decisiva na preferência da velocidade de digitação que é a participação reduzida da forma de pagamento em cheque no caso exemplo. Com o sistema operando em modo normal, a forma de pagamento em cheque, no caso, participa com 20% do total de clientes que ingressam no sistema, ou seja 20% dos clientes que ingressaram no sistema, na data da coleta, optaram pela forma de pagamento em cheque, o que é normal para aquele dia, uma terça feira comum, porém, não deve ser normal para dias de fim semana ou para dias especiais (feriados, vésperas de feriado etc.). Há também um fator técnico a ser ressaltado que é a dificuldade real de se obter reduções importantes na velocidade de digitação. Essa dificuldade reside no fato de que, no caso brasileiro, a utilização de scanners, tecnologia que permitiria obter reduções significativas, enfrenta dois principais obstáculos adversos: o primeiro, de ordem econômica, é o custo de implantação que inviabiliza a utilização de scanners em pequenas e médias empresas; o segundo, de ordem técnica, é a imperiosidade de sua utilização em forma mista por falta de codificação de barras em grande parte das mercadorias comercializadas, reduzindo a produtividade do "scanners".

O tempo de pagamento em cheque tem a seu favor, em termos de fonte de produtividade na redução dos tempos de espera dos clientes, a alta representatividade do tempo médio gasto. Aplicações feitas sobre a velocidade de pagamento em cheque em sistemas nos quais a participação dessa forma de pagamento seja mais representativa deverão produzir melhores efeitos em decorrência da representatividade individual do tempo consumido. Este capítulo

não contemplou outras aplicações do sistema pois seu objetivo é o demonstrar as possibilidades de utilização do sistema simulador sem se preocupar com a exaustão dos casos possíveis de análise. O tempo médio consumido por um cliente que paga em cheque é de 99,33 segundos, Tabela D.1 do Apêndice. Esse tempo é maior do que a soma do tempo médio gasto em digitação e do tempo médio gasto com pagamento em dinheiro, 56,13 e 17,55 segundos, respectivamente. Assim, fica explícito que todo o esforço aplicado no aumento da velocidade de pagamento em cheque redundará benéfico, salvaguardados aspectos relativos à necessidade e à economicidade do esforço. Há uma relação direta entre a quantidade do tempo médio objeto de análise e a produtividade do resultado da análise.

Para encerrar este capítulo que tratou da análise de duas aplicações do sistema simulador, cabe ressaltar que todo o esforço tecnológico aplicado à melhoria do desempenho de um sistema presume a existência de restrições operacionais que justifiquem o esforço. Nos demais casos as inovações são atribuíveis a interesses mercadológicos ou à moda.

O capítulo seguinte trata das conclusões extraídas de todo o processo de confecção da pesquisa, descrevendo as principais inferências de cada fase do trabalho.

## CAPÍTULO - VIII

# CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Da idéia inicial desta pesquisa, em novembro de 1987, passando pela proposta de dissertação, em julho de 1988, até hoje decorreram aproximadamente 30 meses. É bem verdade que o tempo de atividade disponível foi compartilhado por atividades de desenvolvimento da pesquisa, por atividades de caráter particular e por atividades profissionais. Durante a fase de obtenção dos créditos, as atividades profissionais foram desenvolvidas utilizando 1/2 turno de trabalho. O desenvolvimento da pesquisa consumiu 2/5 do tempo total disponível, de forma não-contínua; os restantes 3/5 foram repartidos entre o convívio familiar e as atividades profissionais.

A escolha do tema da pesquisa decorreu do interesse do pesquisador e do desejo esboçado pelo grupo privado de pesquisa da empresa Supermercados Real SA em produzir uma ferramenta que auxiliasse na solução de algumas questões relativas à operacionalidade dos sistemas de caixas de suas lojas de supermercado. A integração entre a pesquisa e a entidade pesquisada esteve aquém do nível desejado em decorrência da mudança de prioridades do grupo de pesquisa em virtude da dilatação dos prazos inicialmente previstos para conclusão da pesquisa. Os prazos inicialmente estabelecidos para a execução da pesquisa foram fixados com base numa expectativa subjetiva errônea, decorrente da falta de experiência do pesquisador na mensuração de conjuntos de atividades inerentes a projetos de desenvolvimento de tal natureza. Os prazos fixados se mostraram extremamente curtos para o alcance da amplitude e qualidade desejada para os resultados da pesquisa.

A atividade que mais surpreendeu em termos de absorção de tempo foi a atividade de adequação das curvas de probabilidade de cada parâmetro. A surpresa decorreu da reversão da expectativa inicial de que haveria, pelo menos, uma função clássica que explicasse o comportamento de cada variável de interesse. Além da frustração da expectativa inicial, para dificultar ainda mais o quadro, a maioria dos parâmetros exigiu a coexistência de duas ou três técnicas de ajuste. O segundo lugar, em consumo de tempo, coube à atividade de desenvolvimento do sistema, incluindo-se nesta atividade a análise e a programação das rotinas. Aqui, a maior parte do tempo dispendido deve-se ao aprendizado da linguagem utilizada na programação e à limpeza dos erros das rotinas. Em terceiro lugar, ficaram as atividades de confecção de relatórios e documentos para estudos. A empresa pesquisada recebeu dois relatórios intermediários da pesquisa contendo uma descrição detalhada das etapas executadas. Foram

redigidos, também, documentos para apresentação em congressos (AMPAD/88, ENEGEP/89) e um documento para estudos (AGOSTINI e BECKER, 89).

Foi importante a participação em eventos e divulgação de relatórios, pois levou à crítica da comunidade científica os principais passos do projeto, permitindo a formação do convencimento sobre a consistência teórica do trabalho até então executado.

Os dados coletados tanto pelo sistema da empresa quanto por técnica manual mostraram-se de boa qualidade e de fácil manuseio, apesar da quantidade de registros. Seria aconselhável que as novas pesquisas diminuíssem ao mínimo a interferência humana na coleta, principalmente quando implicar atividades de marcação de tempo. Além da redução da interferência humana na coleta, é importante que se possa distinguir claramente as formas de pagamento utilizadas, principalmente quando elas demandarem procedimentos distintos de execução, e o tempo gasto pelo operadores dos caixas em limpeza e manutenção de cada terminal. É muito importante saber o tempo que os clientes esperam em função de atividades de limpeza e manutenção dos caixas e incorporar ao sistema simulador este conhecimento. Por último, no que concerne à coleta, seria desejável, como já foi dito várias vezes nos capítulos anteriores, registrar o momento exato da chegada de cada cliente no sistema de caixas. Para tanto, sugere-se a utilização de gravação de fitas de videotape com exposição do relógio do sistema real para se ter a marcação exata do momento da ocorrência de cada evento. A aplicação deste recurso poderá auxiliar na solução de diversas dificuldades de menor representatividade que surgem no decorrer do condicionamento dos dados.

Os dados foram condicionados, inicialmente, utilizando-se a técnica de ajustamento a funções matemáticas clássicas. Esta técnica de ajustamento foi implementada com auxílio de alguns pacotes de programas estatísticos tradicionais. O resultado da experiência mostrou que, em todos os parâmetros, o ajustamento foi parcial, ou seja, a função representou corretamente só determinada fase do comportamento do parâmetro rejeitando as demais. Diante da deficiência da sistemática, posteriormente, o condicionamento passou a ser feito de forma totalmente empírica, abandonando por completo as funções matemáticas clássicas. Como resultado, obteve-se um ajustamento aceitável contudo inflexível, aonde o que se replicava era o dia da coleta e não um dia semelhante ao da coleta, que é o objetivo da pesquisa. A harmonia do sistema

de condicionamento surgiu com a integração das técnicas produzindo-se estruturas empíricas de distribuição de probabilidade nas fases em que a concentração das freqüências empíricas se mostraram significativas e representativas do comportamento e complementando o comportamento com funções modificadas das funções matemáticas clássicas. Como contribuição, aos que sucederem esta pesquisa ou dela se louvarem no desenvolvimento de seus projetos, sugerimos a análise exaustiva de um único parâmetro desconsiderando, a princípio, a existência dos demais. O parâmetro a ser escolhido para esta análise deve ser o que contém o maior número de características dos demais parâmetros e deve tender a ser o mais independente do sistema. As soluções encontradas na análise exaustiva do parâmetro eleito servirão de base para o ajustamento dos demais parâmetros. Este procedimento, além de ser tecnicamente melhor, permitirá a execução da tarefa de condicionamento e ajustamento dos parâmetros em espaço significativamente menor de tempo.

Do condicionamento e ajustamento passou-se à fase de confecção das rotinas de geração de cada parâmetro e avaliação da aderência das distribuições obtidas em comparação com as distribuições empíricas. A técnica aplicada inicialmente foi a de confeccionar todas as rotinas e iniciar a testagem das aderências de forma conjunta. A técnica foi ineficiente, pois a modificação de qualquer detalhe em uma rotina implicava a alteração do resultado em todos os parâmetros, gerando um número muito grande de possibilidades de erro. Diante do fracasso da primeira incursão, optou-se, posteriormente, pelo desenvolvimento das rotinas e testes seguindo a árvore de dependências do sistema. Cada parâmetro foi gerado e testado independentemente dos demais, iniciando-se a seqüência pelo processo de chegada, que é a variável independente do sistema. A geração e validação de um novo ramo da árvore exige a validação do ramo que o antecede para evitar a propagação de erros através das relações de dependência. A sugestão que se põe, no que tange à confecção das rotinas e na validação de seus resultados, é que se acompanhe estritamente a árvore de dependências, iniciando com a solução da variável independente e passando para novas variáveis somente na certeza de ter obtido a melhor solução possível para a variável em análise. Quando as rotinas de geração estiverem prontas e testadas individualmente, é necessário repetir os procedimentos de testagem com as rotinas funcionando em conjunto. Esta fase resultando ajustada, poder-se-á

passar às fases de processamento de clientes com seus parâmetros na frente de caixa.

O critério geralmente utilizado para processar os eventos tanto na parte de controle do fluxo quanto na parte de coleta de estatísticas é o da formação de uma cadeia de eventos onde todos eles são jogados à espera do tempo correto de processamento. No caso desta pesquisa, os eventos do cliente (hora de chegada, quantidade de itens adquirida, tempo de digitação dos itens adquiridos, forma de pagamento utilizada, tempo necessário para efetuar o pagamento na forma de pagamento escolhida) são ligados à entidade cliente antes que este ingresse na frente de caixas. Os eventos inerentes ao processamento das filas são, também, atribuídos à entidade cliente no momento da passagem pela frente de caixas. As estatísticas são obtidas buscando-se os atributos individuais de cada cliente no momento oportuno e são computadas em cada caixa individualmente e em um caixa geral teórico. Esta técnica permite interferir e controlar particularmente cada cliente e de cada caixa. As entidades cliente e caixa foram estruturadas na forma de ponteiros e colocadas em cadeias de dupla ligação. Cada estrutura de caixa contém identificadores que retêm o endereçamento do primeiro e último cliente da fila. Desta forma, a estrutura da frente de caixa fica completamente amarrada por cadeias dinâmicas de dupla ligação permitindo o deslocamento para todos os pontos e a utilização racional da memória disponível. No que concerne ao processamento das informações, a contribuição que pode ser dada é o reforço ao que já vem se estabelecendo como técnica de processamento, no desenvolvimento de sistemas de simulação, que é a utilização de linguagens computacionais que permitam a utilização de variáveis dinâmicas, como é o caso dos ponteiros. Quanto à técnica de evitar a cadeia única de eventos amarrando os eventos correspondentes a cada cliente à entidade cliente, no caso de um sistema de caixas, ela se mostrou bastante eficiente e flexível, não se registrando qualquer dificuldade operativa. Sugere-se, aqui, aos que se interessarem pela técnica, uma análise comparativa das duas sistemáticas de tratamento das informações.

A decisão sobre o tipo de linguagem que deve ser utilizada na confecção de um sistema de simulação traça uma linha divisória entre as possibilidades computacionais e a flexibilidade dos resultados que influenciará todo o encaminhamento do projeto. Na decisão a favor da utilização de uma linguagem de uso geral, o Turbo Pascal 5.0, pesaram a experiência obtida na

freqüência especial a uma disciplina de GPSS do Departamento de Processamento de Dados da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, a revisão bibliográfica descrita nos capítulos iniciais e a experiência com o desenvolvimento de outros sistemas em linguagens de uso geral. Após ter tomado a decisão e sentido os resultados desta decisão durante a confecção e validação do sistema, pode-se relatar que a decisão foi muito feliz. A gama de possibilidades computacionais a nível de programação e de produção de resultados oferecidas pela linguagem de uso geral escolhida foi excelente, ficando somente limitado à capacidade pessoal de análise e de programação. A sugestão é de que, sempre que possível, se utilizem linguagens de uso geral na elaboração de trabalhos em simulação. Esta atitude além de proporcionar uma liberdade maior de ação, obriga conhecimento íntimo de cada detalhe do trabalho de pesquisa, o mesmo não ocorrendo na utilização de pacotes especializados de software, principalmente os que, alegando proteção de direitos autorais, omitem propositadamente, nos manuais de operação e nas consultas diretas, o funcionamento de rotinas vitais ao esclarecimento científico.

O objetivo principal, ver página 31, foi alcançado com êxito. Quanto aos objetivos secundários (Capítulo V - página 35) apesar de não terem sido testados especificamente, as duas aplicações do Capítulo VI demonstram sua exeqüibilidade, dependendo exclusivamente dos interesses dos administradores de sistemas de caixas. Os limites de aplicação do sistema simulador são dados pelo seu próprio escopo e pelas limitações na criatividade do usuário.

A continuidade deste projeto sugere a ampliação do âmbito do sistema simulador, estendendo o processo de simulação à chegada do cliente no estacionamento do supermercado, avaliando aspectos relativos à capacidade de estacionamento das lojas, à distribuição dos pontos de ingresso dos clientes no recinto da loja, à necessidade de carros para o transporte das mercadorias, ao comportamento dos clientes no passeio de compras até seu ingresso na frente de caixas, ponto onde esta pesquisa inicia sua análise. Do momento final da operação de pagamento, ponto de encerramento da análise efetuada por esta pesquisa, cabe, também, estender a análise até à saída do estacionamento, completando o ciclo no que tange ao atendimento do cliente, avaliando aspectos, tais como: velocidade de empacotamento, necessidade de carros para transporte das mercadorias até o estacionamento e transferência para o veículo do cliente.



De modo geral, a pesquisa foi bem sucedida, proporcionando uma ferramenta valiosa para os profissionais da administração de sistemas de caixas de supermercado e por similaridade aos administradores dos demais sistemas de caixa.

O trabalho de pesquisa foi extenuante, demandando forças nem sempre disponíveis que tiveram que ser buscadas no mais profundo desejo de participar da construção das bases científicas de nossa sociedade. A ampliação dos horizontes pessoais do conhecimento, a satisfação de, eventualmente, poder contribuir com a formação do semelhante e a alegria de ver cumprida uma etapa importante da própria existência são elementos incentivadores da participação do indivíduo no seu próprio processo de formação.

## **APÊNDICES**

**A. Demonstrativos das Matrizes de Entrada de Dados**

**A.1. Taxas Pontuais de Chegada**

<b>TAXAS PONTUAIS</b>					
<i>(Clientes por Minuto.)</i>					
<b>HORA</b>	<b>TAXA</b>	<b>HORA</b>	<b>TAXA</b>	<b>HORA</b>	<b>TAXA</b>
7.953	0.700	12.625	3.730	17.625	7.330
7.976	1.420	12.875	3.930	17.875	7.600
8.125	1.670	13.125	2.800	18.125	8.670
8.375	1.600	13.375	3.330	18.375	7.930
8.625	2.000	13.625	3.600	18.625	7.800
8.875	1.670	13.875	3.200	18.875	6.730
9.125	2.800	14.125	3.600	19.125	6.730
9.375	3.330	14.375	3.530	19.375	5.800
9.625	3.270	14.625	4.130	19.625	5.670
9.875	4.200	14.875	4.530	19.875	5.270
10.125	3.800	15.125	4.200	20.125	4.200
10.375	5.130	15.375	5.070	20.375	5.600
10.625	4.670	15.625	4.200	20.625	4.070
10.875	4.470	15.875	5.470	20.875	2.730
11.125	5.330	16.125	7.930	21.125	4.130
11.375	4.530	16.375	7.130	21.375	2.330
11.625	4.730	16.625	7.870	21.625	2.270
11.875	4.270	16.875	9.130	21.875	2.730
12.125	4.730	17.125	8.200	21.955	2.600
12.375	3.200	17.375	9.000	22.040	0.800
...	...	...	...	22.220	0.010

A.2. *Distribuição de Probabilidades da Quantidade de Itens*

**DISTRIBUIÇÃO RELATIVA ACUMULADA DE PROBABILIDADE PARA  
NÚMERO DE ITENS POR FAIXA HORÁRIA.**

H/I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
07	0.4000	0.4000	0.4000	0.8000	0.8000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
08	0.2404	0.5288	0.6058	0.7019	0.7500	0.7788	0.8077	0.8077	0.8365	0.8558	0.8654	0.8846	0.8942	0.9038	0.9135
09	0.2598	0.4118	0.4804	0.5637	0.6029	0.6765	0.7353	0.7843	0.8284	0.8480	0.8529	0.8676	0.8922	0.9020	0.9069
10	0.2407	0.3704	0.4481	0.5296	0.6037	0.6815	0.7259	0.7519	0.7815	0.8000	0.8370	0.8519	0.8815	0.9000	0.9037
11	0.2120	0.3675	0.4876	0.5866	0.6890	0.7491	0.7951	0.8233	0.8445	0.8693	0.8905	0.8940	0.9046	0.9117	0.9293
12	0.2661	0.4120	0.5150	0.6223	0.6824	0.7382	0.8026	0.8155	0.8240	0.8283	0.8541	0.8712	0.8884	0.8970	0.8970
13	0.2923	0.4256	0.5590	0.6513	0.7436	0.7846	0.8359	0.8513	0.8872	0.9077	0.9179	0.9333	0.9487	0.9487	0.9744
14	0.2699	0.3805	0.4823	0.5929	0.6681	0.7212	0.7743	0.8186	0.8496	0.8805	0.8850	0.9159	0.9292	0.9336	0.9469
15	0.2337	0.4330	0.5430	0.6117	0.6735	0.7285	0.7629	0.7904	0.8110	0.8454	0.8591	0.8694	0.8866	0.8935	0.9003
16	0.2194	0.3613	0.4774	0.5742	0.6624	0.7075	0.7484	0.7957	0.8258	0.8538	0.8688	0.8774	0.9118	0.9226	0.9333
17	0.1988	0.3293	0.4498	0.5382	0.6225	0.6888	0.7229	0.7631	0.8052	0.8394	0.8655	0.8775	0.8976	0.9157	0.9197
18	0.1767	0.2931	0.3966	0.5000	0.6078	0.6681	0.7134	0.7500	0.7823	0.8168	0.8448	0.8685	0.8815	0.9009	0.9159
19	0.1882	0.3146	0.4242	0.4916	0.5618	0.6264	0.6854	0.7303	0.7556	0.7893	0.8090	0.8287	0.8567	0.8652	0.8764
20	0.1858	0.2925	0.4190	0.5020	0.5534	0.6285	0.6798	0.7233	0.7628	0.7747	0.7984	0.8300	0.8538	0.8656	0.8814
21	0.2398	0.3977	0.5731	0.6667	0.7135	0.7368	0.7778	0.8129	0.8421	0.8655	0.8830	0.8889	0.9181	0.9181	0.9240
22	0.1000	0.3000	0.4000	0.5000	0.7000	0.7000	0.7000	0.7000	0.7000	0.8000	0.8000	0.8000	0.8000	0.8000	0.8000
ex	0.1414	0.2323	0.2727	0.3636	0.4545	0.4949	0.5455	0.6061	0.6566	0.7071	0.7172	0.7172	0.7273	0.7576	0.7879

H/I	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
07	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
08	0.9135	0.9231	0.9231	0.9615	0.9615	0.9712	0.9712	0.9712	0.9808	0.9808	0.9808	0.9808	0.9904	0.9904	0.9904
09	0.9118	0.9265	0.9265	0.9265	0.9314	0.9363	0.9363	0.9412	0.9461	0.9559	0.9559	0.9559	0.9608	0.9608	0.9608
10	0.9259	0.9296	0.9370	0.9444	0.9519	0.9519	0.9519	0.9519	0.9519	0.9556	0.9630	0.9630	0.9630	0.9630	0.9667
11	0.9364	0.9364	0.9435	0.9505	0.9541	0.9611	0.9647	0.9647	0.9682	0.9753	0.9753	0.9753	0.9753	0.9753	0.9788
12	0.8970	0.9056	0.9270	0.9399	0.9399	0.9399	0.9399	0.9442	0.9442	0.9442	0.9485	0.9485	0.9614	0.9614	0.9614
13	0.9744	0.9795	0.9846	0.9846	0.9897	0.9897	0.9897	0.9897	0.9897	0.9897	0.9897	0.9897	0.9897	0.9897	0.9897
14	0.9513	0.9602	0.9646	0.9646	0.9690	0.9690	0.9779	0.9779	0.9823	0.9823	0.9867	0.9912	0.9912	0.9912	0.9912
15	0.9210	0.9210	0.9278	0.9347	0.9416	0.9416	0.9450	0.9450	0.9485	0.9553	0.9553	0.9553	0.9588	0.9691	0.9725
16	0.9398	0.9419	0.9462	0.9527	0.9613	0.9656	0.9699	0.9699	0.9699	0.9720	0.9720	0.9720	0.9720	0.9720	0.9763
17	0.9257	0.9317	0.9357	0.9438	0.9498	0.9558	0.9578	0.9598	0.9679	0.9719	0.9739	0.9779	0.9799	0.9799	0.9859
18	0.9289	0.9353	0.9397	0.9461	0.9547	0.9569	0.9591	0.9634	0.9655	0.9655	0.9698	0.9741	0.9763	0.9784	0.9828
19	0.8904	0.9073	0.9129	0.9213	0.9326	0.9354	0.9466	0.9522	0.9522	0.9579	0.9579	0.9607	0.9607	0.9635	0.9635
20	0.8933	0.9012	0.9051	0.9130	0.9209	0.9209	0.9209	0.9249	0.9289	0.9368	0.9368	0.9447	0.9447	0.9447	0.9486
21	0.9298	0.9415	0.9415	0.9415	0.9415	0.9415	0.9474	0.9474	0.9591	0.9649	0.9766	0.9766	0.9942	0.9942	0.9942
22	0.8000	0.9000	0.9000	0.9000	0.9000	0.9000	0.9000	0.9000	0.9000	0.9000	0.9000	0.9000	0.9000	0.9000	0.9000
ex	0.8485	0.8788	0.8990	0.8990	0.8990	0.9091	0.9091	0.9192	0.9192	0.9293	0.9293	0.9495	0.9596	0.9798	0.9798

Obs: A linha "ex" é o complemento estacionário distribuição de probabilidade para a ocorrência em categorias acima de 30 até 90 itens, tomados aos pares. A coluna do 1 corresponde a probabilidade das quantidades 31 e 32 somadas, a coluna 2 corresponde as probabilidades de 33 e 34 somadas, etc.

A.3. *Distribuição de Probabilidades da Velocidade Média de Digitação*

**DISTRIBUIÇÃO RELATIVA ACUMULADA DE PROBABILIDADE PARA O TEMPO MÉDIO DE DIGITAÇÃO**

I/s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
01	0,0000	0,0000	0,0011	0,3666	0,5830	0,6592	0,7074	0,7455	0,7679	0,7926	0,8117	0,8240	0,8397	0,8531	0,8666
02	0,0000	0,0000	0,1652	0,3954	0,5167	0,5958	0,6555	0,7100	0,7522	0,7698	0,7926	0,8172	0,8348	0,8436	0,8612
03	0,0000	0,0112	0,1211	0,3072	0,4574	0,5695	0,6659	0,7130	0,7466	0,7758	0,8004	0,8274	0,8520	0,8700	0,8834
04	0,0000	0,0027	0,0792	0,2459	0,4372	0,5574	0,6366	0,7186	0,7814	0,8033	0,8251	0,8525	0,8743	0,9016	0,9071
05	0,0000	0,0000	0,0613	0,2613	0,4194	0,5323	0,6258	0,6935	0,7419	0,7710	0,7935	0,8161	0,8419	0,8581	0,8742
06	0,0000	0,0000	0,0342	0,2137	0,4274	0,5598	0,6239	0,7009	0,7735	0,7949	0,8205	0,8376	0,8462	0,8632	0,8803
07	0,0000	0,0000	0,0270	0,1568	0,3622	0,5189	0,6108	0,6703	0,7351	0,7946	0,8270	0,8378	0,8649	0,8811	0,9081
08	0,0000	0,0000	0,0071	0,0993	0,2908	0,4539	0,5674	0,6596	0,7163	0,7447	0,7801	0,8085	0,8369	0,8440	0,8865
09	0,0000	0,0000	0,0246	0,1393	0,2623	0,4426	0,5656	0,6475	0,7131	0,7623	0,7787	0,8197	0,8607	0,8934	0,9098
10	0,0000	0,0000	0,0094	0,0943	0,2642	0,3774	0,5000	0,6038	0,6415	0,7075	0,7736	0,7830	0,8302	0,8585	0,8774
11	0,0000	0,0000	0,0000	0,1250	0,2500	0,5000	0,6375	0,6875	0,7250	0,7750	0,8000	0,8250	0,8625	0,8750	0,8875
12	0,0000	0,0000	0,0313	0,1250	0,2188	0,4219	0,4844	0,5625	0,6719	0,7188	0,7500	0,8125	0,8281	0,8438	0,8906
13	0,0000	0,0000	0,0235	0,0706	0,2118	0,4118	0,5059	0,6235	0,7059	0,7765	0,8118	0,8353	0,8824	0,8941	0,9412
14	0,0000	0,0000	0,0227	0,0682	0,2500	0,4773	0,5909	0,6136	0,7273	0,7955	0,8409	0,8636	0,9318	0,9318	0,9318
15	0,0000	0,0000	0,0000	0,0732	0,1707	0,3415	0,3902	0,5122	0,5854	0,6829	0,8293	0,9024	0,9756	0,9756	1,0000
16	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0811	0,2703	0,4324	0,5946	0,6757	0,8378	0,8649	0,9459	0,9459	0,9459	0,9459
17	0,0000	0,0000	0,0000	0,0357	0,1429	0,2143	0,3929	0,6429	0,7857	0,9286	0,9643	0,9643	0,9643	0,9643	0,9643
18	0,0000	0,0000	0,0455	0,0455	0,1818	0,3182	0,5000	0,5455	0,8182	0,9091	0,9091	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
19	0,0000	0,0000	0,0000	0,0357	0,1786	0,3214	0,5714	0,7143	0,8214	0,8571	0,8571	0,8571	0,8571	0,8929	0,8929
ac	0,0000	0,0000	0,0000	0,0219	0,1360	0,2763	0,4737	0,6228	0,7325	0,8202	0,8904	0,9474	0,9737	0,9781	0,9912
ex	0,1504	0,2389	0,3363	0,3982	0,4690	0,5133	0,5752	0,6195	0,6637	0,6814	0,7168	0,7611	0,7699	0,7699	0,7876

I/s	6	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
01	0,8744	0,8823	0,8868	0,8924	0,9013	0,9070	0,9170	0,9226	0,9271	0,9327	0,9383	0,9383	0,9383	0,9439	0,9462
02	0,8787	0,8840	0,8963	0,9069	0,9139	0,9192	0,9227	0,9279	0,9332	0,9367	0,9420	0,9455	0,9455	0,9525	0,9561
03	0,8946	0,9058	0,9193	0,9283	0,9350	0,9439	0,9462	0,9507	0,9529	0,9619	0,9686	0,9686	0,9709	0,9709	0,9709
04	0,9235	0,9290	0,9344	0,9372	0,9454	0,9481	0,9563	0,9617	0,9645	0,9645	0,9672	0,9672	0,9699	0,9699	0,9699
05	0,8935	0,8968	0,9065	0,9194	0,9323	0,9484	0,9548	0,9581	0,9581	0,9710	0,9710	0,9774	0,9806	0,9806	0,9806
06	0,9017	0,9103	0,9231	0,9274	0,9359	0,9487	0,9487	0,9658	0,9658	0,9701	0,9744	0,9744	0,9744	0,9744	0,9786
07	0,9243	0,9568	0,9622	0,9622	0,9622	0,9622	0,9622	0,9676	0,9676	0,9730	0,9730	0,9784	0,9784	0,9784	0,9838
08	0,9007	0,9291	0,9504	0,9645	0,9645	0,9716	0,9716	0,9716	0,9787	0,9858	0,9858	0,9858	0,9858	0,9858	1,0000
09	0,9344	0,9344	0,9426	0,9590	0,9672	0,9672	0,9672	0,9754	0,9754	0,9754	0,9754	0,9836	0,9918	0,9918	0,9918
10	0,8962	0,9245	0,9340	0,9340	0,9434	0,9528	0,9528	0,9623	0,9717	0,9717	0,9811	0,9906	0,9906	0,9906	1,0000
11	0,9000	0,9000	0,9250	0,9375	0,9625	0,9750	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
12	0,9219	0,9219	0,9375	0,9375	0,9688	0,9688	0,9844	0,9844	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
13	0,9647	0,9882	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
14	0,9545	0,9545	0,9773	0,9773	0,9773	0,9773	0,9773	0,9773	0,9773	0,9773	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
15	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
16	0,9459	0,9459	0,9730	0,9730	0,9730	0,9730	0,9730	0,9730	0,9730	0,9730	0,9730	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
17	0,9643	0,9643	0,9643	0,9643	0,9643	0,9643	0,9643	0,9643	0,9643	0,9643	0,9643	0,9643	0,9643	0,9643	0,9643
18	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
19	0,9286	0,9286	0,9286	0,9286	0,9643	0,9643	0,9643	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
ac	0,9956	0,9956	0,9956	0,9956	0,9956	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
ex	0,7965	0,8142	0,8319	0,8407	0,8496	0,8496	0,8673	0,8673	0,8761	0,9027	0,9027	0,9204	0,9204	0,9204	0,9292

Obs 1 : A linha "ac" representa a distribuição de probabilidade para quantidade de itens acima de 19 itens.

Obs 2 : A linha "ex" é o complemento da distribuição de probabilidade para a ocorrência em categorias acima de 30 até 90 segundos, tomados aos pares. A coluna do 1 corresponde a probabilidade das quantidades 31 e 32 somadas, a coluna 2 corresponde as probabilidades de 33 e 34 somadas, etc.

A.4. *Distribuição Proporcional da Forma de Pagamento*

**PROPORÇÃO DE PAGAMENTO EM DINHEIRO NA  
FORMA DE PAGAMENTO**

<i>(Por qtde de itens na faixa horária)</i>						<i>(Por qtde de itens)</i>	
H/I	1	2	3	4	5	:MULT.	IT. PROBAB
08	0.926	1.000	0.875	0.917	1.000	: 1.001	06 0.7521367521
09	0.981	0.903	1.000	0.824	0.875	: 1.293	07 0.7351351351
10	1.000	0.943	0.905	1.000	0.900	: 1.105	08 0.6453900709
11	0.967	0.955	0.882	0.714	0.793	: 0.941	09 0.6557377049
12	0.903	0.853	0.833	0.920	0.643	: 1.050	10 0.6603773585
13	1.000	0.962	0.923	0.889	0.722	: 0.946	11 0.5750000000
14	0.918	0.880	0.957	0.960	0.941	: 1.149	12 0.5156250000
15	1.000	0.931	0.875	1.000	0.833	: 1.049	13 0.5058823529
16	0.980	0.985	0.926	0.933	0.878	: 1.151	14 0.4318181818
17	0.960	0.969	0.817	0.841	0.833	: 1.024	15 0.4390243902
18	0.976	0.981	0.896	0.813	0.760	: 0.900	16 0.4864864865
19	0.970	0.956	0.923	0.708	0.800	: 0.834	
20	0.957	0.963	0.938	0.762	0.769	: 0.822	
21	0.951	0.815	0.933	0.750	0.750	: 0.793	
22	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	: 0.563	

A.5. *Distribuição de Probabilidades da Velocidade de Pagamento em Dinheiro*

**DISTRIBUIÇÃO RELATIVA ACUMULADA DE PROBABILIDADE PARA TEMPO DE PAGAMENTO EM DINHEIRO**

H/s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
08	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0957	0,3404	0,4255	0,4362	0,5000	0,5319	0,5425	0,5532	0,5745	0,6064	0,6383
09	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1808	0,3503	0,4294	0,4746	0,5311	0,5480	0,5593	0,5650	0,5706	0,5876	0,5989
10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1498	0,2996	0,3789	0,4493	0,4802	0,4890	0,5154	0,5330	0,5595	0,5859	0,6079
11	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1486	0,2973	0,3739	0,3964	0,4279	0,4820	0,5045	0,5405	0,5676	0,5856	0,6081
12	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1202	0,2787	0,3661	0,4262	0,4918	0,5246	0,5519	0,5792	0,5956	0,6120	0,6284
13	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1656	0,3129	0,3865	0,4233	0,4601	0,5215	0,5460	0,5644	0,5767	0,6074	0,6319
14	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1414	0,3665	0,4450	0,5183	0,5602	0,6178	0,6440	0,6702	0,7068	0,7435	0,7644
15	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1189	0,2705	0,3770	0,4344	0,4959	0,5451	0,5533	0,5697	0,6066	0,6270	0,6475
16	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1475	0,3525	0,4275	0,5025	0,5525	0,5800	0,6175	0,6425	0,6775	0,6975	0,7250
17	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1196	0,2697	0,3613	0,4198	0,4733	0,5191	0,5445	0,5776	0,6005	0,6132	0,6310
18	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0914	0,2143	0,2829	0,3429	0,3857	0,4171	0,4714	0,5029	0,5314	0,5371	0,5600
19	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1008	0,2829	0,3605	0,4341	0,4767	0,5155	0,5349	0,5736	0,6008	0,6124	0,6240
20	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1044	0,2582	0,3352	0,3516	0,3846	0,4341	0,4451	0,4615	0,5055	0,5330	0,5549
21	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2231	0,4308	0,5154	0,5923	0,6385	0,6615	0,6846	0,7000	0,7231	0,7346	0,7462
22	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1250	0,3750	0,3824	0,3897	0,3971	0,4044	0,4118	0,4191	0,4265	0,4338	0,4412
ex	0,1341	0,2347	0,3353	0,3964	0,4536	0,5049	0,5759	0,6272	0,6548	0,6923	0,7179	0,7337	0,7554	0,7771	0,7988

H/s	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
08	0,6489	0,6702	0,6915	0,7021	0,7128	0,7340	0,7447	0,7553	0,7660	0,7766	0,8085	0,8298	0,8404	0,8511	0,8617
09	0,6158	0,6497	0,6554	0,6667	0,6836	0,6949	0,7062	0,7288	0,7401	0,7514	0,7627	0,7656	0,7684	0,7797	0,7966
10	0,6300	0,6432	0,6520	0,6608	0,6784	0,6960	0,7181	0,7357	0,7489	0,7511	0,7533	0,7753	0,7841	0,7885	0,8018
11	0,6171	0,6486	0,6667	0,6802	0,7027	0,7252	0,7297	0,7387	0,7477	0,7568	0,7703	0,7793	0,7883	0,8018	0,8108
12	0,6393	0,6503	0,6831	0,6885	0,7213	0,7322	0,7650	0,7760	0,7869	0,8087	0,8142	0,8197	0,8361	0,8415	0,8525
13	0,6503	0,6748	0,6810	0,6994	0,7117	0,7301	0,7546	0,7607	0,7730	0,7853	0,7976	0,8098	0,8160	0,8466	0,8650
14	0,7696	0,7906	0,8010	0,8063	0,8272	0,8325	0,8377	0,8482	0,8534	0,8586	0,8691	0,8770	0,8848	0,8953	0,9005
15	0,6639	0,6762	0,6926	0,7008	0,7131	0,7418	0,7500	0,7664	0,7787	0,7890	0,7992	0,8074	0,8156	0,8238	0,8484
16	0,7375	0,7600	0,7700	0,7825	0,7950	0,8075	0,8200	0,8275	0,8400	0,8450	0,8575	0,8675	0,8875	0,9075	0,9100
17	0,6539	0,6768	0,6845	0,7074	0,7176	0,7328	0,7455	0,7659	0,7735	0,7888	0,8066	0,8219	0,8270	0,8473	0,8524
18	0,5771	0,6000	0,6143	0,6286	0,6400	0,6514	0,6686	0,6829	0,6914	0,7029	0,7257	0,7457	0,7571	0,7714	0,7800
19	0,6357	0,6473	0,6783	0,6899	0,7093	0,7287	0,7364	0,7519	0,7558	0,7674	0,7791	0,7907	0,8023	0,8062	0,8178
20	0,5769	0,5934	0,6099	0,6154	0,6374	0,6538	0,6648	0,6868	0,6950	0,7033	0,7253	0,7363	0,7527	0,7582	0,7692
21	0,7615	0,7769	0,8000	0,8154	0,8308	0,8538	0,8769	0,8923	0,9077	0,9231	0,9385	0,9462	0,9538	0,9615	0,9692
22	0,4485	0,4559	0,4632	0,4706	0,4779	0,4853	0,4926	0,5000	0,6250	0,6458	0,6667	0,6875	0,7083	0,7292	0,7500
ex	0,8146	0,8323	0,8462	0,8580	0,8698	0,8856	0,8935	0,9034	0,9073	0,9112	0,9152	0,9191	0,9231	0,9290	0,9310

Obs: A linha "ex" é o complemento estacionário distribuição de probabilidade para a ocorrência em categorias acima de 30 até 90 segundos, tomados aos pares. A coluna do 1 corresponde a probabilidade das quantidades 31 e 32 somadas, a coluna 2 corresponde as probabilidades de 33 e 34 somadas, etc.

A.6. *Distribuição de Probabilidade da Velocidade de Pagamento em Cheque*

**DISTRIBUIÇÃO RELATIVA ACUMULADA DE PROBABILIDADE PARA TEMPO DE PAGAMENTO EM CHEQUE POR FAIXA HORÁRIA.**

H/s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
08	0,0000	0,0667	0,2000	0,3333	0,4200	0,5100	0,6000	0,6667	0,6800	0,6933	0,7066	0,7199	0,7333	0,8000	0,8667
09	0,0000	0,0741	0,1111	0,1481	0,2222	0,2963	0,3333	0,4074	0,5185	0,5556	0,5926	0,6667	0,7407	0,7778	0,8148
10	0,0000	0,0000	0,0233	0,1395	0,1628	0,1860	0,2558	0,3721	0,4651	0,5349	0,6512	0,6744	0,6977	0,7209	0,7442
11	0,0000	0,0328	0,1475	0,1803	0,2295	0,3279	0,3934	0,4918	0,5902	0,6721	0,7377	0,8197	0,8525	0,8689	0,9180
12	0,0000	0,0600	0,1600	0,2200	0,2800	0,3200	0,4600	0,5600	0,6000	0,6200	0,7800	0,8400	0,8600	0,8700	0,8800
13	0,0000	0,0000	0,0625	0,1250	0,1875	0,2500	0,3750	0,4063	0,5000	0,5625	0,6875	0,7500	0,7813	0,8438	0,9063
14	0,0000	0,0571	0,1714	0,2571	0,2857	0,3714	0,4286	0,5143	0,6286	0,6571	0,6857	0,7143	0,7714	0,8000	0,8143
15	0,0000	0,0426	0,1489	0,2128	0,2553	0,2660	0,2766	0,2979	0,4043	0,5319	0,5957	0,6596	0,7660	0,8085	0,8298
16	0,0000	0,0308	0,0615	0,1385	0,1692	0,2615	0,3077	0,4000	0,4923	0,5538	0,6154	0,6615	0,7231	0,7692	0,8462
17	0,0000	0,0095	0,0762	0,1143	0,1524	0,2190	0,3048	0,3714	0,5048	0,5714	0,6476	0,7048	0,7429	0,7905	0,8095
18	0,0000	0,0000	0,0526	0,0965	0,1053	0,1842	0,2456	0,3070	0,3772	0,4912	0,6053	0,7193	0,7807	0,8333	0,8860
19	0,0000	0,0204	0,0918	0,1224	0,1531	0,1735	0,3265	0,3878	0,4592	0,5714	0,6531	0,7041	0,7551	0,7959	0,8571
20	0,0000	0,0000	0,0423	0,0563	0,0986	0,1408	0,1549	0,2113	0,3239	0,4085	0,4789	0,6056	0,7183	0,7887	0,8169
21	0,0000	0,0488	0,0732	0,0976	0,1463	0,1707	0,2927	0,3415	0,3902	0,5366	0,6341	0,7073	0,7317	0,8537	0,8780
22	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,5000	0,5385	0,5769	0,6154	0,6538	0,6923	0,7308	0,7692
H/s	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
08	0,9333	0,9667	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
09	0,8519	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
10	0,7674	0,8140	0,8837	0,9535	0,9568	0,9601	0,9635	0,9668	0,9701	0,9734	0,9741	0,9747	0,9754	0,9760	0,9767
11	0,9508	0,9617	0,9727	0,9836	0,9836	0,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
12	0,9000	0,9400	0,9500	0,9600	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
13	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
14	0,8286	0,9143	0,9714	0,9771	0,9829	0,9886	0,9943	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
15	0,8511	0,9149	0,9255	0,9362	0,9468	0,9574	0,9681	0,9734	0,9787	0,9894	0,9947	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
16	0,8615	0,8769	0,9077	0,9231	0,9385	0,9462	0,9538	0,9692	0,9846	0,9923	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
17	0,8476	0,8857	0,9143	0,9238	0,9429	0,9524	0,9571	0,9619	0,9635	0,9651	0,9667	0,9683	0,9698	0,9706	0,9714
18	0,9298	0,9386	0,9561	0,9737	0,9912	0,9956	0,9978	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
19	0,8980	0,9184	0,9286	0,9592	0,9694	0,9796	0,9847	0,9898	0,9923	0,9949	0,9974	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
20	0,8310	0,8732	0,8803	0,8838	0,8873	0,9155	0,9296	0,9437	0,9577	0,9648	0,9683	0,9718	0,9789	0,9824	0,9859
21	0,8829	0,8878	0,8927	0,8976	0,9024	0,9146	0,9268	0,9512	0,9634	0,9654	0,9675	0,9695	0,9715	0,9736	0,9756
22	0,8077	0,8462	0,8846	0,9231	0,9615	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

Obs : Na escala de segundos cada unidade representa uma classe agregada de 10 segundos. A 1ª classe, representativa das velocidades de 0 a 9 segundos por item, não tem nenhuma probabilidade de ocorrência.



**B. Resumo do Comportamento da Frente de Caixas**

---

**COMPORTAMENTO DA FRENTE DE CAIXA**

*(Informações Extraídas do Banco de Dados)*

<b>INTERVALOS HORÁRIOS</b>	<b>SOMA DO TEMPO DE CAIXA ABERTO (SEGUNDOS)</b>	<b>NÚMERO MÉDIO DE CAIXAS ABERTOS NO INTERVALO</b>
08 h	30.900	8,58
09 h	44.100	12,25
10 h	54.000	15,00
11 h	39.600	11,00
12 h	33.300	9,25
13 h	39.600	11,00
14 h	36.000	10,00
15 h	53.100	14,75
16 h	63.900	17,75
17 h	66.600	18,50
18 h	77.400	21,50
19 h	67.800	19,00
20 h	63.000	17,50
21 h	30.300	7,88
22 h	3.300	2,75
<hr/>		
<b>TOTAIS</b>	<b>702.900</b>	<b>13,51</b>

---

C. Resultados do Simulador

C.1. *Teste no Processo de Chegada*

**NÚMERO DE CLIENTES QUE CHEGAM NO SISTEMA POR FAIXA HORÁRIA.**

H. EMP.	0001	0002	0003	0004	0005	0006	0007	0008	0009	0010	0011	0012	0013	0014	0015	:	t
08	0109	0101	0110	0101	0096	0131	0121	0104	0096	0107	0109	0106	0098	0109	0104	0088	: -1,3
09	0204	0192	0216	0200	0198	0208	0196	0202	0196	0192	0211	0190	0183	0198	0210	0193	: -2,1
10	0270	0289	0266	0275	0258	0279	0259	0268	0286	0295	0284	0297	0278	0267	0277	0297	: 2,4
11	0283	0262	0272	0242	0298	0283	0252	0288	0293	0254	0266	0284	0273	0289	0313	0283	: -1,2
12	0233	0246	0234	0248	0232	0206	0237	0225	0246	0222	0244	0223	0250	0259	0233	0211	: 0,3
13	0195	0208	0180	0216	0191	0213	0166	0175	0202	0212	0219	0201	0211	0181	0211	0202	: 0,9
14	0226	0239	0237	0273	0242	0234	0202	0219	0198	0235	0229	0241	0228	0235	0242	0228	: 1,3
15	0291	0288	0292	0279	0274	0265	0286	0310	0328	0306	0294	0283	0294	0306	0289	0282	: 0,1
16	0465	0471	0491	0477	0541	0491	0489	0482	0464	0473	0489	0466	0471	0507	0480	0488	: 4,0
17	0498	0465	0459	0491	0512	0504	0502	0484	0442	0432	0521	0498	0493	0483	0488	0489	: -2,1
18	0464	0462	0468	0454	0474	0468	0494	0432	0453	0487	0472	0455	0434	0470	0474	0447	: -0,2
19	0356	0369	0369	0356	0330	0364	0370	0331	0376	0374	0346	0357	0353	0384	0351	0363	: 0,8
20	0253	0278	0274	0228	0265	0258	0262	0226	0252	0248	0259	0256	0266	0251	0228	0273	: 0,4
21	0171	0162	0168	0174	0152	0174	0172	0181	0167	0186	0187	0162	0154	0162	0156	0174	: -0,8
22	0010	0007	0008	0006	0013	0006	0010	0013	0009	0011	0007	0003	0013	0004	0009	0004	: -2,0
T	4028	4039	4044	4020	4076	4084	4018	3940	4008	4034	4137	4022	3999	4105	4065	4022	: 1,0
K-S	0006	0006	0011	0010	-006	0021	-011	-011	0012	0004	-006	0007	-007	-015	0007		

Obs: O resultado do K-S está multiplicado por 1000.

C.2. *Testes na Quantidade de Itens*

**CLIENTES POR CATEGORIA DE ITEM**

I .	EMP	0001	0002	0003	0004	0005	0006	0007	0008	0009	0010	0011	0012	0013	0014	0015	: t
009	3265	3261	3272	3320	3288	3274	3247	3166	3265	3252	3358	3265	3223	3326	3291	3266	: 0,5
019	0535	0564	0549	0503	0562	0579	0521	0545	0529	0564	0557	0534	0543	0549	0552	0538	: 2,2
029	0118	0106	0115	0094	0115	0115	0119	0123	0116	0118	0111	0113	0135	0122	0108	0113	: -1,3
039	0051	0048	0049	0043	0050	0055	0058	0046	0052	0040	0052	0055	0052	0052	0049	0055	: -0,4
049	0027	0027	0030	0030	0023	0030	0032	0026	0021	0024	0033	0022	0021	0027	0026	0029	: -0,2
059	0009	0014	0008	0007	0012	0009	0010	0006	0004	0007	0006	0005	0008	0007	0012	0004	: -1,3
069	0013	0011	0014	0015	0018	0010	0019	0017	0013	0016	0008	0014	0012	0010	0014	0010	: 0,4
079	0002	0002	0002	0003	0003	0004	0005	0002	0003	0004	0001	0002	0002	0000	0003	0003	: 1,8
089	0006	0004	0002	0003	0004	0008	0006	0009	0005	0006	0008	0009	0002	0010	0005	0004	: -0,4
099	0001	0001	0000	0001	0001	0000	0000	0000	0000	0002	0000	0002	0000	0000	0001	0000	: -2,4
109	0001	0001	0001	0000	0000	0000	0001	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0001	0000	: -6,2
119	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0001	0000	0001	0000	: 1,4
129	0000	0000	0002	0001	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0001	0000	0000	0001	0000	0000	: 2,0
139	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0001	0000	0000	0000	0001	0000	: 1,4
149	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0001	0000	0001	0000	0000	: 1,4
159	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0001	0000	: 1,0
169	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	: 0,0
179	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0001	0000	0000	0000	0000	0000	0000	: 1,0
189	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	: 0,0
000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0001	0000	0000	0000	0000	0000	: 1,0
<b>T</b>	<b>4028</b>	<b>4039</b>	<b>4044</b>	<b>4020</b>	<b>4076</b>	<b>4084</b>	<b>4018</b>	<b>3940</b>	<b>4008</b>	<b>4034</b>	<b>4137</b>	<b>4022</b>	<b>3999</b>	<b>4105</b>	<b>4065</b>	<b>4022</b>	<b>: 1,0</b>
<b>K-S</b>	<b>-003</b>	<b>0001</b>	<b>-015</b>	<b>0003</b>	<b>0008</b>	<b>0005</b>	<b>0070</b>	<b>-004</b>	<b>0004</b>	<b>-002</b>	<b>0001</b>	<b>0004</b>	<b>-001</b>	<b>-001</b>	<b>-002</b>		

OBS : O resultado do K-S está multiplicado por 1000.

C.3. *Teste nas Quantidades de Itens*

**ITENS POR HORARIO**

H	EMP	000001	000002	000003	000004	000005	000006	000007	000008	000009	000010	000011	000012	000013	000014	000015	:	t
08	000556	000513	000616	000538	000511	000680	000661	000562	000523	000620	000554	000520	000589	000538	000472	000357	:	-0,2
09	001353	001213	001606	001298	001639	001269	001540	001329	001402	001316	001767	001399	001068	001347	001590	001224	:	0,9
10	001909	001974	001762	001768	001542	001767	002071	001803	001927	001958	002057	002334	002127	001905	001898	002017	:	0,3
11	001720	001811	001670	001384	001761	001756	001640	001789	001809	001420	001602	002068	001493	001964	002052	001555	:	0,0
12	001547	001879	001603	001701	001333	001364	001529	001616	001439	001409	001360	001468	001539	001792	001448	001447	:	-0,4
13	000889	000901	000935	000913	000785	000945	000781	001007	000852	000831	001070	000855	001118	000974	001195	001051	:	1,8
14	001251	001464	001199	001541	001328	001228	001077	001275	001025	001367	001159	001541	001226	001390	001233	001323	:	1,0
15	001849	001856	001747	001576	001902	001785	002011	002043	001823	002036	001917	001742	001744	001912	001884	001935	:	0,3
16	002836	002890	002764	002913	002942	003153	002946	003084	002757	002989	002708	002793	003213	003002	002818	002871	:	2,2
17	003165	002777	003025	002933	003392	003760	003112	003045	002830	003186	003446	002959	003463	003086	003153	003177	:	-0,1
18	003150	002837	003053	002781	003323	003247	003311	002972	002907	003348	003212	002934	002922	003241	003212	002934	:	-1,3
19	002773	002728	002806	002678	003027	002820	002943	002229	002998	003130	002610	002455	002286	002852	002748	002638	:	-0,6
20	002113	002318	002438	001949	002110	002031	002271	001963	001844	001813	002172	002392	002167	001921	002095	001992	:	-0,2
21	000989	000886	000998	000851	000865	000960	001110	001244	000967	000881	001084	000903	000837	000821	000897	000936	:	-1,3
22	000089	000027	000057	000029	000078	000125	000129	000177	000090	000103	000042	000018	000062	000022	000054	000012	:	-1,6
T	026189	026054	026279	024847	026558	026890	027132	026138	025193	026407	026760	026379	025854	026767	026749	025469	:	0,
K-S		-00025	000011	-00017	000018	000021	000011	-00023	-00013	000018	-00017	-00033	-00027	-00022	-00019	-00013		

Obs: O resultado do K-S está multiplicado por 1000.

C.4. *Teste na Velocidade de Digitação*

---

**CLIENTES POR VELOCIDADE MÉDIA DE DIGITAÇÃO**

---

I ...EMP	0001	0002	0003	0004	0005	0006	0007	0008	0009	0010	0011	0012	0013	0014	0015	: t
009	3007	3028	3046	2992	3052	3064	3036	2881	3005	3019	3164	2989	2969	3066	3032	3011 : 1,0
019	0736	0735	0732	0714	0744	0718	0722	0775	0731	0735	0704	0714	0719	0748	0764	0737 : -0,6
029	0163	0160	0148	0176	0167	0178	0151	0166	0154	0172	0145	0172	0184	0170	0141	0144 : -0,3
039	0059	0061	0060	0054	0042	0066	0054	0048	0053	0053	0049	0076	0059	0056	0066	0076 : -0,3
049	0026	0020	0028	0038	0024	0017	0025	0028	0028	0022	0036	0024	0032	0028	0027	0017 : 1,0
059	0012	0012	0009	0021	0012	0016	0018	0008	0011	0005	0015	0014	0013	0007	0017	0014 : 0,7
069	0008	0003	0007	0007	0007	0007	0002	0009	0004	0011	0007	0007	0009	0013	0010	0006 : -0,9
079	0004	0005	0004	0002	0005	0004	0002	0006	0005	0006	0003	0008	0004	0003	0000	0003 : 0,0
089	0004	0002	0003	0002	0005	0004	0000	0008	0004	0004	0003	0007	0003	0004	0001	0006 : -0,4
099	0002	0001	0001	0003	0003	0004	0002	0003	0002	0002	0003	0003	0002	0003	0001	0002 : 1,4
109	0001	0003	0002	0002	0004	0001	0001	0001	0002	0000	0002	0001	0000	0002	0001	0001 : 1,9
119	0001	0005	0002	0002	0004	0001	0002	0002	0002	0001	0001	0001	0003	0002	0002	0001 : 3,5
129	0002	0002	0001	0003	0002	0001	0001	0001	0003	0001	0003	0001	0000	0000	0001	0001 : -2,3
139	0001	0000	0000	0000	0000	0002	0000	0001	0000	0002	0000	0000	0001	0002	0000	0001 : -1,8
149	0000	0000	0000	0001	0002	0000	0002	0000	0001	0000	0001	0001	0000	0000	0001	0000 : 3,1
159	0000	0001	0001	0001	0000	0000	0000	0003	0001	0000	0001	0002	0000	0000	0000	0001 : 3,2
169	0000	0000	0000	0001	0000	0000	0000	0000	0000	0001	0000	0000	0001	0000	0000	0000 : 1,8
179	0001	0000	0000	0000	0001	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0001	0000	0000	0001	0000 : -7,4
189	0000	0001	0000	0001	0001	0000	0000	0000	0002	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000 : 2,0
->	0001	0000	0000	0000	0001	0001	0000	0000	0000	0000	0000	0001	0000	0001	0000	0001 : -5,2
T	4028	4039	4044	4020	4076	4084	4018	3940	4008	4034	4137	4022	3999	4105	4065	4022 : 1,0

K-S            -003   -006   0007   0002   -003   -009   0015   -003   -003   -018   0008   0007   0001   -004   -002

Obs: O resultado do K-S foi multiplicado por 1000.

---

C.5. Teste na Velocidade de Digitação

**SOMATÓRIO DO TEMPO CONSUMIDO EM DIGITAÇÃO POR INTERVALO**

I...EMP	000001	000002	000003	000004	000005	000006	000007	000008	000009	000010	000011	000012	000013	000014	000015	:	t
08	005254	004327	006067	004870	004630	005431	006260	004670	004570	005563	004828	004812	004324	004935	004056	003321	: 2,0
09	011568	011343	013882	011161	012252	011472	012307	012135	012165	011291	014167	011472	008419	011466	012914	011709	: 0,9
10	015758	016727	014471	016850	014197	015985	017812	014922	018447	017062	016448	018047	017866	016215	018459	018514	: 2,8
11	013627	015154	014291	012367	016504	015153	013560	015098	016377	010956	014202	019027	013304	016036	016209	013425	: 2,2
12	013809	016349	013310	014724	010515	012035	013032	013537	013943	011573	011330	012922	013153	014120	012660	011973	: -2,1
13	008212	008298	007624	008399	007188	008526	006571	010239	006825	007152	010215	008038	009776	008189	010974	007831	: 0,5
14	011381	013439	009933	013394	011992	010308	009420	011987	009085	012380	011310	013655	010086	011584	009910	012858	: 0,1
15	017451	015364	014537	013770	016275	015613	017592	016864	016044	016983	016833	015760	014492	015912	015712	016224	: -5,9
16	023249	023403	023126	025606	024844	026802	024748	027726	022551	025203	022490	023556	028312	025940	024583	024582	: 3,6
17	025340	023443	026639	023247	029815	031132	025949	027382	025551	025723	028834	024425	031951	026791	027812	026454	: 2,5
18	026100	024598	024908	027594	028351	026592	027159	027969	024061	028905	025247	026668	025762	027971	028913	025153	: 1,3
19	023976	023136	022811	024742	027447	024648	024834	018931	024567	029419	022732	021614	020908	023696	022993	022232	: -0,5
20	018763	019489	020788	016309	017937	017912	017907	017167	015225	015313	018080	020422	018204	016718	018767	016920	: -2,2
21	007833	009363	008898	007022	007641	008802	009658	010849	008220	007549	009172	007920	006552	007769	007398	008362	: 1,7
22	000735	000187	000566	000207	000576	000917	001382	001519	000597	000711	000780	000162	000457	000203	000378	000098	: -1,3
T..	223056	224620	221851	220262	230164	231326	228191	230995	218228	225783	226668	228500	223566	227545	231738	219656	: 2,5
K:S.	-00024	-00014	-00015	000028	000026	-00013	-00020	-00031	000024	-00011	-00028	000026	-00017	-00018	-00015		

Obs: O resultado do K-S foi multiplicado por 1000.

C.6. Testes na Forma de Pagamento

**CLIENTES COM PAGAMENTO EM DINHEIRO POR ITEM**

I.	EMP	0001	0002	0003	0004	0005	0006	0007	0008	0009	0010	0011	0012	0013	0014	0015	:	t
01	0862	0883	0884	0939	0870	0900	0860	0834	0907	0874	0909	0802	0836	0837	0853	0871	:	0,9
02	0537	0550	0527	0554	0533	0526	0535	0515	0534	0522	0549	0539	0524	0585	0540	0548	:	0,3
03	0401	0407	0406	0407	0419	0376	0385	0361	0382	0383	0397	0406	0386	0387	0379	0407	:	-2,0
04	0314	0292	0348	0297	0319	0347	0324	0324	0327	0300	0345	0308	0317	0308	0346	0275	:	0,7
05	0253	0249	0239	0236	0262	0241	0256	0247	0228	0261	0263	0281	0269	0258	0300	0271	:	0,9
06	0176	0182	0175	0187	0178	0170	0170	0197	0190	0168	0174	0160	0186	0190	0165	0163	:	0,3
07	0136	0115	0136	0140	0135	0144	0141	0145	0130	0148	0138	0151	0135	0153	0139	0149	:	1,5
08	0091	0105	0095	0086	0083	0095	0066	0081	0093	0100	0091	0097	0081	0104	0059	0095	:	-0,6
09	0080	0079	0077	0086	0070	0076	0081	0083	0070	0077	0083	0063	0074	0077	0072	0083	:	-2,0
10	0070	0074	0069	0072	0063	0082	0057	0062	0053	0074	0080	0066	0071	0071	0051	0075	:	-0,8
11	0046	0052	0042	0042	0045	0046	0042	0040	0035	0047	0050	0049	0044	0053	0052	0047	:	-0,2
12	0033	0039	0034	0030	0046	0027	0025	0029	0028	0041	0033	0027	0031	0025	0035	0023	:	-0,8
13	0043	0046	0051	0040	0047	0051	0042	0048	0063	0038	0046	0046	0045	0045	0042	0046	:	2,2
14	0019	0020	0018	0022	0018	0019	0021	0019	0019	0020	0013	0023	0018	0017	0019	0016	:	-0,3
15	0018	0015	0015	0017	0021	0022	0020	0019	0024	0016	0021	0012	0028	0023	0022	0013	:	1,0
16	0018	0014	0022	0015	0017	0016	0022	0016	0013	0022	0020	0019	0014	0014	0019	0019	:	-0,6
17	0125	0129	0119	0124	0117	0120	0138	0107	0115	0113	0136	0116	0138	0135	0123	0117	:	-0,7
<hr/>																		
T..	3222	3251	3257	3294	3243	3258	3185	3127	3211	3204	3348	3165	3197	3282	3216	3218	:	0,5
<hr/>																		
K-S.....	0007	-008	-019	-006	-008	0007	0011	-004	0007	0004	0014	0012	0012	-017	-008			

**CLIENTES COM PAGAMENTO EM DINHEIRO POR HORÁRIO**

H.	EMP	0001	0002	0003	0004	0005	0006	0007	0008	0009	0010	0011	0012	0013	0014	0015	:	t
08	0094	0088	0091	0090	0079	0117	0101	0086	0079	0089	0095	0090	0087	0097	0093	0073	:	-1,3
09	0177	0167	0183	0178	0168	0186	0165	0172	0173	0169	0172	0159	0166	0169	0178	0168	:	-2,9
10	0227	0236	0222	0235	0227	0237	0226	0230	0243	0254	0241	0236	0223	0232	0225	0250	:	3,0
11	0222	0196	0225	0197	0227	0219	0195	0232	0230	0201	0203	0220	0222	0228	0244	0214	:	-1,3
12	0183	0197	0186	0199	0189	0159	0186	0175	0201	0161	0194	0178	0206	0201	0181	0161	:	0,4
13	0163	0175	0154	0185	0161	0184	0137	0138	0173	0183	0189	0176	0169	0152	0168	0162	:	0,9
14	0191	0207	0201	0238	0200	0200	0180	0182	0177	0195	0195	0199	0199	0205	0205	0189	:	1,9
15	0244	0247	0248	0244	0218	0220	0251	0244	0277	0252	0248	0236	0249	0256	0237	0240	:	0,1
16	0400	0405	0421	0419	0460	0428	0423	0413	0388	0404	0430	0389	0398	0428	0413	0432	:	3,4
17	0393	0369	0361	0397	0402	0380	0389	0391	0339	0321	0425	0391	0381	0367	0385	0376	:	-2,2
18	0350	0362	0367	0348	0349	0354	0358	0328	0347	0376	0354	0327	0316	0357	0351	0356	:	0,0
19	0258	0257	0270	0272	0235	0257	0256	0249	0274	0267	0258	0259	0257	0273	0245	0268	:	0,5
20	0182	0202	0187	0154	0200	0183	0184	0155	0183	0183	0191	0182	0195	0186	0163	0197	:	0,2
21	0130	0137	0134	0133	0117	0130	0126	0124	0119	0140	0146	0121	0118	0127	0121	0130	:	-0,8
22	0008	0006	0007	0005	0011	0004	0008	0008	0008	0009	0007	0002	0011	0004	0007	0004	:	-1,8
<hr/>																		
T	3222	3251	3257	3294	3243	3258	3185	3127	3211	3204	3348	3165	3197	3282	3216	3218	:	0,5
<hr/>																		
K-S	0012	0008	-012	0012	-011	0016	-011	-017	0016	0011	-007	-010	-009	-014	0013			

Obs: O resultado do K-S foi multiplicado por 1000.

C.7. *Teste na Velocidade de Pagamento em Dinheiro*

**CLIENTES POR CLASSE DE VELOCIDADE**

VP	EMP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15 : t
009	1559	1562	1578	1588	1574	1565	1624	1496	1556	1586	1648	1528	1545	1644	1548	1522 : 1,0
019	701	740	690	739	708	718	653	690	713	724	745	713	708	675	724	687 : 1,1
029	422	392	444	408	436	432	408	397	440	402	423	390	407	420	417	430 : -1,2
039	245	258	240	246	237	242	237	237	227	222	232	253	265	240	247	251 : -0,9
049	131	120	138	141	133	120	101	128	104	124	127	119	116	134	136	143 : -1,6
059	60	52	60	65	47	63	58	58	68	51	67	59	51	68	45	66 : -0,7
069	35	45	34	27	35	39	47	36	29	28	29	40	31	26	31	44 : -0,1
079	23	26	23	27	24	24	21	23	22	19	28	21	28	27	29	23 : 1,7
089	11	11	4	14	10	14	7	17	12	5	10	8	6	10	12	12 : -0,9
099	10	12	13	13	10	11	5	12	10	9	12	9	5	8	6	8 : -0,6
109	5	7	6	5	6	8	6	8	6	10	9	4	4	8	4	5 : 2,8
119	4	5	7	5	4	6	4	8	4	3	6	9	9	2	3	5 : 2,3
129	1	6	7	2	6	7	1	5	8	3	5	5	5	6	4	7 : 8,1
139	1	8	3	5	3	1	4	2	3	3	2	3	6	7	4	2 : 5,3
149	1	1	1	5	1	3	2	1	0	1	1	2	3	1	1	5 : 2,2
159	2	1	4	1	6	0	1	1	5	4	1	1	1	2	0	0 : -0,2
169	0	1	2	0	0	2	0	1	3	1	0	0	3	1	2	3 : 4,2
179	2	0	1	0	0	0	1	1	0	2	1	0	3	0	1	1 : -5,5
189	1	2	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0 : -3,6
acima	8	2	2	3	2	3	5	5	1	6	2	0	1	3	2	4 : -12,2
T	3222	3251	3257	3294	3243	3258	3185	3127	3211	3204	3348	3165	3197	3282	3216	3218 : 0,5
K-S		6	5	-5	-5	4	-26	6	-11	-19	-13	-6	-6	-17	-6	14

Obs: O resultado do K-S foi multiplicado por 1000.



C.8. *Teste na Velocidade de Pagamento em Dinheiro*

**SOMATÓRIO DO TEMPO CONSUMIDO EM DIGITAÇÃO POR INTERVALO**

H.	EMP	1	2	3	4	5	8	7	8	9	10	11	12	13	14	15	: t
08	1538	1181	1438	1887	1323	1942	1538	1415	1224	1577	2014	1473	1597	1547	1992	1330	: 0,3
09	3155	3105	3220	3169	2950	4066	3312	3449	3519	2946	3134	2573	3430	2971	3443	3472	: 1,0
10	4455	4477	4715	4268	4357	4587	4501	4640	3917	4787	4479	4906	4187	4355	3935	4359	: -0,3
11	4299	3720	4755	3687	4458	3670	3303	4583	3996	3323	3759	4112	4264	4041	4617	4397	: -2,1
12	2918	3810	3087	3574	3372	3424	2907	2685	3552	2648	3464	2931	3822	3591	3058	3329	: 3,7
13	2969	3268	2934	3116	2536	3322	2371	2641	2811	3045	2973	2978	2665	2501	2882	2726	: -1,6
14	2592	2710	2817	3401	2962	2586	2681	2619	2088	2902	2817	2674	2568	2979	2786	2997	: 2,4
15	4115	3996	4238	4843	3597	3470	3967	3939	5648	4424	3989	4148	4437	4674	4001	4074	: 0,7
16	5818	6103	6457	5555	6730	6266	6134	6611	6196	5631	6439	5352	5966	6318	5532	6190	: 2,6
17	7338	6714	8219	7054	6802	6862	6093	6800	5470	5519	7356	6226	6290	6051	6835	6756	: -6,1
18	7313	7518	7450	7243	7942	7430	7127	7386	6953	8125	6920	6847	6501	7459	7243	8018	: 0,2
19	4634	4838	4550	4901	4099	4616	5164	4743	5355	4997	4732	5405	4977	5166	4296	5148	: 2,4
20	4345	4524	3920	3498	3924	3638	3293	3232	3228	3056	3373	3658	3771	3817	2987	4301	: -6,4
21	1541	1828	1469	1478	1190	1682	1339	1372	1567	1547	1783	1318	1337	1428	1395	1523	: -1,7
22	192	157	158	178	185	95	188	205	237	324	153	70	197	83	136	134	: -1,5
T	57218	57727	57427	57650	56427	57656	53918	56320	55757	54851	57385	54669	56009	56959	55138	58754	: -2,1
K-S	0	19	-29	-26	-20	-28	-18	-21	-34	-18	-19	-18	-31	-22	-29	10	

Obs: O resultado do K-S foi multiplicado por 1000.

C.9. *Teste na Velocidade de Pagamento em Cheque*

**CLIENTES POR CLASSE DE VELOCIDADE**

I.	EMP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15 :	t
009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 : 0,0
019	19	19	11	12	21	18	23	21	17	17	14	23	16	30	24	16	-0,1
029	53	48	44	53	57	61	49	55	42	51	49	52	56	47	45	47	-1,9
039	40	38	41	50	43	27	45	37	37	45	45	40	40	42	49	35	0,6
049	29	38	51	29	23	30	28	32	35	37	30	25	34	33	28	30	1,8
059	44	38	37	36	58	40	48	46	39	52	33	48	38	46	40	52	-0,3
069	66	49	42	54	57	75	84	59	75	61	76	79	69	80	78	64	0,2
079	57	59	54	45	75	54	65	40	57	63	72	59	61	58	59	55	0,6
089	72	75	70	63	70	78	68	69	67	66	67	96	77	73	76	71	0,1
099	66	67	57	57	76	66	66	64	69	72	75	77	69	65	71	65	1,1
109	67	75	66	64	53	73	64	74	71	72	69	68	66	60	61	51	-0,6
119	55	51	61	47	58	65	59	67	54	58	48	53	51	67	51	58	0,9
129	45	42	37	42	39	34	45	54	44	49	39	41	38	38	53	44	-1,6
139	38	33	33	42	48	45	39	34	32	34	33	37	33	34	33	47	-0,5
149	31	39	37	34	30	34	30	28	31	28	25	43	27	33	28	38	1,0
159	27	28	31	27	23	25	20	27	25	32	25	24	36	21	27	34	0,0
169	25	25	36	17	34	26	30	26	28	23	27	31	35	32	30	22	2,3
179	14	19	20	13	16	21	16	17	12	16	16	12	11	20	20	15	2,6
189	12	11	6	8	14	12	11	18	9	15	8	11	12	12	20	13	0,0
acima	46	34	53	33	38	42	43	45	53	39	38	38	33	32	56	47	-2,1
T	806	788	787	726	833	826	833	813	797	830	789	857	802	823	849	804	0,5
K-S		19	40	-23	-22	16	-28	33	18	-14	-35	-28	-20	-26	28	31	

Obs: O resultado do K-S foi multiplicado por 1000.

C.10. *Teste na Velocidade de Pagamento em Cheque*

**SOMATÓRIO DO TEMPO CONSUMIDO EM DIGITAÇÃO POR INTERVALO**

H.	EMP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	: t
08	1214	945	1333	913	1106	799	1331	1379	1378	1466	1105	1036	673	886	546	1281	:-1,8
09	2561	2299	3261	1839	2924	1821	3124	2471	1784	2036	3351	2615	1584	2571	2928	2469	:-0,6
10	4707	5983	4196	4039	2898	5200	3430	4131	4922	4345	3957	6502	5711	3542	6571	4760	: 0,0
11	5142	5976	3626	3688	5453	4803	4271	4660	4532	4174	5359	4677	4415	4810	6140	6095	:-1,4
12	4110	3869	4557	3335	3545	3990	4340	4138	4063	5706	4720	3562	3662	4770	4265	3709	: 0,2
13	2888	3603	2742	2979	2722	2880	2248	3454	2572	2424	2570	2163	3664	2475	3675	4205	: 0,4
14	3042	2770	3339	3102	3743	3464	1600	3893	2085	3419	3446	3662	2316	2953	3215	3793	: 0,4
15	4708	3510	5317	3470	5432	4336	4004	6041	4996	4951	4018	4220	4417	5090	6201	4158	:-0,1
16	6528	7337	7669	5642	8113	6773	6904	7254	8344	6627	5398	7918	6449	7079	7269	5785	: 1,9
17	10830	9407	10527	10591	11324	13160	11588	10278	12061	11304	9994	11005	12736	11698	11007	12106	: 1,6
18	11408	9878	10064	10424	12441	11336	13860	10243	10390	10920	11432	12640	12068	11033	12772	9738	:-0,3
19	9571	10953	10008	8102	10020	10228	9993	8075	9788	10681	8341	9536	8841	10791	11050	9357	: 0,5
20	8319	8115	10428	8023	7569	8888	9378	8593	8140	7742	8086	9323	7387	7376	7370	9120	: 0,2
21	4402	2657	3921	4527	3504	4956	5038	7004	5643	4953	4405	5062	4037	3790	2910	5232	: 0,3
22	275	78	197	170	157	245	181	453	74	148	0	76	199	0	216	0	:-4,2
T	79705	77380	81165	70844	80951	82879	81290	82067	80772	80896	76182	83997	78159	78864	86135	81808	: 0,5
K-S		-34	19	28	28	26	56	32	32	22	-24	17	-21	-21	-41	-24	

Obs: O resultado do K-S foi multiplicado por 1000.

## D. Resultado das Aplicações com o Simulador

### D.1. Aplicação Sobre a Velocidade de Digitação

#### SISTEMA NORMAL - POLÍTICA 1

PERCENTUAL DE INCREMENTO	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
<i>TOTAIS</i>										
CLIENTES CHEGADOS NO SISTEMA	4046	4046	4046	4046	4046	4046	4046	4046	4046	4046
CAIXAS ABERTOS NO PERÍODO	25	23	22	21	19	19	17	16	15	14
NÚMERO MÁXIMO DE CAIXAS ABERTOS	18	17	16	15	14	14	13	12	11	11
CLIENTES ATENDIDOS	4046	4046	4046	4046	4046	4046	4046	4046	4046	4046
SOMA DOS INTERVALOS E/CHEGADAS(h)	14,22	14,22	14,22	14,22	14,22	14,22	14,22	14,22	14,22	14,22
ITENS DIGITADOS	26455	26455	26455	26455	26455	26455	26455	26455	26455	26455
TEMPO DE DIGITAÇÃO(h)	63,09	56,71	50,45	44,09	37,83	31,69	25,25	18,99	12,63	6,38
CLIENTES QUE PAGARAM EM DINHEIRO	3236	3236	3236	3236	3236	3236	3236	3236	3236	3236
TEMPO DE PAGAMENTO EM DINHEIRO(h)	15,78	15,78	15,78	15,78	15,78	15,78	15,78	15,78	15,78	15,78
CLIENTES QUE PAGARAM EM CHEQUE	811	811	811	811	811	811	811	811	811	811
TEMPO DE PAGAMENTO EM CHEQUE(h)	22,37	22,37	22,37	22,37	22,37	22,37	22,37	22,37	22,37	22,37
CLIENTES QUE ESPERARAM NA FILA	734	691	635	579	539	506	443	396	334	304
TEMPO ESPERA NA FILA(h)	12,20	10,88	9,45	8,14	7,11	6,33	5,21	4,43	3,58	3,12
TEMPO DE CAIXA ABERTO(h)	150,91	144,39	138,52	132,79	126,52	120,36	114,19	107,76	102,09	94,75
TEMPO DE OCIOSIDADE DO CAIXA(h)	49,67	49,54	49,92	50,55	50,54	50,52	50,79	50,61	51,31	50,22
<i>MÉDIAS</i>										
INTERVALO ENTRE CHEGADAS(s)	12,66	12,66	12,66	12,66	12,66	12,66	12,66	12,66	12,66	12,66
ITENS ADQUIRIDOS P/CLIENTE	6,54	6,54	6,54	6,54	6,54	6,54	6,54	6,54	6,54	6,54
VELOC. DE DIGITAÇÃO P/CLIENTE(s)	56,13	50,45	44,89	39,23	33,66	28,20	22,47	16,90	11,24	5,68
VELOC. DE DIGITAÇÃO P/ITEM(s)	8,59	7,72	6,87	6,00	5,15	4,31	3,44	2,58	1,72	0,87
VELOC. DE PAGAMENTO EM DINHEIRO(s)	17,55	17,55	17,55	17,55	17,55	17,55	17,55	17,55	17,55	17,55
VELOC. DE PAGAMENTO EM CHEQUE(s)	99,33	99,33	99,33	99,33	99,33	99,33	99,33	99,33	99,33	99,33
ESPERA PARA QUEM ESPEROU(s)	59,88	56,68	53,55	50,45	47,52	45,04	42,21	40,34	38,88	37,03
ESPERA GERAL(s)	10,85	9,68	8,40	7,23	6,32	5,63	4,63	3,94	3,18	2,78
NECESSIDADE DE CAIXAS	10,6	10,1	9,7	9,3	8,9	8,4	8,0	7,6	7,2	6,7
INTENSIDADE DE TRÁFEGO(*)	0,67	0,66	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56	0,53	0,50	0,47

\* - Calculada pelos totais dos tempos de chegada e de serviço, ver pag. 90.

Int. Tráfego = (T. Digitação + T. Pcto Dinheiro + T. Pcto Cheque)/T. Caixa Aberto.

D.2. *Aplicação Sobre a Velocidade de Digitação*

**SISTEMA SOB PRESSÃO - POLÍTICA 2**

PERCENTUAL DE INCREMENTO	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
<i>TOTAIS</i>										
CLIENTES CHEGADOS NO SISTEMA	8080	8080	8080	8080	8080	8080	8080	8080	8080	8080
CAIXAS ABERTOS NO PERÍODO	35	33	31	28	27	25	23	21	19	17
NÚMERO MÁXIMO DE CAIXAS ABERTOS	29	27	27	24	23	22	20	19	17	17
CLIENTES ATENDIDOS	8080	8080	8080	8080	8080	8080	8080	8080	8080	8080
SOMA DOS INTERVALOS E/CHEGADAS(h)	14,24	14,24	14,24	14,24	14,24	14,24	14,24	14,24	14,24	14,24
ITENS DIGITADOS	52445	52445	52445	52445	52445	52445	52445	52445	52445	52445
TEMPO DE DIGITAÇÃO(h)	125,21	112,55	100,14	87,52	75,10	62,90	50,12	37,70	25,07	12,67
CLIENTES QUE PAGARAM EM DINHEIRO	6466	6466	6466	6466	6466	6466	6466	6466	6466	6466
TEMPO DE PAGAMENTO EM DINHEIRO(h)	31,40	31,40	31,40	31,40	31,40	31,40	31,40	31,40	31,40	31,40
CLIENTES QUE PAGARAM EM CHEQUE	1614	1614	1614	1614	1614	1614	1614	1614	1614	1614
TEMPO DE PAGAMENTO EM CHEQUE(h)	44,28	44,28	44,28	44,28	44,28	44,28	44,28	44,28	44,28	44,28
CLIENTES QUE ESPERARAM NA FILA	3236	3134	2912	2853	2623	2454	2284	2058	1807	1556
TEMPO ESPERA NA FILA(h)	84,10	75,51	64,19	58,99	49,79	42,55	35,96	29,50	23,98	19,05
TEMPO DE CAIXA ABERTO(h)	250,64	237,53	226,81	212,98	201,52	190,22	176,73	164,12	153,11	140,92
TEMPO DE OCIOSIDADE DO CAIXA(h)	49,75	49,30	50,99	49,78	50,74	51,63	50,93	50,74	52,35	52,58
<i>MÉDIAS</i>										
INTERVALO ENTRE CHEGADAS(s)	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35
ITENS ADQUIRIDOS P/CLIENTE	6,49	6,49	6,49	6,49	6,49	6,49	6,49	6,49	6,49	6,49
VELOC. DE DIGITAÇÃO P/CLIENTE(s)	55,79	50,15	44,62	38,99	33,46	28,03	22,33	16,80	11,17	5,64
VELOC. DE DIGITAÇÃO P/ITEM(s)	8,60	7,73	6,87	6,01	5,15	4,32	3,44	2,59	1,72	0,87
VELOC. DE PAGAMENTO EM DINHEIRO(s)	17,48	17,48	17,48	17,48	17,48	17,48	17,48	17,48	17,48	17,48
VELOC. DE PAGAMENTO EM CHEQUE(s)	98,78	98,78	98,78	98,78	98,78	98,78	98,78	98,78	98,78	98,78
ESPERA PARA QUEM ESPEROU(s)	93,63	86,71	79,29	74,52	68,43	62,33	56,69	51,55	47,79	44,06
ESPERA GERAL(s)	37,47	33,64	28,60	26,28	22,19	18,96	16,02	13,15	10,68	8,49
NECESSIDADE DE CAIXAS	17,53	16,62	15,88	14,92	14,12	13,33	12,39	11,51	10,74	9,89
INTENSIDADE DE TRÁFEGO(*)	0,81	0,79	0,78	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,66	0,63

\* - Calculada pelos totais dos tempos de chegada e de serviço, ver pag. 90.  
 Int. Tráfego = (T. Digitação + T. Pgto Dinheiro + T. Pgto Cheque)/T. Caixa Aberto.

D.3. *Aplicação Sobre a Velocidade de Pagamento em Cheque*

**SISTEMA NORMAL - POLÍTICA 1**

PERCENTUAL DE INCREMENTO	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
<i>TOTAIS</i>										
CLIENTES CHEGADOS NO SISTEMA	4046	4046	4046	4046	4046	4046	4046	4046	4046	4046
CAIXAS ABERTOS NO PERÍODO	25	24	23	23	22	22	21	20	20	20
NÚMERO MÁXIMO DE CAIXAS ABERTOS	18	17	17	16	16	16	15	15	15	15
CLIENTES ATENDIDOS	4046	4046	4046	4046	4046	4046	4046	4046	4046	4046
SOMA DOS INTERVALOS E/CHEGADAS(h)	14,22	14,22	14,22	14,22	14,22	14,22	14,22	14,22	14,22	14,22
QUANTIDADE DE ITENS DIGITADOS	26455	26455	26455	26455	26455	26455	26455	26455	26455	26455
TEMPO DE DIGITAÇÃO(h)	63,09	63,09	63,09	63,09	63,09	63,09	63,09	63,09	63,09	63,09
CLIENTES QUE PAGARAM EM DINHEIRO	3236	3236	3236	3236	3236	3236	3236	3236	3236	3236
TEMPO DE PAGAMENTO EM DINHEIRO(h)	15,78	15,78	15,78	15,78	15,78	15,78	15,78	15,78	15,78	15,78
CLIENTES QUE PAGARAM EM CHEQUE	811	811	811	811	811	811	811	811	811	811
TEMPO DE PAGAMENTO EM CHEQUE(h)	22,37	20,12	17,89	15,65	13,42	11,24	8,95	6,72	4,47	2,25
CLIENTES QUE ESPERARAM NA FILA	734	705	700	681	671	640	640	616	608	569
TEMPO ESPERA NA FILA(h)	12,20	11,32	11,09	10,28	9,91	9,24	9,05	8,53	8,29	7,63
TEMPO DE CAIXA ABERTO(h)	150,91	148,72	146,21	144,06	142,01	140,14	137,72	135,43	133,02	131,44
TEMPO DE OCIOSIDADE DO CAIXA(h)	49,67	49,73	49,45	49,55	49,73	50,04	49,90	49,85	49,68	50,33
<i>MÉDIAS</i>										
INTERVALO ENTRE CHEGADAS(s)	12,66	12,66	12,66	12,66	12,66	12,66	12,66	12,66	12,66	12,66
ITENS PORTADOS	6,54	6,54	6,54	6,54	6,54	6,54	6,54	6,54	6,54	6,54
VELOC. DE DIGITAÇÃO P/CLIENTE(s)	56,13	56,13	56,13	56,13	56,13	56,13	56,13	56,13	56,13	56,13
VELOC. DE DIGITAÇÃO P/ITEM(s)	8,59	8,59	8,59	8,59	8,59	8,59	8,59	8,59	8,59	8,59
VELOC. DE PAGAMENTO EM DINHEIRO(s)	17,55	17,55	17,55	17,55	17,55	17,55	17,55	17,55	17,55	17,55
VELOC. DE PAGAMENTO EM CHEQUE(s)	99,33	89,35	79,46	69,49	59,60	49,92	39,73	29,85	19,87	9,98
ESPERA PARA QUEM ESPEROU(s)	59,88	57,70	56,93	54,40	53,11	52,14	51,10	49,95	49,34	48,40
ESPERA GERAL(s)	10,85	10,07	9,86	9,14	8,82	8,22	8,05	7,59	7,38	6,79
NECESSIDADE DE CAIXAS	11	10	10	10	10	10	10	10	9	9
INTENSIDADE DE TRÁFEGO(*)	0,67	0,67	0,66	0,66	0,65	0,65	0,64	0,63	0,63	0,62

\* - Calculada pelos totais dos tempos de chegada e de serviço, ver pag. 90.

Int. Tráfego = (T. Digitação + T. Pgto Dinheiro + T. Pgto Cheque)/T. Caixa Aberto.

D.4. *Aplicação Sobre a Velocidade de Pagamento em Cheque*

**SISTEMA SOB PRESSÃO - POLÍTICA 2**

PERCENTUAL DE INCREMENTO	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
--------------------------	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

**TOTAIS**

CLIENTES CHEGADOS NO SISTEMA	8080	8080	8080	8080	8080	8080	8080	8080	8080	8080
CAIXAS ABERTOS NO PERÍODO	35	34	33	32	31	31	30	29	29	27
NÚMERO MÁXIMO DE CAIXAS ABERTOS	29	28	28	27	26	26	25	24	24	23
CLIENTES ATENDIDOS	8080	8080	8080	8080	8080	8080	8080	8080	8080	8080
SOMA DOS INTERVALOS E/CHEGADAS(h)	14,24	14,24	14,24	14,24	14,24	14,24	14,24	14,24	14,24	14,24
I TENS DIGITADOS	52445	52445	52445	52445	52445	52445	52445	52445	52445	52445
TEMPO DE DIGITAÇÃO(h)	125,21	125,21	125,21	125,21	125,21	125,21	125,21	125,21	125,21	125,21
CLIENTES QUE PAGARAM EM DINHEIRO	6466	6466	6466	6466	6466	6466	6466	6466	6466	6466
TEMPO DE PAGAMENTO EM DINHEIRO(h)	31,40	31,40	31,40	31,40	31,40	31,40	31,40	31,40	31,40	31,40
CLIENTES QUE PAGARAM EM CHEQUE	1614	1614	1614	1614	1614	1614	1614	1614	1614	1614
TEMPO DE PAGAMENTO EM CHEQUE(h)	44,28	39,83	35,43	30,98	26,57	22,25	17,71	13,31	8,86	4,45
CLIENTES QUE ESPERARAM NA FILA	3236	3223	3168	3057	3045	2929	2911	2870	2762	2739
TEMPO ESPERA NA FILA(h)	84,10	80,56	77,97	72,90	70,91	65,44	63,27	60,29	57,21	54,52
TEMPO DE CAIXA ABERTO(h)	250,64	245,33	241,61	237,80	233,16	229,43	224,37	219,98	216,86	211,04
TEMPO DE OCIOSIDADE DO CAIXA(h)	49,75	48,89	49,57	50,21	49,98	50,57	50,04	50,06	51,39	49,97

**MÉDIAS**

INTERVALO ENTRE CHEGADAS(s)	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35
ITENS PORTADOS	6,49	6,49	6,49	6,49	6,49	6,49	6,49	6,49	6,49	6,49
VELOC. DE DIGITAÇÃO P/CLIENTE(s)	55,79	55,79	55,79	55,79	55,79	55,79	55,79	55,79	55,79	55,79
VELOC. DE DIGITAÇÃO P/ITEM(s)	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60
VELOC. DE PAGAMENTO EM DINHEIRO(s)	17,48	17,48	17,48	17,48	17,48	17,48	17,48	17,48	17,48	17,48
VELOC. DE PAGAMENTO EM CHEQUE(s)	98,78	88,85	79,02	69,10	59,27	49,64	39,51	29,68	19,76	9,93
ESPERA PARA QUEM ESPEROU(s)	93,63	90,36	88,58	85,65	83,65	80,50	78,17	75,70	74,43	71,74
ESPERA GERAL(s)	37,47	35,89	34,75	32,48	31,59	29,15	28,19	26,86	25,49	24,29
NECESSIDADE DE CAIXAS	18	17	17	17	16	16	16	15	15	15
INTENSIDADE DE TRÁFEGO(*)	0,81	0,81	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78	0,78	0,76	0,76

\* - Calculada pelos totais dos tempos de chegada e de serviço, ver pag. 90.

Int. Tráfego = (T. Digitação + T. Pgto Dinheiro + T. Pgto Cheque)/T. Caixa Aberto.

D.5. *Resumo do Tempo Consumido nas Duas Aplicações*

---

**DISTRIBUIÇÃO DO TEMPO CONSUMIDO NOS EXTREMOS**

	POLÍTICA 1				POLÍTICA 2			
	NORMAL		+90%		NORMAL		+90%	
	HORAS	% HORAS	%	%	HORAS	% HORAS	%	
<i>VELOCIDADE DE DIGITAÇÃO</i>								
EMPO GASTO COM DIGITAÇÃO	63,09	41,81	6,38	6,73	125,21	49,96	12,67	8,99
EMPO GASTO COM PAGAMENTO EM DINHEIRO	15,78	10,46	15,78	16,65	31,40	12,53	31,40	22,28
EMPO GASTO COM PAGAMENTO EM CHEQUE	22,37	14,82	22,37	23,61	44,28	17,67	44,28	31,42
EMPO OCIOSO	49,67	32,91	50,22	53,00	49,75	19,85	52,58	37,31
<b>EMPO TOTAL DE OPERAÇÃO</b>	<b>150,91</b>		<b>94,75</b>		<b>250,64</b>		<b>140,93</b>	

*VELOCIDADE DE PAGAMENTO EM CHEQUE*

EMPO GASTO COM DIGITAÇÃO	63,09	41,81	63,09	48,00	125,21	49,96	125,21	59,33
EMPO GASTO COM PAGAMENTO EM DINHEIRO	15,78	10,46	15,78	12,00	31,40	12,53	31,40	14,88
EMPO GASTO COM PAGAMENTO EM CHEQUE	22,37	14,82	2,25	1,71	44,28	17,67	4,45	2,11
EMPO OCIOSO	49,67	32,91	50,33	38,29	49,75	19,85	49,97	23,68
<b>EMPO TOTAL DE OPERAÇÃO</b>	<b>150,91</b>		<b>131,45</b>		<b>250,64</b>		<b>211,03</b>	

---



## E. ROTINAS

### E.1. Programa Principal

```
{ $R+ } { Range checking on }
{ $B+ } { Boolean complete evaluation on }
{ $S+ } { Stack checking on }
{ $I+ } { I/O checking on }
{ $N- } { No numeric coprocessor }

program SIM_SFC;

uses crt, printer, dos, SIM_VARI, SIM_LEIT, SIM_GERA, SIM_FREN, SIM_COLE, SIM_SAID;
{ Unidades Auxiliares }

{ ***** PROGRAMA PRINCIPAL ***** }

begin { PROGRAMA PRINCIPAL }
FOR : REPETICOES := 1 TO 10 DO
BEGIN
CASE REPETICOES OF {amplificador de velocidade}
1 : MULTIPLICADOR := 1 00;
2 : MULTIPLICADOR := 0 90;
3 : MULTIPLICADOR := 0 80;
4 : MULTIPLICADOR := 0 70;
5 : MULTIPLICADOR := 0 60;
6 : MULTIPLICADOR := 0 50;
7 : MULTIPLICADOR := 0 40;
8 : MULTIPLICADOR := 0 30;
9 : MULTIPLICADOR := 0 20;
10 : MULTIPLICADOR := 0 10;
END;
assign(G, 'CLIENTES TXT');
REWRITE(G);
CLRSCR;
CONT_SIM := 1;
SEMEnte := 7777;
INCR_SEM := 3737;
SEMEm := 0;
HORA_INICIO := 7 953;
HORA_FIM := 22 220;
TEMPO_ABERTO := (30/60);
TEMPO_OCIOSO := (10/60);

LE_ARQUIVO_DE_TAXAS;
LE_ARQUIVO_DE_DISTR DE PROB DOS ITENS;
LE_ARQUIVO_DE_DISTR DE PROB DO TEMPO DE DIGITACAO;
LE_ARQUIVO_DE_DISTR DE PROB DA FORMA DE PAGAMENTO;
LE_ARQUIVO_DE_TEMPO DE PAGAMENTO;
CONVERGENCIA_LINEAR;

while CONT_SIM <= NUM_SIM do {Ciclo de simulacoes}
begin
writeln(cont sim:9);
getdate(ANO, MES, DIA, DIAS);
gettime(H, M, S, DS100);
PRIMEIRO := nil;
ULTIMO := nil;
NUM_CAIXA := 0;
NUM_CLIENTE := 0;
RELOGIO := HORA_INICIO;
SEMEm := SEMEm + INCR_SEM;
TESTE_FIM := false;
RELOGIO := HORA_INICIO;
ULTIMA_POSICAO_DE_PESQUISA := 1;
T1 := 0;
T2 := 0;
INICIALIZACAO_DE_MATRIZ_DE_SEMENTES;
NUM_CAIXA := 0;
NUM_CLIENTE := 0;
CAIXA_GERAL := CRIA_NOVO_CAIXA(CAIXA_GERAL, 0, 0);
NUM_CAIXA := NUM_CAIXA + 1;
CAIXA := CRIA_NOVO_CAIXA(CAIXA, NUM_CAIXA, 0);
PRIMEIRO := POSICAO_NA_FRENTE_DE_CAIXA(CAIXA, PRIMEIRO, ULTIMO);
CAIXA_GERAL ^ NUMCX := CAIXA_GERAL ^ NUMCX + 1;
repeat
NUM_CLIENTE := NUM_CLIENTE + 1;
NEW(CLIENTE);
GERA_CHEGADA;
```

```
if RELOGIO < HORA_FIM then
begin
if CAIXA_GERAL ^ TCLF DIV CAIXA_GERAL ^ NUMCX >= 1 then
begin
NUM_CAIXA := NUM_CAIXA + 1;
if NUM_CAIXA := 0
then CESTO := 5
else CESTO := 0;
CAIXA := CRIA_NOVO_CAIXA(CAIXA,NUM_CAIXA,CESTO);
PRIMEIRO := POSICIONA_NA_FRENTE_DE_CAIXA(CAIXA,PRIMEIRO,ULTIMO);
CAIXA_GERAL ^ NUMCX := CAIXA_GERAL ^ NUMCX + 1;
CESTO := 5;
end;
if NUM_CLIENTE > 1 then
repeat
FEITO := EXCLUIR_CLIENTES > PRIMEIRO;
until FEITO;
CAIXA := PRIMEIRO;
while CAIXA <> nil do
begin
CAIXA := PROCURA_CAIXA_FECHAR(PRIMEIRO);
if CAIXA <> nil then
begin
CAIXA_GERAL ^ TCXA := CAIXA_GERAL ^ TCXA +
((RELOGIO-CAIXA ^ HRABE)*3600);
CAIXA_GERAL ^ TCXA2 := CAIXA_GERAL ^ TCXA2 +
sqr((RELOGIO-CAIXA ^ HRABE)*3600);
CAIXA_GERAL ^ NUMCX := CAIXA_GERAL ^ NUMCX - 1;
PRIMEIRO := FECHA_CAIXA(PRIMEIRO,CAIXA,ULTIMO);
end;
end;
ATRIBUI_QUANTIDADE_DE_ITENS;
ATRIBUI_FORMA_DE_PAGAMENTO;
ATRIBUI_TEMPO_DE_DIGITACAO;
ATRIBUI_TEMPO_DE_PAGAMENTO;
ATRIBUI_TEMPO_DE_OCIOSIDADE;
INCLUIR_CLIENTES(PRIMEIRO,CLIENTE);
end
else
begin
NUM_CLIENTE := NUM_CLIENTE - 1;
dispose(CLIENTE);
if NUM_CLIENTE > 1 then
repeat
FEITO := EXCLUIR_CLIENTES_FIM(PRIMEIRO);
until FEITO;
CAIXA := PRIMEIRO;
while CAIXA <> nil do
begin
CAIXA := PROCURA_CAIXA_FECHAR_FIM(PRIMEIRO);
if CAIXA <> nil then
begin
CAIXA_GERAL ^ TCXA := CAIXA_GERAL ^ TCXA +
((RELOGIO-CAIXA ^ HRABE)*3600);
CAIXA_GERAL ^ TCXA2 := CAIXA_GERAL ^ TCXA2 +
sqr((RELOGIO-CAIXA ^ HRABE)*3600);
CAIXA_GERAL ^ NUMCX := CAIXA_GERAL ^ NUMCX - 1;
PRIMEIRO := FECHA_CAIXA(PRIMEIRO,CAIXA,ULTIMO);
end;
end;
GUARDA_CAIXA_GERAL;
GUARDA_ESTATISTICAS_UM;
dispose(CAIXA_GERAL);
CONT_SIM := CONT_SIM + 1;
TESTE_FIM := true;
end;
until (TESTE_FIM);
end;
GUARDA_ESTATISTICAS_DOIS;
GRAVA_ESTATISTICAS;
GRAVA_RESULTADOS;
CLOSE(G);
END;
end

{***** FIM DO PROGRAMA PRINCIPAL *****}
{----- FINAL DA UNIDADE -----}
```

## E.2. Unidade de Implementação de Variáveis Públicas

```
unit SIM_VARI;

interface

const

  {>>>>>> SIM_FREN <<<<<<<}

  NUM_SIM := 30;
  {Número de replicações desejado}

type

  {>>>>>>> SIM_LEIT <<<<<<<<<<}

  TMT := array [1..61,1..2] of : real;
  TMI := array [1..18,1..32] of : real;
  TMD := array [1..22,1..32] of : real;
  TMFP := array [1..16] of : real;
  TMFPM := array [1..15,1..6] of : real;
  TMPD := array [1..18,1..32] of : real;
  TMPC := array [1..18,1..32] of : real;

  {Tipificação das matrizes dos dados de entrada dos parâmetros}

  {>>>>>> SIM_COLE <<<<<<<}

  TMCO := array [1..33,1..NUM_SIM] of : real;
  TMME := array [1..30,1..NUM_SIM + 4] of : real;

  {Tipificação das matrizes dos dados de saída do simulador}

  {>>>>>>> SIM_GERA <<<<<<<<<<}

  Ptr_Cli := ^CLI;
  {Definição do Ponteiro Para o Registro dos atributos do Cliente}

  CLI := : Record
  NUMCLI : longint; {Número de Ordem do Cliente}
  IEC : real; {Intervalo em : relação a chegada anterior}
  QIT : integer; {Quantidade de itens adquiridos}
  TDG : integer; {Tempo gasto na digitação dos itens}
  FPG : integer; {Forma de pagamento utilizada}
  TPG : integer; {Tempo gasto com pagamento das compras}
  TOC : integer; {Tempo gasto com atividades complementares}
  TEF : integer; {Tempo gasto com espera na fila}
  TEO : integer; {Tempo gasto com espera p/atividades compl }
  HCH : real; {Hora da chegada no sistema}
  HID : real; {Hora do início da digitação dos itens}
  HFD : real; {Hora do fim da digitação dos itens}
  HFP : real; {Hora do encerramento do pagamento}
  HFO : real; {Hora de encerramento de ativ }
  PRO : Ptr_Cli; {Endereçamento do próximo cliente}
  ANT : Ptr_Cli; {Endereçamento do cliente anterior}
  end;
  { : Registro com os atributos do cliente}

  {>>>>>>> SIM_FREN <<<<<<<}

  Ptr_Cx := ^CXREG;
  {Definição do Ponteiro Para o Registro dos atributos do Caixa}

  CXREG := : record
  NUMREG : real;longint;{Número de : registro}
  NUMCX : longint;{Número do Caixa}
  ABERTO : real;boolean;{Identificador de operação}
  LIVRE : boolean;{Identificador de estado do caixa}
  HRABE : real; {Hora em que o caixa foi aberto/fechado}
  HRLIV : real; {Hora em que o caixa ficou livre}
  CESTO : byte; {Identificador de tipo de caixa}
  TCLC : longint;{Saldo de clientes no caixa}
  TOIC : longint;{Saldo de itens no caixa}
  TCLF : longint;{Saldo de clientes na fila}
  TOIF : longint;{Saldo de itens na fila}
  TCLA : longint;{Total de clientes atendidos}
```

TCLE : longint; {Total de clientes que esperaram na fila}  
TFPD : longint; {Total de clientes que pagaram em dinheiro}  
TFPC : longint; {Total de clientes que pagaram em cheque}  
TOCX : real; {Somatório da ociosidade do caixa}  
TOCX2 : real; {Somatório da ociosidade do caixa ao quadrado}  
TCXA : real; {Somatório de tempo de caixa aberto}  
TCXA2 : real; {Somatório de tempo de caixa aberto ao quadrado}  
TIEC : real; {Somatório dos intervalos entre chegada}  
TIEC2 : real; {Somatório dos intervalos entre chegada ao quadrado}  
TQIT : real; {Somatório das quantidades de itens digitados}  
TQIT2 : real; {Somatório das quantidades de itens digitados ao quadrado}  
TTDG : real; {Somatório do tempo gasto na digitação do TQIT}  
TTDG2 : real; {Somatório do tempo gasto na digitação do TQIT ao quadrado}  
TPD : real; {Somatório do tempo gasto em pagamento com dinheiro p/TFPD}  
TPD2 : real; {Somatório do tempo gasto em pagamento com dinheiro p/TFPD ao quadrado}  
TPC : real; {Somatório do tempo gasto em pagamento com cheque p/TFPC}  
TPC2 : real; {Somatório do tempo gasto em pagamento com cheque p/TFPC ao quadrado}  
TTOC : real; {Somatório dos tempos de ociosidade gerados}  
TTOC2 : real; {Somatório dos tempos de ociosidade gerados ao quadrado}  
TTEF : real; {Somatório dos tempos de espera na fila}  
TTEF2 : real; {Somatório dos tempos de espera na fila ao quadrado}  
TTEO : real; {Somatório dos tempos de ociosidade 'custo do sistema'}  
TTEO2 : real; {Somatório dos tempos de ociosidade 'custo do sistema' ao quadrado}  
PRO : Ptr\_Cx; {Endereçamento do próximo caixa}  
ANT : Ptr\_Cx; {Endereçamento do caixa anterior}  
PF : Ptr\_Cli; {Endereçamento do primeiro cliente na fila do caixa}  
UF : Ptr\_Cli; {Endereçamento do último cliente da fila na caixa}  
end;

var

{>>>>>>> SIM\_LEIT <<<<<<<<<<}

CONTADOR : byte;  
{Controlador do número de taxas instantâneas lidas no arquivo SIM\_TAXA.TXT}  
MT : TMT;  
{Implementação da matriz com os dados da TAXA DE CHEGADA}  
MI : TMI;  
{Implementação da matriz com os dados da distribuição de probabilidade}  
{da QUANTIDADE DE ITENS}  
MD : TMD;  
{Implementação da matriz com os dados da distribuição de probabilidade}  
{da VELOCIDADE MÉDIA DE DIGITAÇÃO}  
MFP : TMFP;  
{Implementação da PRIMEIRA matriz com os dados da distribuição de  
probabilidade da FORMA DE PAGAMENTO}  
MFPM : real; TMFPM;  
{Implementação da SEGUNDA matriz com os dados da distribuição de}  
{probabilidade da FORMA DE PAGAMENTO}  
MPD : TMPD;  
{Implementação da matriz com os dados da distribuição de probabilidade}  
{da VELOCIDADE DE PAGAMENTO EM DINHEIRO}  
MPC : TMPC;  
{Implementação da matriz com os dados da distribuição de probabilidade}  
{da VELOCIDADE DE PAGAMENTO EM CHEQUE}

{>>>>>>> SIM\_GERA <<<<<<<<<<}

CLIENTE: Ptr\_cli;  
{Implementação da variável identificadora do CLIENTE}  
NUM\_CLIENTE: Integer;  
{Número de ordem do cliente}  
MEDIA,VARIANCIA : real;  
RELOGIO : real;  
{Marca a hora absoluta do sistema }  
HORA\_INICIO : real;  
{Contém a hora que inicia a simulação - informado pelo usuário }  
HORA\_FIM : real;  
{Contém a hora que finda a simulação - informado pelo usuário }  
TESTE\_FIM : boolean;  
{Controla o fim de uma : rodada de simulação }  
N\_PR : real;  
{Recebe o número pseudo-aleatório gerado }  
ULTIMA\_POSICAO\_DE\_PESQUISA : byte;  
{Variável auxiliar da procedure LOCA\_TAXA - pesquisa para frente }  
SEMENTE, INCR\_SEM, SEMEM : longint;  
{Semente inicializadora da corrida de números pseudo-aleatórios }  
MEDIA,VARIANCIA : real;  
{Parâmetros da LOG NORMAL no : rotina da ociosidade}  
T1, T2 : Integer;  
{Tempos de ociosidade dados pela LOGNORMAL}  
F, ARQCLI : text;

```
{Identificador de arquivos texto }
I, J : byte;
{Índices matriciais }
MRANDSEED : array [1..11] of longint;
{Contém as sementes para o gerador de NPAs }

{>>>>> SIM_FREN <<<<<<}

CAIXA : Ptr_Cx;
{Variável intermediária para os Caixas}
CAIXA_GERAL : Ptr_Cx;
{Registro de controle geral do sistema}
PRIMEIRO,ULTIMO : Ptr_Cx;
{Registro endereço do primeiro e último caixa do sistema}
NUM_CAIXA : longint;
{Número de ordem dos caixas}
QTDE_CAIXAS : integer;
{Quantidade de caixas abertos}
CESTO : byte;
{Quantidade de itens p/ caixa exclusiva para cestinha}
TEMPO_ABERTO : real;
{Tempo obrigatório de caixa aberto}
TEMPO_OCIOSO : real;
{Tempo mínimo de ociosidade para fechamento de um caixa}
RESP : char;
FEITO : boolean;
CONT_SIM : byte;
{Contador de : replicações}
DIA,MES,ANO,DIAS : word;
{Variáveis para obtenção da data do sistema}
H,M,S,DS100 : word;
{Variáveis para obtenção da hora do sistema}

{>>>>> SIM_COLE <<<<<<}

MCO : TMCO;
{Implementação da matriz para coleta de informações estatísticas}
MME : TMME;
{Implementação da matriz para recepção de análises estatísticas}

{>>>>> SIM_SAID <<<<<<}

G : text;
{Arquivo para eventual registro analítico dos clientes}

{>>>>> : REPETIÇÕES <<<<<<}

REPETICOES : byte;
MULTIPLICADOR : real;

Implementation
end
{----- FINAL DA UNIDADE -----}
```

### E.3. *Unidade de Carga das Matrizes de Entrada*

```
UNIT SIM_LEIT;

interface

uses SIM_VARI;

procedure LE_ARQUIVO_DE TAXAS;
procedure LE_ARQUIVO_DE_DISTR_DE_PROB_DOS_ITENS;
procedure LE_ARQUIVO_DE_DISTR_DE_PROB_DO_TEMPO_DE_DIGITACAO;
procedure LE_ARQUIVO_DE_DISTR_DE_PROB_DA_FORMA_DE_PAGAMENTO;
procedure LE_ARQUIVO_DE_TEMPO_DE_PAGAMENTO;

{----- SEPARADOR DE BLOCOS -----}

implementation

procedure LE_ARQUIVO_DE TAXAS;
var
I, J : byte;
{Índices da matriz}
F : text;
{Pseudônimo do arquivo texto}
```

```
begin
assign(F,'SIM_TAXA TXT');
reset(F);
CONTADOR := 1;
while (not eof(F)) do
begin
readln(F,MT[CONTADOR,1],MT[CONTADOR,2]);
CONTADOR := CONTADOR + 1
end;
close(F);
end;

{ ----- SEPARADOR DE BLOCOS ----- }

procedure LE_ARQUIVO_DE_DISTR_DE_PROB_DOS_ITENS;
var
I, J : byte;
  {Indices da matriz}
F : text;
  {Pseudonimo do arquivo texto}
begin
assign(F,'SIM_ITEM TXT');
reset(F);
I := 1;
while (not eof(F)) do
begin
for J := 1 to 32 do read(F,M[I,J]);
I := I + 1;
end;
close(F);
end;

{ ----- SEPARADOR DE BLOCOS ----- }

procedure LE_ARQUIVO_DE_DISTR_DE_PROB_DO_TEMPO_DE_DIGITACAO;
var
I, J : byte;
  {Indices da matriz}
F : text;
  {Pseudonimo do arquivo texto}
begin
assign(F,'SIM_TDG TXT');
reset(F);
I := 1;
while (not eof(F)) do
begin
for J := 1 to 32 do read(F,MD[I,J]);
I := I + 1;
end;
close(F);
end;

{ ----- SEPARADOR DE BLOCOS ----- }

procedure LE_ARQUIVO_DE_DISTR_DE_PROB_DA_FORMA_DE_PAGAMENTO;
var
I, J : byte;
  {Indices da matriz}
F : text;
  {Pseudonimo do arquivo texto}
begin
assign(F,'SIM_FPG TXT');
reset(F);
I := 1;
while (not eof(F)) do
begin
readln(F,MFP[I]);
I := I + 1;
end;
close(F);
assign(F,'SIM_FPM TXT');
reset(F);
I := 1;
while (not eof(F)) do
begin
for J := 1 to 6 do read(F,MFPM[I,J]);
I := I + 1;
end;
close(F);
end;

{ ----- SEPARADOR DE BLOCOS ----- }
```

```
procedure LE_ARQUIVO_DE_TEMPO_DE_PAGAMENTO;
var
  I, J : byte;
  {Indices da matriz}
  F : text;
  {Pseudônimo do arquivo texto}
begin
  assign(F,'SIM_TPGD TXT');
  reset(F);
  I := 1;
  while not eof(F) do
  begin
    for J := 1 to 32 do read(F,MPD[I,J]);
    I := I + 1;
  end;
  close(F);
  assign(F,'SIM_TPGC TXT');
  reset(F);
  I := 1;
  while not eof(F) do
  begin
    for J := 1 to 32 do read(F,MPC[I,J]);
    I := I + 1;
  end;
  close(F);
end;

{ ----- SEPARADOR DE BLOCOS ----- }

end

{ ----- FINAL DA UNIDADE ----- }
```

#### E.4. *Unidade de Geração de Atributos*

```
unit SIM_GERA;

Interface

uses SIM_VARI;

procedure INICIALIZACAO_DE_MATRIZ_DE_SEMENTES;
function LOCA_TAXA : real;
procedure GERA_CHEGADA;
procedure ATRIBUI_QUANTIDADE_DE_ITENS;
procedure ATRIBUI_TEMPO_DE_DIGITACAO;
procedure ATRIBUI_FORMA_DE_PAGAMENTO;
procedure ATRIBUI_TEMPO_DE_PAGAMENTO;
procedure CONVERGENCIA_LINEAR;
procedure GERA_DISTRIBUICAO_LOGNORMAL;
procedure ATRIBUI_TEMPO_DE_OCIOSIDADE;

Implementation

{ ----- SEPARADOR DE BLOCOS ----- }

procedure INICIALIZACAO_DE_MATRIZ_DE_SEMENTES;
VAR
  CICLO : longint;
  I : byte;
begin
  randomize;
  MRANDSEED[1] := SEMEM;
  RandSeed := MRANDSEED[1];
  for I := 2 TO 11 do
  begin
    for CICLO := 1 TO 1000 do N_PR := random;
    MRANDSEED[I] := RandSeed;
  end;
end;

{ ----- SEPARADOR DE BLOCOS ----- }

function LOCA_TAXA : real; {Localiza e calcula a taxa correspondente a hora}
begin
```

```
I := ULTIMA_POSICAO_DE_PESQUISA;
while (I < CÔNTADOR-1) and (MT[I,1] <= RELOGIO) do I := I + 1;
ULTIMA_POSICAO_DE_PESQUISA := I;
LOCA_TAXA := MT[I-1,2] + (((MT[I,2]-MT[I-1,2])/(MT[I,1]-MT[I-1,1]))
* (RELOGIO-MT[I-1,1]));
{TAXA := y1 + (((y2-y1)/(x2-x1))*(RELOGIO-x1))-> Calculo da taxa instantanea }
end;
```

```
{ ----- SEPARADOR DE BLOCOS ----- }
```

```
procedure GERA_CHEGADA;
begin
RandSeed := MRANDSEED[9];
N_PR := random;
MRANDSEED[9] := RandSeed;
CLIENTE ^ NUMCLI := NUM_CLIENTE;
CLIENTE ^ IEC := ((60/LOCA_TAXA)*(-1))*(ln(N_PR))/3600;
RELOGIO := RELOGIO + CLIENTE ^ IEC;
CLIENTE ^ HCH := RELOGIO;
end;
```

```
{ ----- SEPARADOR DE BLOCOS ----- }
```

```
procedure ATRIBUI_QUANTIDADE_DE_ITENS;
var
PONTO_ITEM, P_PROB_I : real;
{Indicadores cartesianos do ponto de conexao da cauda exponencial }
N : byte;
{Receptor do 5 digito do N_PR}
I, J : byte;
{Indices matriciais}
begin
RandSeed := MRANDSEED[1];
N_PR := random;
MRANDSEED[1] := RandSeed;
I := trunc(RELOGIO)-5;
if (N_PR < frac(MI[I,32])) or (frac(MI[I,32]) := 0) then
begin
J := 2;
while MI[I,J] < N_PR do J := J + 1;
CLIENTE ^ QIT := J-1;
end
else
begin
I := 18;
RandSeed := MRANDSEED[2];
N_PR := random;
MRANDSEED[2] := RandSeed;
N := trunc((frac(N_PR*10000))*10);
if (N_PR < frac(MI[18,32])) then
begin
J := 2;
while MI[I,J] < N_PR do J := J + 1;
if N < 5
then CLIENTE ^ QIT := 29 + (2*(J-1))
else CLIENTE ^ QIT := 30 + (2*(J-1));
end
else
begin
PONTO_ITEM := 90;
P_PROB_I := frac(MI[18,32]);
CLIENTE ^ QIT := trunc(PONTO_ITEM*(ln(1-N_PR)/ln(1-P_PROB_I)) + 1);
end;
end;
end;
end;
```

```
{ ----- SEPARADOR DE BLOCOS ----- }
```

```
procedure ATRIBUI_TEMPO_DE_DIGITACAO;
var
P_TEMPO, P_PROB : real;
{Indicadores cartesianos do ponto de conexao da cauda exponencial }
N : byte;
{Receptor do 5 digito do N_PA}
I, J : byte;
{Indices matriciais}
begin
RandSeed := MRANDSEED[4];
N_PR := random;
MRANDSEED[4] := RandSeed;
if CLIENTE ^ QIT > 19
then I := 21
```



```
else I := CLIENTE ^ QIT + 1;
J := 2;
if (N_PR < frac(MD[I,32])) or (frac(MD[I,32]) := 0) then
begin
J := 2;
while MD[I,J] < N_PR do J := J + 1;
CLIENTE ^ TDG := (J-1) * CLIENTE ^ QIT;
end
else
begin
I := 22;
RandSeed := MRANDSEED[10];
N_PR := random;
MRANDSEED[10] := RandSeed;
N := trunc((frac(N_PR*10000))*10);
if (N_PR < frac(MD[I,32])) then
begin
J := 2;
while MD[I,J] < N_PR do J := J + 1;
if N < 5
then CLIENTE ^ TDG := (29 + (2*(J-1))) * CLIENTE ^ QIT
else CLIENTE ^ TDG := (30 + (2*(J-1))) * CLIENTE ^ QIT;
end
else
begin
P_TEMPO := 90;
P_PROB := frac(MD[22,32]);
CLIENTE ^ TDG := (round(P_TEMPO *
((ln(1-N_PR))/(ln(1-P_PROB))) + 1)) * CLIENTE ^ QIT;
end;
end;
end;
```

{----- SEPARADOR DE BLOCOS -----}

```
procedure ATRIBUI_FORMA_DE_PAGAMENTO;
const
A : real := 0.60562; {Parametros da}
B : real := -0.01369; {funcao exp // Somatorio de Pi*Ni, i > 16 itens}
VAR
Y : real;
{Variavel transitoria para forma de pagamento }
I, J : integer;
{Indices matriciais}
begin
RandSeed := MRANDSEED[3];
N_PR := random;
MRANDSEED[3] := RandSeed;
if trunc(RELOGIO) < 9
then I := 1
else I := trunc(RELOGIO-7);
J := CLIENTE ^ QIT;
if J > 16
then Y := A * exp(B * J)
else
if J < 6
then Y := MFPM[I,J]
else Y := MFP[J];
if J > 5
then Y := Y * MFPM[I,6];
if N_PR < Y
then CLIENTE ^ FPG := 0
else CLIENTE ^ FPG := 1;
end;
```

{----- SEPARADOR DE BLOCOS -----}

```
procedure ATRIBUI_TEMPO_DE_PAGAMENTO;
var
Y : real;
{Variavel transitoria para forma de pagamento }
PONTO_TEMPO, PONTO_PROB : real;
N : byte;
{Receptor do 5 digito do N_PA}
I, J : byte;
{Indices matriciais}
begin
N := trunc((frac(N_PR*10000))*10);
if RELOGIO < 9
then I := 2
else I := trunc(relogio)-6;
if CLIENTE ^ FPG := 0 then
```

```
begin
RandSeed := MRANDSEED[6];
N_PR := random;
MRANDSEED[6] := RandSeed;
if (N_PR < frac(MPD[1,32])) or (frac(MPD[1,32]) = 0) then
begin
J := 2;
while MPD[1,J] < N_PR DO J := J + 1;
CLIENTE ^ TPG := J - 1;
end
else
begin
I := 17;
RandSeed := MRANDSEED[7];
N_PR := random;
MRANDSEED[7] := RandSeed;
if N_PR < frac(MPD[1,32]) then
begin
J := 2;
while MPD[1,J] < N_PR DO J := J + 1;
if N < 5
then CLIENTE ^ TPG := 29 + (2*(J-1))
else CLIENTE ^ TPG := 30 + (2*(J-1));
end
else
begin
PONTO_TEMPO := 90;
PONTO_PROB := frac(MPD[1,32]);
Y := PONTO_TEMPO*((ln(1-N_PR))/(ln(1-PONTO_PROB))) + 1;
CLIENTE ^ TPG := trunc(Y);
end;
end;
end
else
begin
RandSeed := MRANDSEED[8];
N_PR := random;
MRANDSEED[8] := RandSeed;
if (N_PR < frac(MPC[1,32])) or (frac(MPC[1,32]) = 0) then
begin
J := 2;
while MPC[1,J] < N_PR DO J := J + 1;
CLIENTE ^ TPG := ((J - 2) * 10) + N;
end
else
begin
PONTO_TEMPO := Int(MPC[1,32]);
PONTO_PROB := frac(MPC[1,32]);
Y := PONTO_TEMPO*((ln(1-N_PR))/(ln(1-PONTO_PROB))) + 1;
CLIENTE ^ TPG := trunc(Y) * 10 + N;
end;
CLIENTE ^ TPG := trunc(CLIENTE ^ TPG * MULTIPLICADOR);
end;
end;
end;
```

{ ----- SEPARADOR DE BLOCOS ----- }

```
procedure CONVERGENCIA_LINEAR;
const
M:real = 18 00;
MV:real = 0 445;
var
d1,d2,c1:real;
I : byte;
begin
d1:=0;
repeat
I:=I+1;
d2:=exp(-(sqr(d1))/2)/(M*MV*sqrt(2*pi));
c1:=d1;
d1:=d2;
until(c1 = d2);
VARIANCIA:=SQRT(D2);
MEDIA:=LN(M)+VARIANCIA;
end;
```

{ ----- SEPARADOR DE BLOCOS ----- }

```
procedure GERA_DISTRIBUICAO_LOGNORMAL;
var
U1, U2, V1, V2, W, Y, X, X1, X2 : real;
begin
```

```
W := 2;
while W > 1 do
begin
RandSeed := MRANDSEED[5];
U1 := random;
U2 := random;
MRANDSEED[5] := RandSeed;
U1 := random;
U2 := random;
V1 := 2 * U1 - 1;
V2 := 2 * U2 - 1;
W := sqr(V1) + sqr(V2);
end;
Y := sqrt((-2 * LN(W))/W);
X1 := V1 * Y; { N(0,1) }
X2 := V2 * Y; { N(0,1) }
for i := 1 to 2 do
begin
if i = 1
then T1 := trunc(exp(X1 * sqrt(VARIANCIA) + MEDIA))
else T2 := trunc(exp(X2 * sqrt(VARIANCIA) + MEDIA));
end;
end;

{ ----- SEPARADOR DE BLOCOS ----- }

procedure ATRIBUI_TEMPO_DE_OCIOSIDADE;
begin
{
if (T2 := 0) then
begin
GERA_DISTRIBUICAO_LOGNORMAL;
CLIENTE ^ TOC := T1;
T1 := 0;
end
else
begin
CLIENTE ^ TOC := T2;
T2 := 0;
end;
}
CLIENTE ^ TOC := 0;
end;

{ ----- SEPARADOR DE BLOCOS ----- }

end

{ ----- FINAL DA UNIDADE ----- }
```

## E.5. *Unidade de Administração da Frente de Caixas*

```
unit SIM_FREN;

Interface

uses SIM_VARI;

function CRIA_NOVO_CAIXA(NCX : Ptr_Cx; NUM_CAIXA : longInt; CESTO : byte) : Ptr_Cx;
function POSICIONA_NA_FRENTE_DE_CAIXA(CAIXA, PRIMEIRO : Ptr_Cx;
var ULTIMO : Ptr_Cx) : Ptr_Cx;
procedure INCLUIR_CLIENTES(PRIMEIRO : Ptr_Cx ; CLIENTE : Ptr_Cli);

function ESCOLHE_CAIXA_MENOR_FILA(PRIMEIRO : Ptr_Cx;
CLIENTE : Ptr_Cli) : Ptr_Cx;
function INSERE_CLIENTE_NA_FILA(CLIENTE, PF : Ptr_Cli;
var UF : Ptr_Cli) : Ptr_Cli;
function RETIRA_O_PRIMEIRO_DA_FILA(PRIMEIRO : Ptr_Cli) : Ptr_Cli;
function EXCLUIR_CLIENTES(PRIMEIRO : Ptr_Cx) : boolean;
function EXCLUIR_CLIENTES_FIM(PRIMEIRO : Ptr_Cx) : boolean;
function ESCOLHE_CAIXA_PROXIMO_ATENDIMENTO(PRIMEIRO : Ptr_Cx) : Ptr_Cx;
function PROCURA_CAIXA_FECHAR(PRIMEIRO : Ptr_Cx) : Ptr_Cx;
function PROCURA_CAIXA_FECHAR_FIM(PRIMEIRO : Ptr_Cx) : Ptr_Cx;
function FECHA_CAIXA(PRIMEIRO, CAIXA : Ptr_Cx;
var ULTIMO : Ptr_Cx) : Ptr_Cx;
procedure CONTABILIZA_TOTAIS(CAIXA : Ptr_Cx);

Implementation
```

```
{***** CRIA UM NOVO CAIXA *****}
```

```
function CRIA_NOVO_CAIXA;
begin
  new(NCX);
  NCX ^ NUMREG := NUM_CAIXA;
  NCX ^ NUMCX := NUM_CAIXA;
  NCX ^ ABERTO := true;
  NCX ^ HRABE := RELOGIO;
  NCX ^ LIVRE := true;
  NCX ^ HRLIV := RELOGIO;
  NCX ^ CESTO := CESTO;
  NCX ^ TOCX := 0;
  NCX ^ TOCX2 := 0;
  NCX ^ TCXA := 0;
  NCX ^ TCXA2 := 0;
  NCX ^ TCLA := 0;
  NCX ^ TCLE := 0;
  NCX ^ TCLF := 0;
  NCX ^ TCLC := 0;
  NCX ^ TIEC := 0;
  NCX ^ TIEC2 := 0;
  NCX ^ TQIT := 0;
  NCX ^ TQIT2 := 0;
  NCX ^ TQIF := 0;
  NCX ^ TQIC := 0;
  NCX ^ TTDG := 0;
  NCX ^ TTDG2 := 0;
  NCX ^ TFPD := 0;
  NCX ^ TFPC := 0;
  NCX ^ TTPD := 0;
  NCX ^ TTPD2 := 0;
  NCX ^ TTPC := 0;
  NCX ^ TTPC2 := 0;
  NCX ^ TTOC := 0;
  NCX ^ TTOC2 := 0;
  NCX ^ TTEF := 0;
  NCX ^ TTEF2 := 0;
  NCX ^ TTEO := 0;
  NCX ^ TTEO2 := 0;
  NCX ^ PF := nil;
  NCX ^ UF := nil;
  CRIA_NOVO_CAIXA := NCX;
end;
```

```
{***** POSICIONA UM NOVO CAIXA NA FRENTE DE CAIXAS *****}
```

```
function POSICIONA_NA_FRENTE_DE_CAIXA;
var
  velho, topo : Ptr_Cx;
  {Ponteiros de controle interno}
  feito : boolean;
  {Booleanana de controle interno}

begin
  TOPO := PRIMEIRO;
  VELHO := nil;
  FEITO := false;

  If PRIMEIRO := nil then {Primeiro Elemento da Lista}
  begin
    CAIXA ^ PRO := nil;
    ULTIMO := CAIXA;
    CAIXA ^ ANT := nil;
    POSICIONA_NA_FRENTE_DE_CAIXA := CAIXA;
  end
  else
  begin
    while (PRIMEIRO <> NIL) and (not feito) do
    begin
      if PRIMEIRO ^ NUMCX < CAIXA ^ NUMCX then
      begin
        VELHO := PRIMEIRO;
        PRIMEIRO := PRIMEIRO ^ PRO;
      end
      else {Para o Meio}
      begin
        if VELHO <> nil then
        begin
          VELHO ^ PRO := CAIXA;
          CAIXA ^ PRO := PRIMEIRO;
          PRIMEIRO ^ ANT := CAIXA;
        end
      end
    end
  end
end;
```

```
CAIXA ^ ANT := VELHO;
POSICIONA_NA_FRENTE_DE_CAIXA := TOPO; {Mantem o Mesmo Inicio}
FEITO := true;
end
else
begin {Novo Primeiro}
CAIXA ^ PRO := PRIMEIRO;
CAIXA ^ ANT := nil;
POSICIONA_NA_FRENTE_DE_CAIXA := CAIXA;
FEITO := true;
end;
end;
end;
If not FEITO then
begin {Para o Fim}
ULTIMO ^ PRO := CAIXA;
CAIXA ^ PRO := nil;
CAIXA ^ ANT := ULTIMO;
ULTIMO := CAIXA;
POSICIONA_NA_FRENTE_DE_CAIXA := TOPO;
end;
end;
end;{POSICIONA_NA_FRENTE_DE_CAIXA}

{***** INSERE UM CLIENTE NA FILA DE DETERMINADO CAIXA *****}

function INSERE_CLIENTE_NA_FILA;
var
velho, topo : Ptr_Cli;
{Ponteiros de controle interno}
feito : boolean;
{Booleanana de controle interno}
begin
TOPO := PF;
VELHO := nil;
FEITO := false;
If PF := nil then
begin
{Primeiro Elemento da Lista}
CLIENTE ^ PRO := nil;
UF := CLIENTE;
CLIENTE ^ ANT := nil;
INSERE_CLIENTE_NA_FILA := CLIENTE;
end
else
begin
while (PF <> NIL) and (not feito) do
begin
If PF ^ NUMCLI < CLIENTE ^ NUMCLI then
begin
VELHO := PF;
PF := PF ^ PRO;
end
else {Para o Meio}
begin
If VELHO <> nil then
begin
VELHO ^ PRO := CLIENTE;
CLIENTE ^ PRO := PF; ; {Mantem o Mesmo Inicio}
FEITO := true;
end
else
begin {Novo Primeiro}
CLIENTE ^ PRO := PF;
CLIENTE ^ ANT := nil;
INSERE_CLIENTE_NA_FILA := CLIENTE;
FEITO := true;
end;
end;
end;
If not FEITO then
begin {Para o Fim}
UF ^ PRO := CLIENTE;
CLIENTE ^ PRO := nil;
CLIENTE ^ ANT := UF;
UF := CLIENTE;
INSERE_CLIENTE_NA_FILA := TOPO;
end;
end;
end;{INSERE_NA_FILA}

{***** EXCLUI O PRIMEIRO CLIENTE DA FILA DE DETERMINADO CAIXA *****}
```

```
function RETIRA_O_PRIMEIRO_DA_FILA;
var
  CLIENTE : Ptr_Cli;
begin
  CLIENTE := PRIMEIRO;
  if PRIMEIRO <> nil then
  if PRIMEIRO ^ PRO <> nil then
  begin
    PRIMEIRO := PRIMEIRO ^ PRO;
    PRIMEIRO ^ ANT := nil;
  end
  else
  begin
    PRIMEIRO := nil;
  end;
  dispose(CLIENTE);
  RETIRA_O_PRIMEIRO_DA_FILA := PRIMEIRO;
end;

{***** PROCURA UM DETERMINADO CAIXA PARA FECHAR *****}

function PROCURA_CAIXA_FECHAR;
var
  TEMP : real;Ptr_Cx;
  FEITO : boolean;
begin
  FEITO := false;
  TEMP := PRIMEIRO;
  while (PRIMEIRO <> nil) and (not FEITO) do
  begin
    if (PRIMEIRO ^ ABERTO) and (PRIMEIRO ^ LIVRE) and
    (RELOGIO-PRIMEIRO ^ HRABE >= TEMPO_ABERTO) and
    (RELOGIO-PRIMEIRO ^ HRLIV >= TEMPO_OCIOSO) then
    begin
      PROCURA_CAIXA_FECHAR := PRIMEIRO;
      FEITO := true;
    end
    else PRIMEIRO := PRIMEIRO ^ PRO;
  end;
  if not FEITO then PROCURA_CAIXA_FECHAR := nil;
end;

{***** PROCURA UM DETERMINADO CAIXA PARA FECHAR NO FINAL *****}

function PROCURA_CAIXA_FECHAR_FIM;
var
  TEMP : real;Ptr_Cx;
  FEITO : boolean;
begin
  FEITO := false;
  TEMP := PRIMEIRO;
  while (PRIMEIRO <> nil) and (not FEITO) do
  begin
    if (PRIMEIRO ^ ABERTO) and (PRIMEIRO ^ LIVRE) then
    begin
      PROCURA_CAIXA_FECHAR_FIM := PRIMEIRO;
      FEITO := true;
    end
    else PRIMEIRO := PRIMEIRO ^ PRO;
  end;
  if not FEITO then PROCURA_CAIXA_FECHAR_FIM := nil;
end;

{***** FECHA UM DETERMINADO CAIXA *****}

function FECHA_CAIXA;
var
  TEMP : Ptr_Cx;
begin
  TEMP := CAIXA;
  if PRIMEIRO := CAIXA then
  begin
    if PRIMEIRO ^ PRO := nil then
    begin
      PRIMEIRO := nil;
    end
    else
    begin
      PRIMEIRO := PRIMEIRO ^ PRO;
      PRIMEIRO ^ ANT := nil;
    end
  end
end
```

```
end
else
begin
if ULTIMO := CAIXA then
begin
ULTIMO := CAIXA ^ ANT;
CAIXA ^ ANT ^ PRO := nil;
end
else
begin
CAIXA ^ ANT ^ PRO := CAIXA ^ PRO;
CAIXA ^ PRO ^ ANT := CAIXA ^ ANT;
end;
end;
FECHA_CAIXA := PRIMEIRO;
dispose(TEMP);
end;

{***** ESCOLHE CAIXA COM A MENOR FILA PARA INCLUSAO NOVO CLIENTE *****}

function ESCOLHE_CAIXA_MENOR_FILA;
var
CAIXA : Ptr_Cx;
OPTA : boolean;
TIPO,N : byte;
begin
CAIXA := PRIMEIRO;
If CLIENTE ^ QIT > CESTO
then TIPO := 0
else TIPO := CESTO;
while (PRIMEIRO ^ PRO <> NIL) do
begin
RandSeed := MRANDSEED[11];
N_PR := random;
MRANDSEED[11] := RandSeed;
N := trunc((frac(N_PR*100000))*10);
if N >= 5
then OPTA := true
else OPTA := false;
if TIPO := 0
then { Clientes nao cesto obrigados a caixas nao cesto
preferindo o menor numero de clientes na fila}
begin
if (PRIMEIRO ^ PRO ^ CESTO=TIPO)
then
if (PRIMEIRO ^ PRO ^ TCLC <= CAIXA ^ TCLC)
then if (PRIMEIRO ^ PRO ^ TCLC < CAIXA ^ TCLC)
then CAIXA := PRIMEIRO ^ PRO
else
if PRIMEIRO ^ PRO ^ TQIC <= CAIXA ^ TQIC
then
if PRIMEIRO ^ PRO ^ TQIC < CAIXA ^ TQIC
then CAIXA := PRIMEIRO ^ PRO
else if OPTA then CAIXA := PRIMEIRO ^ PRO
end
else { Cesto escolha livre do caixa
preferindo menor quantidade de itens na fila}
begin
if (PRIMEIRO ^ PRO ^ TQIC <= CAIXA ^ TQIC)
then
if (PRIMEIRO ^ PRO ^ TQIC < CAIXA ^ TQIC)
then CAIXA := PRIMEIRO ^ PRO
else
if (PRIMEIRO ^ PRO ^ TCLC <= CAIXA ^ TCLC)
then
if (PRIMEIRO ^ PRO ^ TCLC < CAIXA ^ TCLC)
then CAIXA := PRIMEIRO ^ PRO
else
if OPTA then CAIXA := PRIMEIRO ^ PRO;
end;
PRIMEIRO := PRIMEIRO ^ PRO;
end;
ESCOLHE_CAIXA_MENOR_FILA := CAIXA;
end;

{***** ESCOLHE O CAIXA PARA O PROXIMO ATENDIMENTO *****}

function ESCOLHE_CAIXA_PROXIMO_ATENDIMENTO;
var
CAIXA : Ptr_Cx;
FEITO : boolean;
begin
```

```
var
CAIXA Ptr_Cx;
begin
CAIXA := ESCOLHE_CAIXA_MENOR_FILÀ(PRIMEIRO,CLIENTE);
if CAIXA ^ LIVRE
then
begin
CAIXA ^ LIVRE := false;
if (CLIENTE ^ HCH-CAIXA ^ HRLM) > (CLIENTE ^ TOC/3600)
then
begin
CLIENTE ^ TEO := 0;
CLIENTE ^ TEF := 0;
CLIENTE ^ HFO := CLIENTE ^ HCH ;
CAIXA ^ TOCX := CAIXA ^ TOCX +
((CLIENTE ^ HCH-CAIXA ^ HRLM)*3600)-CLIENTE ^ TOC/3600;
CAIXA ^ TOCX2 := CAIXA ^ TOCX2 +
sqr(((CLIENTE ^ HCH-CAIXA ^ HRLM)*3600)-CLIENTE ^ TOC/3600);
CAIXA_GERAL ^ TOCX := CAIXA_GERAL ^ TOCX +
((CLIENTE ^ HCH-CAIXA ^ HRLM)*3600)-CLIENTE ^ TOC/3600;
CAIXA_GERAL ^ TOCX2 := CAIXA_GERAL ^ TOCX2 +
sqr(((CLIENTE ^ HCH-CAIXA ^ HRLM)*3600)-CLIENTE ^ TOC/3600);
end
else
begin
CLIENTE ^ TEO := (CLIENTE ^ TOC)- trunc((CLIENTE ^ HCH-CAIXA ^ HRLM)*3600);
CLIENTE ^ HFO := (CLIENTE ^ TEO/3600) + CLIENTE ^ HCH;
end;
CLIENTE ^ HID := CLIENTE ^ HFO;
CLIENTE ^ HFD := CLIENTE ^ HID + (CLIENTE ^ TDG/3600);
CLIENTE ^ HFP := CLIENTE ^ HFD + (CLIENTE ^ TPG/3600);
CLIENTE ^ TEF := CLIENTE ^ TEO;
end
else
begin
CAIXA ^ TCLF := CAIXA ^ TCLF + 1;
CAIXA_GERAL ^ TCLF := CAIXA_GERAL ^ TCLF + 1;
CLIENTE ^ HFO := CAIXA ^ UF ^ HFP;
CLIENTE ^ HID := CLIENTE ^ HFO;
CLIENTE ^ HFD := CLIENTE ^ HID + (CLIENTE ^ TDG/3600);
CLIENTE ^ HFP := CLIENTE ^ HFD + (CLIENTE ^ TPG/3600);
CLIENTE ^ TEF := trunc((CLIENTE ^ HID - CLIENTE ^ HCH)*3600);
if trunc((CLIENTE ^ HID-CLIENTE ^ HCH)*3600) < CLIENTE ^ TOC
then CLIENTE ^ TEO := trunc((CLIENTE ^ HID - CLIENTE ^ HCH)*3600)
else CLIENTE ^ TEO := CLIENTE ^ TOC;
if CLIENTE ^ TEF > 0 then
begin
CAIXA ^ TQIF := CAIXA ^ TQIF + CLIENTE ^ QIT;
CAIXA_GERAL ^ TQIF := CAIXA_GERAL ^ TQIF + CLIENTE ^ QIT;
end;
end;
CAIXA ^ TCLC := CAIXA ^ TCLC + 1;
CAIXA_GERAL ^ TCLC := CAIXA_GERAL ^ TCLC + 1;
CAIXA ^ TQIC := CAIXA ^ TQIC + CLIENTE ^ QIT;
CAIXA_GERAL ^ TQIC := CAIXA_GERAL ^ TQIC + CLIENTE ^ QIT;
CAIXA ^ TIEC := CAIXA ^ TIEC + (CLIENTE ^ IEC * 3600);
CAIXA ^ TIEC2 := CAIXA ^ TIEC2 + sqr(CLIENTE ^ IEC * 3600);
CAIXA_GERAL ^ TIEC := CAIXA_GERAL ^ TIEC + (CLIENTE ^ IEC * 3600);
CAIXA_GERAL ^ TIEC2 := CAIXA_GERAL ^ TIEC2 + sqr(CLIENTE ^ IEC * 3600);
CAIXA ^ PF := INSERE_CLIENTE_NA_FILA(CLIENTE,CAIXA ^ PF,CAIXA ^ UF);
end;

{***** EXCLUSAO DE UM CLIENTE EM UMA FILA DE UM CAIXA *****}

function EXCLUIR_CLIENTES;
var
CAIXA Ptr_Cx;
CLIENTE : Ptr_Cli;
begin
FEITO := true;
CAIXA := ESCOLHE_CAIXA_PROXIMO_ATENDIMENTO(PRIMEIRO);
if (CAIXA <> nil) and (CAIXA ^ PF <> nil) and (CAIXA ^ PF ^ HFP <= RELOGIO) then
begin
if CAIXA ^ PF ^ PRO <> nil
then
begin
begin
CAIXA ^ TCLF := CAIXA ^ TCLF - 1;
CAIXA_GERAL ^ TCLF := CAIXA_GERAL ^ TCLF - 1;
EXCLUIR_CLIENTES := false;
end
else
begin
```



```
CAIXA ^ TCLF := 0;
CAIXA ^ LIVRE := true;
CAIXA ^ HRLIV := CAIXA ^ PF ^ HFP;
EXCLUIR_CLIENTES := false;
end;
CONTABILIZA_TOTAIS(CAIXA);
CAIXA ^ PF := RETIRA_O_PRIMEIRO_DA_FILA(CAIXA ^ PF);
end
else
begin
EXCLUIR_CLIENTES := true;
end;
end;

{*** EXCLUSAO DOS CLIENTES REMANESCENTES DAS FILAS DOS CAIXAS ***}

function EXCLUIR_CLIENTES_FIM;
var
CAIXA Ptr_Cx;
CLIENTE Ptr_Cli;
begin
FEITO := true;
CAIXA := ESCOLHE_CAIXA_PROXIMO_ATENDIMENTO(PRIMEIRO);
if (CAIXA <> nil) and (CAIXA ^ PF <> nil) then
begin
if CAIXA ^ PF ^ PRO <> nil
then
begin
CAIXA ^ TCLF := CAIXA ^ TCLF - 1;
CAIXA_GERAL ^ TCLF := CAIXA_GERAL ^ TCLF - 1;
EXCLUIR_CLIENTES_FIM := false;
end
else
begin
CAIXA ^ TCLF := 0;
CAIXA ^ LIVRE := true;
CAIXA ^ HRLIV := CAIXA ^ PF ^ HFP;
EXCLUIR_CLIENTES_FIM := false;
end;
RELOGIO := CAIXA ^ PF ^ HFP;
{Relogio absoluto atualizado p/fim de atendimento}
CONTABILIZA_TOTAIS(CAIXA);
CAIXA ^ PF := RETIRA_O_PRIMEIRO_DA_FILA(CAIXA ^ PF);
end
else
begin
EXCLUIR_CLIENTES_FIM := true;
end;
end;
end
{----- FINAL DA UNIDADE ----- }
```

## E.6. *Unidade de Coleta de Informações Estatísticas*

UNIT SIM\_COLE;

Interface

uses SIM\_VARI;

```
procedure GUARDA_CAIXA_GERAL;
procedure GUARDA_ESTATISTICAS_UM;
procedure GUARDA_ESTATISTICAS_DOIS;
function DIVISAO(NUMERADOR, DENOMINADOR : : real) : real;
function CALCULA_DESVIO(SX1, SX2, N : : real) : real;
function CALCULA_FATOR_DE_CONFIANCA(DESVIO_PADRAO, N : : real) : real;
function CALCULA_TAMANHO_DA_AMOSTRA(DESVIO_PADRAO, N, ERRO : : real) : real;
procedure CALCULO_GERAL(I : byte);
```

Implementation

```
{-----SEPARADOR DE BLOCOS-----}
function DIVISAO;
begin
DIVISAO := NUMERADOR/DENOMINADOR;
end;
```

```
{-----SEPARADOR DE BLOCOS-----}
```

```
function CALCULA_DESVIO;
```

```
begin
CALCULA_DESVIO := (SQRT((SX12-(SQR(SX1)/N))/(N-1)));
end;

{----- SEPARADOR DE BLOCOS-----}

function CALCULA_FATOR_DE_CONFIANCA;

const
T : array [1 31] of : real :=
(12 706,4 303,3 182,2 776,2 571,2 447,2 365,2 306,2 262,2 228,
2 201,2 179,2 169,2 145,2 131,2 120,2 110,2 101,2 093,2 086,
2 080,2 074,2 069,2 064,2 060,2 056,2 052,2 048,2 045,2 042,1 96);
begin
CALCULA_FATOR_DE_CONFIANCA := T[NUM_SIM-1] * (DESVIO_PADRAO/sqrt(N));
end;

{----- SEPARADOR DE BLOCOS-----}

function CALCULA_TAMANHO_DA_AMOSTRA;

const
T : array [1 31] of : real :=
(12 706,4 303,3 182,2 776,2 571,2 447,2 365,2 306,2 262,2 228,
2 201,2 179,2 169,2 145,2 131,2 120,2 110,2 101,2 093,2 086,
2 080,2 074,2 069,2 064,2 060,2 056,2 052,2 048,2 045,2 042,1 96);
begin
CALCULA_TAMANHO_DA_AMOSTRA := sqr(T[NUM_SIM-1] * (DESVIO_PADRAO/ERRO));
end;

{----- SEPARADOR DE BLOCOS-----}

procedure GUARDA_CAIXA_GERAL;
var
XDIA,XMES,XANO,YDATA : string;
XDATA : real;
XERRO : integer;
I, J : byte;
begin
if CONT_SIM := 1 then
for I := 1 to 33 do for J := 1 to NUM_SIM do MCO[I,J] := 0;
str(DIA,XDIA);
str(MES,XMES);
str(ANO,XANO);
YDATA := concat(XDIA,XMES,XANO);
val(YDATA,XDATA,XERRO);
MCO[01,CONT_SIM] := XDATA;
MCO[02,CONT_SIM] := H + M/60 + S/3600;
MCO[03,CONT_SIM] := CONT_SIM;
MCO[04,CONT_SIM] := HORA_INICIO;
MCO[05,CONT_SIM] := HORA_FIM;
MCO[06,CONT_SIM] := RELOGIO;
MCO[07,CONT_SIM] := SEMEM;
MCO[08,CONT_SIM] := NUM_CLIENTE;
MCO[09,CONT_SIM] := NUM_CAIXA;
with CAIXA_GERAL ^ do
begin
MCO[10,CONT_SIM] := TCLA;
MCO[11,CONT_SIM] := TIEC;
MCO[12,CONT_SIM] := TIEC2;
MCO[13,CONT_SIM] := TQIT;
MCO[14,CONT_SIM] := TQIT2;
MCO[15,CONT_SIM] := TTDG;
MCO[16,CONT_SIM] := TTDG2;
MCO[17,CONT_SIM] := TFPD;
MCO[18,CONT_SIM] := TTPD;
MCO[19,CONT_SIM] := TTPD2;
MCO[20,CONT_SIM] := TFPC;
MCO[21,CONT_SIM] := TTPC;
MCO[22,CONT_SIM] := TTPC2;
MCO[23,CONT_SIM] := TCLE;
MCO[24,CONT_SIM] := TTEF;
MCO[25,CONT_SIM] := TTEF2;
MCO[26,CONT_SIM] := TTEO;
MCO[27,CONT_SIM] := TTEO2;
MCO[28,CONT_SIM] := TTOC;
MCO[29,CONT_SIM] := TTOC2;
MCO[30,CONT_SIM] := TCXA;
MCO[31,CONT_SIM] := TCXA2;
MCO[32,CONT_SIM] := TOCX;
MCO[33,CONT_SIM] := TOCX2;
end;
end;
```

end;

{----- SEPARADOR DE BLOCOS -----}

procedure GUARDA\_ESTADISTICAS\_UM;

var

I, J : byte;

begin

If CONT\_SIM := 1 then

for I := 1 to 30 do for J := 1 to NUM\_SIM + 4 do MME[I,J] := 0;

MME[01,CONT\_SIM] := DIVISAO(CAIXA\_GERAL ^ TIEC,NUM\_CLIENTE);

MME[02,CONT\_SIM] := DIVISAO(CAIXA\_GERAL ^ TQIT,CAIXA\_GERAL ^ TCLA);

MME[03,CONT\_SIM] := DIVISAO(CAIXA\_GERAL ^ TTDG,CAIXA\_GERAL ^ TCLA);

MME[04,CONT\_SIM] := DIVISAO(CAIXA\_GERAL ^ TTDG,CAIXA\_GERAL ^ TQIT);

MME[05,CONT\_SIM] := DIVISAO(CAIXA\_GERAL ^ TTPD,CAIXA\_GERAL ^ TFPD);

MME[06,CONT\_SIM] := DIVISAO(CAIXA\_GERAL ^ TTPC,CAIXA\_GERAL ^ TFPD);

MME[07,CONT\_SIM] := DIVISAO(CAIXA\_GERAL ^ TTEF,CAIXA\_GERAL ^ TCLE);

MME[08,CONT\_SIM] := DIVISAO(CAIXA\_GERAL ^ TTEF,CAIXA\_GERAL ^ TCLA);

{MME[09,CONT\_SIM] := DIVISAO(CAIXA\_GERAL ^ TTEO,CAIXA\_GERAL ^ TCLE);

MME[10,CONT\_SIM] := DIVISAO(CAIXA\_GERAL ^ TTEO,CAIXA\_GERAL ^ TCLA);

MME[11,CONT\_SIM] := DIVISAO(CAIXA\_GERAL ^ TTOC,NUM\_CLIENTE);

MME[12,CONT\_SIM] := DIVISAO(CAIXA\_GERAL ^ TCXA,((RELÓGIO - HORA INICIO)\*3600));

MME[20,CONT\_SIM] := CALCULA\_DESVIO(CAIXA\_GERAL ^ TIEC,CAIXA\_GERAL ^ TIEC2,NUM\_CLIENTE);

MME[21,CONT\_SIM] := CALCULA\_DESVIO(CAIXA\_GERAL ^ TQIT,CAIXA\_GERAL ^ TQIT2,CAIXA\_GERAL ^ TCLA);

MME[22,CONT\_SIM] := CALCULA\_DESVIO(CAIXA\_GERAL ^ TTDG,CAIXA\_GERAL ^ TTDG2,CAIXA\_GERAL ^ TCLA);

MME[23,CONT\_SIM] := CALCULA\_DESVIO(CAIXA\_GERAL ^ TTDG,CAIXA\_GERAL ^ TTDG2,CAIXA\_GERAL ^ TQIT);

MME[24,CONT\_SIM] := CALCULA\_DESVIO(CAIXA\_GERAL ^ TTPD,CAIXA\_GERAL ^ TFPD);

MME[25,CONT\_SIM] := CALCULA\_DESVIO(CAIXA\_GERAL ^ TTPC,CAIXA\_GERAL ^ TFPD);

MME[26,CONT\_SIM] := CALCULA\_DESVIO(CAIXA\_GERAL ^ TTEF,CAIXA\_GERAL ^ TTEF2,CAIXA\_GERAL ^ TCLE);

{MME[27,CONT\_SIM] := CALCULA\_DESVIO(CAIXA\_GERAL ^ TTEO,CAIXA\_GERAL ^ TTEO2,CAIXA\_GERAL ^ TCLE);

MME[28,CONT\_SIM] := CALCULA\_DESVIO(CAIXA\_GERAL ^ TTOC,CAIXA\_GERAL ^ TTOC2,NUM\_CLIENTE);}

end;

{----- SEPARADOR DE BLOCOS -----}

procedure CALCULO\_GERAL;

var

J : byte;

SOMA DAS MEDIAS, SOMA QUADRADO DAS MEDIAS : real;

MEDIA\_GERAL, DESVIO\_PADRAO\_GERAL, ERRO\_TOLERADO : real;

FATOR\_DE\_CONFIANCA, TAMANHO\_DA\_AMOSTRA : real;

begin

SOMA DAS MEDIAS := 0;

SOMA QUADRADO DAS MEDIAS := 0;

for J := 1 to NUM\_SIM do

begin

SOMA DAS MEDIAS := SOMA DAS MEDIAS + MME[I,J];

SOMA QUADRADO DAS MEDIAS := SOMA QUADRADO DAS MEDIAS + sqr(MME[I,J]);

end;

MEDIA\_GERAL := DIVISAO(SOMA DAS MEDIAS,NUM\_SIM);

MME[I,NUM\_SIM + 1] := MEDIA\_GERAL;

ERRO\_TOLERADO := (MEDIA\_GERAL \* 0.025);

DESVIO\_PADRAO\_GERAL :=

CALCULA\_DESVIO(SOMA DAS MEDIAS,SOMA QUADRADO DAS MEDIAS,NUM\_SIM);

MME[I,NUM\_SIM + 2] := DESVIO\_PADRAO\_GERAL;

FATOR\_DE\_CONFIANCA :=

CALCULA\_FATOR\_DE\_CONFIANCA(DESVIO\_PADRAO\_GERAL,NUM\_SIM);

MME[I,NUM\_SIM + 3] := FATOR\_DE\_CONFIANCA;

If ERRO\_TOLERADO > 0

then TAMANHO\_DA\_AMOSTRA :=

CALCULA\_TAMANHO\_DA\_AMOSTRA(DESVIO\_PADRAO\_GERAL,NUM\_SIM,ERRO\_TOLERADO)

else TAMANHO\_DA\_AMOSTRA := 0;

MME[I,NUM\_SIM + 4] := TAMANHO\_DA\_AMOSTRA;

end;

{----- SEPARADOR DE BLOCOS -----}

procedure GUARDA\_ESTADISTICAS\_DOIS;

var

I, J : byte;

begin

for I := 1 to 12 do CALCULO\_GERAL(I);

end;

end

{----- FINAL DA UNIDADE -----}

## E.7. Unidade de Relatorização

```
unit SIM_SAID;

interface

uses crt,printer, SIM_VARI;

procedure GRAVA_CLIENTE(CLIENTE : Ptr_Cll);
procedure GRAVA_RESULTADOS;
procedure GRAVA_ESTATISTICAS;
procedure MOSTRA_CAIXA_IMPRESSORA(PRIMEIRO: Ptr_Cx);
procedure MOSTRA_CAIXA_VIDEO(PRIMEIRO: Ptr_Cx);
procedure IMPRIME_CAIXA(PRIMEIRO: Ptr_Cx);
procedure ATUALIZACAO_DO_VIDEO1;

implementation

{*** GRAVA UM ARQUIVO EM DISCO OS RESULTADOS ESTATISTICOS ***}

procedure GRAVA_ESTATISTICAS;
var
F : text;
NOMEARQ : STRING;
CARAC STRING;
ME: array [1..40] of string;
begin
STR(REPETICOES,CARAC);
NOMEARQ:= CONCAT('SIM_ES',CARAC);
assign(F,NOMEARQ);
rewrite(F);
ME[01] := 'INTERVALO ENTRE CHEGADAS MEDIO ';
ME[02] := 'NUMERO MEDIO DE ITENS PORTADOS ';
ME[03] := 'TEMPO MEDIO DE DIGITACAO POR CLIENTE ';
ME[04] := 'TEMPO MEDIO DE DIGITACAO POR ITEM ';
ME[05] := 'TEMPO MEDIO DE PAGAMENTO EM DINHEIRO ';
ME[06] := 'TEMPO MEDIO DE PAGAMENTO EM CHEQUE ';
ME[07] := 'TEMPO MEDIO DE ESPERA NA FILA PARA QUEM ESPEROU';
ME[08] := 'TEMPO MEDIO DE ESPERA NA FILA GERAL';
ME[09] := 'TEMPO MEDIO DE ESPERA POR OCIOSIDADE P/Q ESPEROU';
ME[10] := 'TEMPO MEDIO DE ESPERA POR OCIOSIDADE GERAL ';
ME[11] := 'TEMPO MEDIO DE OCIOSIDADE GERADA';
ME[12] := 'NECESSIDADE MEDIA DE CAIXAS ABERTOS P/ATENDIMENTO: ';
ME[20] := 'DEVIO PADRAO DO INTERVALO ENTRE CHEGADAS ';
ME[21] := 'DESVIO PADRAO DE ITENS POR CLIENTE ';
ME[22] := 'DESVIO PADRAO DE TEMPO DE DIGITACAO POR CLIENTE ';
ME[23] := 'DESVIO PADRAO DO TEMPO DE DIGITACAO POR ITEM ';
ME[24] := 'DESVIO PADRAO DO TEMPO DE PAGAMENTO EM DINHEIRO ';
ME[25] := 'DESVIO PADRAO DO TEMPO DE PAGAMENTO EM CHEQUE ';
ME[26] := 'DESVIO PADRAO DO TEMPO DE ESPERA NA FILA ';
ME[27] := 'DESVIO PADRAO DO TEMPO DE ESPERA POR OCIOSIDADE ';
ME[28] := 'DESVIO PADRAO DO TEMPO DE OCIOSIDADE GERADO ';
for I := 1 to 28 do
begin
If (I < 13) or (I > 19) then
begin
writeln(F,ME[I]);
for J := 1 to NUM_SIM + 4 do write(F,MME[I,J]:6:2);
writeln(F);
end;
end;
close(F);
end;

{*** GRAVA UM ARQUIVO EM DISCO COM OS RESULTADOS DAS REPLICACOES ***}

procedure GRAVA_RESULTADOS;
var
F : text;
NOMEARQ : STRING;
CARAC STRING;
MS: array [1 40] of string;
begin
STR(REPETICOES,CARAC);
NOMEARQ:= CONCAT('SIM_RE',CARAC);
assign(F,NOMEARQ);
rewrite(F);
MS[01] := 'DATA ';
```

```
MS[02]: = 'HORA DO DIA';
MS[03]: = 'NUMERO DA SIMULACAO';
MS[04]: = 'HORA INICIAL DO RELOGIO ABSOLUTO';
MS[05]: = 'HORA FINAL DO PROCESSO DE CHEGADA';
MS[06]: = 'HORA FINAL DO RELOGIO ABSOLUTO';
MS[07]: = 'SEMENTE DO GNPA';
MS[08]: = 'CLIENTES QUE CHEGARAM NO SISTEMA';
MS[09]: = 'NUMERO DE CAIXAS ABERTOS NO PERIODO';
MS[10]: = 'TOTAL DE CLIENTES ATENDIDOS';
MS[11]: = 'INTERVALOS ENTRE CHEGADAS';
MS[12]: = 'INTERVALOS ENTRE CHEGADAS ^ 2: ';
MS[13]: = 'ITENS DIGITADOS ';
MS[14]: = 'ITENS DIGITADOS ^ 2: ';
MS[15]: = 'TEMPO GASTO EM DIGITACAO';
MS[16]: = 'TEMPO GASTO EM DIGITACAO ^ 2: ';
MS[17]: = 'CLIENTES QUE PAGARAM EM DINHEIRO';
MS[18]: = 'TEMPO GASTO COM PAGAMENTO EM DINHEIRO';
MS[19]: = 'TEMPO GASTO COM PAGAMENTO EM DINHEIRO ^ 2: ';
MS[20]: = 'CLIENTES QUE PAGARAM EM CHEQUE';
MS[21]: = 'TEMPO GASTO COM PAGAMENTO EM CHEQUE';
MS[22]: = 'TEMPO GASTO COM PAGAMENTO EM CHEQUE ^ 2: ';
MS[23]: = 'CLIENTES ATENDIDOS QUE ESPERARAM NA FILA';
MS[24]: = 'TEMPO GASTO COM ESPERA NA FILA';
MS[25]: = 'TEMPO GASTO COM ESPERA NA FILA ^ 2: ';
MS[26]: = 'TEMPO GASTO COM ESPERA POR OCIOSIDADE';
MS[27]: = 'TEMPO GASTO COM ESPERA POR OCIOSIDADE ^ 2: ';
MS[28]: = 'SOMATORIO DO TEMPO DE OCIOSIDADE GERADO';
MS[29]: = 'SOMATORIO DO TEMPO DE OCIOSIDADE GERADO ^ 2: ';
MS[30]: = 'SOMATORIO DE TEMPO DE CAIXA ABERTO';
MS[31]: = 'SOMATORIO DE TEMPO DE CAIXA ABERTO ^ 2: ';
MS[32]: = 'SOMATORIO DA OCIOSIDADE DO CAIXA';
MS[33]: = 'SOMATORIO DA OCIOSIDADE DO CAIXA ^ 2: ';
for I := 1 to 33 do
begin
writeln(F,MS[I]);
case I of
2,4,5,6 : for J := 1 to NUM_SIM do write(F,MCO[I,J]:12:4);
else for J := 1 to NUM_SIM do write(F,MCO[I,J]:12:0);
end;
writeln(F);
end;
close(F);
end;

{*** GRAVA UM ARQUIVO EM DISCO COM OS CLIENTES QUE FORAM ATENDIDOS*****}

procedure GRAVA_CLIENTE;

begin
With CLIENTE ^ do
begin
writeln(G,
NUMCLI : 4,
round(IEC*3600) : 4,
QIT : 4,
TDG : 4,
FPG : 4,
TPG : 4,
TOC : 4,
TEF : 4,
TEO : 4,
HCH : 8:5,
HID : 8:5,
HFD : 8:5,
HFP : 8:5,
HFO : 8:5)
end;
end;

{***** MOSTRA SITUACAO ATUAL E SALDOS ACUMULADOS ATE O MOMENTO *****}

procedure MOSTRA_CAIXA_IMPRESSORA;
var
CLIENTE : Ptr_CLI;
begin
clrscr;
writeln(LST,'CAIXA','ESTADO *****');
writeln(LST);
while PRIMEIRO <> nil do
begin
write(LST,PRIMEIRO ^ NUMCX:5);
writeln(LST,PRIMEIRO ^ LIVRE:9);
```

```
writeln(LST);
if PRIMEIRO ^ PF <> nil then
begin
write(LST,'N CL','IEC','QIT','TDG');
write(LST,'FPG','TPG','TOC','TEF','TEO');
writeln(LST);
writeln(LST,'H CHEGA','H F OCI','H I DIG','H F DIG','H F PAG');
CLIENTE := PRIMEIRO ^ PF;
while (CLIENTE <> nil) do
begin
write(LST,CLIENTE ^ NUMCLI:4,trunc(CLIENTE ^ IEC*3600):4);
write(LST,CLIENTE ^ QIT:4,CLIENTE ^ TDG:4,CLIENTE ^ FPG:4);
write(LST,CLIENTE ^ TPG:4,CLIENTE ^ TOC:4,CLIENTE ^ TEF:4,CLIENTE ^ TEO:4);
writeln(LST);
write(LST,CLIENTE ^ HCH:8:5);
write(LST,CLIENTE ^ HFO:8:5);
write(LST,CLIENTE ^ HID:8:5);
write(LST,CLIENTE ^ HFD:8:5);
writeln(LST,CLIENTE ^ HFP:8:5);
writeln(LST);
CLIENTE := CLIENTE ^ PRO;
end;
writeln(LST);
writeln(LST,'|T CL G','|T CL A','|T CL C','|T C EF','|T CL F','|T FP D','|T FP C','|T OC G');
writeln(LST,NUM_CLIENTE:7,PRIMEIRO ^ TCLA:7,PRIMEIRO ^ TCLC:7,PRIMEIRO ^ TCLE:7,PRIMEIRO ^ TCLF:7,
PRIMEIRO ^ TFPD:7,PRIMEIRO ^ TFPC:7,PRIMEIRO ^ TTCO:7);
writeln(LST,'|TOT IC','|T IT D','|T IT F','|T IT C','|T T DI',
'|T TP D','|T TP C','|TT E F','|TT E O','|T O CX');
writeln(LST,PRIMEIRO ^ TIEC:7,PRIMEIRO ^ TQIT:7,PRIMEIRO ^ TQIF:7,PRIMEIRO ^ TQIC:7,PRIMEIRO ^ TTDG:7,
PRIMEIRO ^ TTPD:7,PRIMEIRO ^ TTPC:7,PRIMEIRO ^ TTEF:7,PRIMEIRO ^ TTEO:7,PRIMEIRO ^ TOCX:7);
writeln(LST);
end;
PRIMEIRO := PRIMEIRO ^ PRO;
end;
end;
```

{\*\*\*\*\* MOSTRA SITUACAO ATUAL E SALDOS ACUMULADOS ATE O MOMENTO \*\*\*\*\*}

```
procedure MOSTRA_CAIXA_VIDEO;
var
CLIENTE : Ptr_Cli;
begin
clrscr;
writeln('QTDE CAIXAS','HORARIO ATUAL','REPLICACAO NUM : ','CONT_SIM:9);
writeln;
write(CAIXA_GERAL ^ NUMCX:11);
writeln(RELOGIO:12:0);
{writeln('Maior espaco livre contínuo do HEAP : ',MaxAvail:12);
writeln('Espaco total remanescente do HEAP : ',MemAvail:12);
while PRIMEIRO <> nil do
begin
write(PRIMEIRO ^ NUMCX:5);
write(PRIMEIRO ^ LIVRE:9);
write(CAIXA_GERAL ^ TCXA:9:0);
writeln(RELOGIO:11:6);
if PRIMEIRO ^ PF <> nil then
begin
write('N CL','IEC','QIT','TDG');
write(' FPG','TPG','TOC','TEF','TEO');
writeln;
writeln('H CHEGA','H F OCI','H I DIG','H F DIG','H F PAG');
CLIENTE := PRIMEIRO ^ PF;
while (CLIENTE <> nil) do
begin
write(CLIENTE ^ NUMCLI:4,trunc(CLIENTE ^ IEC*3600):4);
write(CLIENTE ^ QIT:4,CLIENTE ^ TDG:4,CLIENTE ^ FPG:4);
write(CLIENTE ^ TPG:4,CLIENTE ^ TOC:4,CLIENTE ^ TEF:4,CLIENTE ^ TEO:4);
writeln;
write(CLIENTE ^ HCH:8:5);
write(CLIENTE ^ HFO:8:5);
write(CLIENTE ^ HID:8:5);
write(CLIENTE ^ HFD:8:5);
writeln(CLIENTE ^ HFP:8:5);
writeln;
CLIENTE := CLIENTE ^ PRO;
end;
writeln;
writeln('|T CL G','|T CL A','|T CL C','|T C EF','|T CL F','|T FP D','|T FP C','|T OC G');
writeln(NUM_CLIENTE:7,PRIMEIRO ^ TCLA:7,PRIMEIRO ^ TCLC:7,PRIMEIRO ^ TCLE:7,PRIMEIRO ^ TCLF:7,
PRIMEIRO ^ TFPD:7,PRIMEIRO ^ TFPC:7,PRIMEIRO ^ TTCO:7);
writeln('|TOT IC','|T IT D','|T IT F','|T IT C','|T T DI',
'|T TP D','|T TP C','|TT E F','|TT E O','|T O CX');
```

```
writeln(PRIMEIRO ^ TIEC:7,PRIMEIRO ^ TQIT:7,PRIMEIRO ^ TQIF:7,PRIMEIRO ^ TQIC:7,PRIMEIRO ^ TTDG:7,  
PRIMEIRO ^ TTPD:7,PRIMEIRO ^ TTPC:7,PRIMEIRO ^ TTEF:7,PRIMEIRO ^ TTEO:7,PRIMEIRO ^ TOCX:7);  
writeln;  
end;  
PRIMEIRO := PRIMEIRO ^ PRO;  
end;}  
end;
```

```
{***** IMPRIME RESUMO FINAL POR CAIXA *****}
```

```
procedure IMPRIME_CAIXA;  
var  
CLIENTE : Ptr_CII;  
XDIA,XMES,XANO,YDATA : string;  
XDATA : real;  
XERRO: Integer;  
begin  
str(DIA,XDIA);  
str(MES,XMES);  
str(ANO,XANO);  
YDATA := concat(XDIA,XMES,XANO);  
val(YDATA,XDATA,XERRO);  
writeln(lst,'TITULO');  
writeln(lst);  
writeln(lst,'DATA ',XDATA:12:0);  
writeln(lst);  
writeln(lst,'HORA DO DIA ',H + M/60 + S/3600:12:9);  
writeln(lst);  
writeln(lst,'NUMERO DA SIMULACAO ',CONT_SIM:12);  
writeln(lst);  
writeln(lst,'HORA INICIAL DO RELOGIO ABSOLUTO : ',HORA_INICIO:12:9);  
writeln(lst);  
writeln(lst,'HORA FINAL DO PROCESSO DE CHEGADA : ',HORA_FIM:12:9);  
writeln(lst);  
writeln(lst,'HORA FINAL DO RELOGIO ABSOLUTO ',RELOGIO:12:9);  
writeln(lst);  
writeln(lst,'SEMENTE DO GNPA ',SEMEM:12);  
writeln(lst);  
writeln(lst,'CONTROLE GERAL DA FRENTE DE CAIXAS ');  
writeln(lst);  
writeln(lst,'CLIENTES QUE CHEGARAM NO SISTEMA ',NUM_CLIENTE:15);  
writeln(lst,'TOTAL DE CLIENTES ATENDIDOS ',CAIXA_GERAL ^ TCLA:15);  
writeln(lst,'INTERVALOS ENTRE CHEGADAS ',CAIXA_GERAL ^ TIEC:15:0);  
writeln(lst,'INTERVALOS ENTRE CHEGADAS ^2: ',CAIXA_GERAL ^ TIEC2:15:0);  
writeln(lst,'ITENS DIGITADOS ',CAIXA_GERAL ^ TQIT:15:0);  
writeln(lst,'ITENS DIGITADOS ^2: ',CAIXA_GERAL ^ TQIT2:15:0);  
writeln(lst,'TEMPO GASTO EM DIGITACAO ',CAIXA_GERAL ^ TTDG:15:0);  
writeln(lst,'TEMPO GASTO EM DIGITACAO ^2: ',CAIXA_GERAL ^ TTDG2:15:0);  
writeln(lst,'CLIENTES QUE PAGARAM EM DINHEIRO ',CAIXA_GERAL ^ TFPD:15);  
writeln(lst,'TEMPO GASTO COM PAGAMENTO EM DINHEIRO ',CAIXA_GERAL ^ TTPD:15:0);  
writeln(lst,'TEMPO GASTO COM PAGAMENTO EM DINHEIRO ^2: ',CAIXA_GERAL ^ TTPD2:15:0);  
writeln(lst,'CLIENTES QUE PAGARAM EM CHEQUE ',CAIXA_GERAL ^ TFFC:15);  
writeln(lst,'TEMPO GASTO COM PAGAMENTO EM CHEQUE ',CAIXA_GERAL ^ TTPC:15:0);  
writeln(lst,'TEMPO GASTO COM PAGAMENTO EM CHEQUE ^2: ',CAIXA_GERAL ^ TTPC2:15:0);  
writeln(lst,'CLIENTES ATENDIDOS QUE ESPERARAM NA FILA: ',CAIXA_GERAL ^ TCLE:15);  
writeln(lst,'TEMPO GASTO COM ESPERA NA FILA ',CAIXA_GERAL ^ TTEF:15:0);  
writeln(lst,'TEMPO GASTO COM ESPERA NA FILA ^2: ',CAIXA_GERAL ^ TTEF2:15:0);  
writeln(lst,'TEMPO GASTO COM ESPERA POR OCIOSIDADE ',CAIXA_GERAL ^ TTEO:15:0);  
writeln(lst,'TEMPO GASTO COM ESPERA POR OCIOSIDADE ^2: ',CAIXA_GERAL ^ TTEO2:15:0);  
writeln(lst,'SOMATORIO DO TEMPO DE OCIOSIDADE GERADO : real;',CAIXA_GERAL ^ TTOC:15:0);  
writeln(lst,'SOMATORIO DO TEMPO DE OCIOSIDADE GERADO ^2: ',CAIXA_GERAL ^ TTOC2:15:0);  
  
writeln(lst,'NUMERO DE CAIXAS ABERTOS NO PERIODO ',NUM_CAIXA:15);  
writeln(lst,'SOMATORIO DE TEMPO DE CAIXA ABERTO ',CAIXA_GERAL ^ TCXA:15:0);  
writeln(lst,'SOMATORIO DE TEMPO DE CAIXA ABERTO ^2: ',CAIXA_GERAL ^ TCXA2:15:0);  
writeln(lst,'SOMATORIO DA OCIOSIDADE DO CAIXA ',CAIXA_GERAL ^ TOCX:15:0);  
writeln(lst,'SOMATORIO DA OCIOSIDADE DO CAIXA ^2: ',CAIXA_GERAL ^ TOCX2:15:0);  
  
writeln(lst,'NUMERO ATUAL DE CAIXAS CESTO ABERTOS ',CAIXA_GERAL ^ CESTO:15);  
writeln(lst,'NUMERO ATUAL DE CAIXAS ABERTOS ',CAIXA_GERAL ^ NUMCX:15);  
writeln(lst,'CLIENTES NAS FILAS ',CAIXA_GERAL ^ TCLF:15);  
writeln(lst,'CLIENTES NOS CAIXAS ',CAIXA_GERAL ^ TCLC:15);  
writeln(lst,'ITENS NAS FILAS ',CAIXA_GERAL ^ TQIF:15);  
writeln(lst,'ITENS NOS CAIXAS ',CAIXA_GERAL ^ TQIC:15);  
writeln(lst,CHR(12));  
while PRIMEIRO <> nil do  
begin  
writeln(lst);  
writeln(lst,'CAIXA NUM : ',PRIMEIRO ^ NUMCX:5);  
writeln(lst);  
writeln(lst,'TOTAL DE CLIENTES ATENDIDOS ',PRIMEIRO ^ TCLA:7);  
writeln(lst,'CLIENTES ATENDIDOS QUE ESPERARAM NA FILA ',PRIMEIRO ^ TCLE:7);
```

```
writeln(1st,'CLIENTES NA FILA',PRIMEIRO ^ TCLF:7);
writeln(1st,'CLIENTES QUE PAGARAM EM DINHEIRO',PRIMEIRO ^ TFPD:7);
writeln(1st,'CLIENTES QUE PAGARAM EM CHEQUE',PRIMEIRO ^ TFPC:7);
writeln(1st,'INTERVALOS ENTRE CHEGADAS',PRIMEIRO ^ TIEC:7:0);
writeln(1st,'ITENS DIGITADOS',PRIMEIRO ^ TQIT:7:0);
writeln(1st,'ITENS NA FILA',PRIMEIRO ^ TQIF:7);
writeln(1st,'TEMPO GASTO EM DIGITACAO',PRIMEIRO ^ TTDG:7:0);
writeln(1st,'TEMPO GASTO COM PAGAMENTO EM DINHEIRO',PRIMEIRO ^ TTPD:7:0);
writeln(1st,'TEMPO GASTO COM PAGAMENTO EM CHEQUE',PRIMEIRO ^ TTPC:7:0);
writeln(1st,'TEMPO GASTO COM ESPERA NA FILA',PRIMEIRO ^ TTEF:7:0);
writeln(1st,'TEMPO GASTO COM ESPERA POR OCIOSIDADE',PRIMEIRO ^ TTEO:7:0);
writeln(1st,'SOMATORIO DO TEMPO DE OCIOSIDADE GERADO',PRIMEIRO ^ TTOC:7:0);
writeln(1st,'SOMATORIO DA OCIOSIDADE DO CAIXA',PRIMEIRO ^ TOCX:7:0);
writeln(1st);
PRIMEIRO := PRIMEIRO ^ PRO;
end;
end;
```

```
procedure ATUALIZACAO_DO_VIDEO1;
var
HORA, MINUTO, SEGUNDO : byte;
begin
HORA := trunc(RELOGIO);
MINUTO := trunc(frac(RELOGIO)*60);
SEGUNDO := trunc(frac(frac(RELOGIO)*60)*60);
```

```
if CLIENTE ^ NUMCLI := 1 then
begin
textbackground(0);
clrscr;
window(50,1,80,21);
textbackground(14);
textcolor(0);
clrscr;
gotoxy(7,3);
writeln('SIMULANDO');
gotoxy(4,5);
writeln('RELOGIO := ');
gotoxy(4,7);
writeln('CLIENTE NUMERO := ');
gotoxy(4,9);
writeln('QUANT ITENS := ');
gotoxy(4,11);
writeln('FORMA DE PGTO := ');
gotoxy(4,13);
writeln('T DE DIGITACAO := ');
gotoxy(4,15);
writeln('T DE PAGAMENTO := ');
gotoxy(4,17);
writeln('T DE OCIOSIDADE = ');
end;
gotoxy(21,5);
writeln(HORA:2,':',MINUTO:2,':',SEGUNDO:2);
gotoxy(21,7);
writeln(CLIENTE ^ NUMCLI:8);
gotoxy(21,9);
writeln(CLIENTE ^ QIT:8);
gotoxy(21,11);
writeln(CLIENTE ^ FPG:8);
gotoxy(21,13);
writeln(CLIENTE ^ TDG:8);
gotoxy(21,15);
writeln(CLIENTE ^ TPG:8);
gotoxy(21,17);
writeln(CLIENTE ^ TOC:8);
end;
```

```
{----- SEPARADOR DE BLOCOS -----}
end
{----- FINAL DA UNIDADE ----- }
```



## **BIBLIOGRAFIA**

- ABAC, Associação Brasileira de Automação Comercial. A Proposição da ABAC para o II PLANIN., São Paulo, 7 de abril, 1988 (Cópia reprográfica de polígrafo).
- AGOSTINI, C. A. Simulação de um Supermercado em Processo de Automação. In: Reunião Anual da ANPAD, 12, Natal, RN, Resumo das Comunicações, 17, 1988.
- AGOSTINI, C. A. e BECKER, J. L. Estimação de Parâmetros para Simulação do Sistema de Caixas de um Supermercado, In: *Encontro Nacional de Engenharia de Produção. 9. Porto Alegre, RS. Anais ... 2*: 255-65, 1989.
- AMSTUTZ, R. L. e M. W. SASIENI. Fundamentals of Operations Research. New York, John Wiley & Sons, 1968.
- FORRESTER, J. M. Industrial Dynamics. Cambridge, Massachusetts, Massachusetts Institute of Technology Press, 1961.
- GERSHEFSKI, G. W. Corporate Models, The state of the Art. Seattle, Washington, University of Washington, 1970.
- GORDON, Geoffrey. System Simulation. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, Inc., 1969
- HARRIS, Roy D. and Michael J. MAGGARD. Computer Models in Operations Management - A Computer-Augmented System. New York, Harper & Row, 1977.
- LAW, Averill M. e W. David KELTON. Simulation Modeling and Analysis. New York, McGraw-Hill, Inc., 1982.
- MACHADO, Luiz Celso de Moraes. Simulação. São José dos Campos, ITA, 1967 (Tese de Mestrado em Ciências - Cópia reprográfica).
- MEADOWS, D. L. Dynamics of Commodity Production Cycles. Cambridge, Massachusetts, Wright-Allen, 1970.
- MEIR, R. C., et alii Simulation in Business and Economics. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, Inc., 1969.
- MORGENTHALER, Georg W. The Theory and Application of Simulation in Operations Research. New York, John Wiley & Sons, 1961.
- NAYLOR, T. H. et alli Computer Simulation Techniques, New York, John Wiley, 1966.
- NAYLOR, T. H. e J. M. VERNON. Microeconomics and Decision Models of the firm. New York, Harcourt Brace Jovanovich, Inc., 1970.

- NAYLOR, T. H. et alii. Técnicas de Simulação em Computadores. São Paulo, Vozes, 1971.
- NAYLOR, T. H. Computer Simulation Experiments with Models of Economics Systems. New York, John Wiley & Sons, 1971.
- PACHER, A. H. Models of Economics Systems. Cambridge, Massachusetts, Massachusetts Institute of Technology Press, 1972.
- ROBERTS, Nancy et alii. Introduction to Computer Simulation: The System Dynamics Approach. Cambridge, Massachusetts, Addison-Wesley, New York, 1983.
- SCHMIDT, J. W. e R. E. TAYLOR. Simulation and Analysis of Industrial Systems. Irwin, Homewood, Illinois, 1970.
- SHANNON, Robert E. Systems Simulation: the Art and Science. Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1975.
- STEVENSON, William J. Estatística Aplicada à Administração, São Paulo, Harper e Row do Brasil, 1981.
- SIEGEL, S. Estatística Não-Paramétrica. São Paulo, McGraw - Hill, 1975.
- WILLIAMS, J. W. J. The Elliot Simulator Package, The Computer Journal, 328-331, jan/1964.
- ZEIGLER, Bernard P. Theory of Modelling and Simulation. New York, John Wiley & Sons, 1976.